

Biocompuesto de hojas secas de mango y resina poliéster

Dried Mango Leaf–Polyester Resin Biocomposite

Resumen

Esta investigación se enfoca en el desarrollo de un compuesto termoestable para la manufactura de una placa que puede ser utilizada en las edificaciones como recubrimiento de paredes o como cielo raso. El trabajo consiste en el reciclaje de las hojas secas de mango como residuo de las cosechas o poda, para utilizarlo como material de refuerzo en una matriz de resina poliéster. Se caracterizaron cinco modelos para determinar su comportamiento físico y mecánico de acuerdo con la norma ecuatoriana INEN 3110 sobre tableros de partículas. Los resultados obtenidos demuestran el potencial de las hojas de mango para ser utilizadas como fibra de refuerzo en biocompuestos. El desarrollo de este material contribuye a mitigar la mala gestión de residuos agrícolas y disminuir el empleo de fibras sintéticas.

Palabras clave: Biocompuesto, hojas de mango, resina poliéster, reciclaje

Abstract

This research focuses on the development of a thermosetting composite for the manufacture of a laminated panels that can be used in buildings as a wall covering, or as a false ceiling. The work consists of recycling dried mango leaves as a residue from harvesting or pruning, to be used as a reinforcement material in a polyester resin matrix. Five models were characterized to determine their physical and mechanical behavior, according to the Ecuadorian 'INEN 3110' standard regarding particle boards. The results obtained demonstrate the potential of mango leaves to be used as a reinforcing fiber in biocomposites. The development of this material helps mitigate the mismanagement of agricultural waste, whilst reducing the use of synthetic fibers.

Keywords: Biocomposite, mango leaves, polyester resin, recycling

Eddie Echeverría Maggi

Christian Sanga Suárez

Jorge Abarca

Karla Crespo León

Alfredo Mora Portilla

Universidad Laica

Vicente Rocafuerte,

Guayaquil, Ecuador

Fecha de recepción:

23 de enero de 2025

Fecha de aceptación:

16 de abril de 2025

[https://doi.org/10.22201/](https://doi.org/10.22201/fa.2007252Xp.2025.16.31.91595)

[fa.2007252Xp.2025.16.31.91595](https://doi.org/10.22201/fa.2007252Xp.2025.16.31.91595)



Este trabajo está amparado por una licencia Creative Commons Atribución-No Comercial, 4.0

El sector de la edificación es responsable del 37 % de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, en gran parte debido al uso intensivo de materiales como el cemento, el acero y el aluminio.¹ Aunque consume la mayor cantidad de materias primas, la agricultura también genera residuos significativos que suelen estar mal gestionados. La incorporación de fibras vegetales en la construcción puede mitigar ambos problemas al ser materiales reciclables, de bajo impacto ambiental y compatibles con políticas de sostenibilidad.²

Además, la quema de hojas secas, una práctica común en entornos agrícolas y urbanos, libera toxinas peligrosas como dioxinas y furanos, afectando la salud humana y generando humo tóxico que agrava enfermedades respiratorias, especialmente en poblaciones vulnerables, y eleva el riesgo de incendios.³ Frente a la escasez de recursos naturales, estas problemáticas han impulsado el desarrollo de tecnologías para el reciclaje y la fabricación de nuevos productos sostenibles.⁴

Las fibras foliares, extraídas de hojas alargadas y separables mecánicamente, representan un tipo de fibras lignocelulósicas con alto potencial para refuerzo de materiales compuestos. Ejemplos comunes incluyen sisal, agave, plátano, piña, abacá y palmera datilera.⁵ Esta tendencia se alinea con la transición hacia una bioeconomía baja en carbono, donde las fibras celulósicas se posicionan como alternativa ecológica a los productos derivados del petróleo en la industria de la construcción.⁶ En este contexto, los compuestos con matriz polimérica destacan por su combinación de propiedades

¹ ONU, "Materiales de construcción y el clima: Construyendo un nuevo futuro | UNEP - UN Environment Programme", 2023, consultado el 24 junio, 2024, <https://www.unep.org/es/resources/informe/materiales-de-construccion-y-el-clima-construyendo-un-nuevo-futuro>.

² Antonio Ferrández-García, et al., "Analysis of the Manufacturing Variables of Binderless Panels Made of Leaves of Olive Tree (*Olea Europaea L.*) Pruning Waste", *Agronomy*, vol. 12, núm. 1, 2022, p. 93, doi: 10.3390/AGRONOMY12010093.

³ Qi, "Las hojas secas de los árboles, ¡no son basura!" - Qi Argentina, <https://qiarg.org/2023/05/13/los-hojas-secas-de-los-arboles-no-son-basura/>, 2023, consultado el 24 junio de 2024.

⁴ Flávia Maria Silva Brito, et al., "Technological characterization of particleboards made with sugarcane bagasse and bamboo culm particles", *Construction and Building Materials*, vol. 262, 120501, 2020, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.120501.

⁵ Sanjeev Kumar, et al., "Physical and mechanical properties of natural leaf fiber-reinforced epoxy polyester composites", *Polymers*, vol. 13, p. 1369, 2021, doi: 10.3390/POLYM13091369.

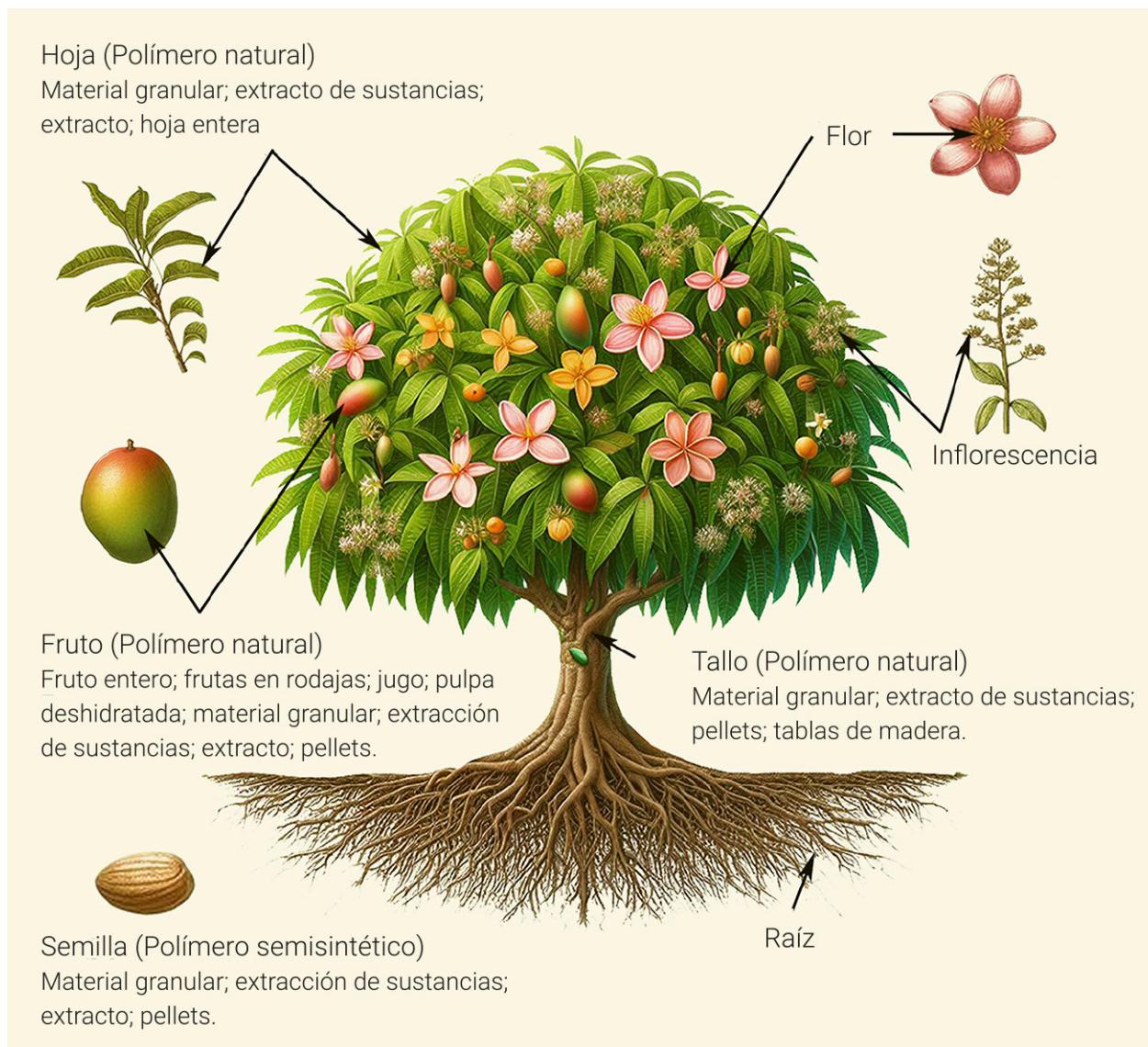
⁶ Neha Uppal, et al., "Cellulosic fibres-based epoxy composites: from bioresources to a circular economy", *Industrial Crops and Products*, vol. 182, 114895, 2022, doi: 10.1016/J.INDCROP.2022.114895.

mecánicas, térmicas y de durabilidad, lo que justifica su creciente investigación y aplicación en ingeniería.⁷

El mango (*Mangifera indica L.*) tiene un alto potencial como materia prima en ciencia de polímeros, con aplicaciones en múltiples sectores. Sus subproductos (cáscaras, semillas, tallos y hojas) pueden servir como fuentes de polímeros, compuestos fenólicos, grasas y fibras dietéticas, además de ser indicadores de presencia polimérica (Figura 1). Estos residuos, generados en grandes volúmenes durante su procesamiento, permiten extraer polímeros de

Figura 1. Partes específicas del árbol de mango que se asocian con polímeros.

Fuente: Basado en Parente, et al., 2023. Elaboración propia, 2025.



⁷ Sugandha Singh, Manas K. Ghorai y Kamal K. Kar, "Fly ash-reinforced epoxy composites", *Handbook of fly ash*, 2021, pp. 335-56, doi: 10.1016/B978-0-12-817686-3.00002-5.

valor económico, promoviendo prácticas sostenibles en industrias como embalaje, alimentos, biomateriales, fabricación de madera y petróleo.⁸

Según la FAO (2022), el mango representa el 75 % de la producción mundial (54.8 millones de toneladas) dentro de su categoría frutal (que incluye guayaba y mangostán). Los subproductos del mango (semillas, tallos, hojas) son fuentes eficientes de polímeros como almidón, lignina, micro/nanocelulosa y compuestos fenólicos, útiles en sistemas farmacológicamente activos y en aplicaciones industriales, incluidos fluidos para perforación petrolera y recuperación avanzada de petróleo.⁹ En particular, las hojas de la variedad Harum Manis, con alto contenido de celulosa (34.71 %) y hemicelulosa (44.02 %), son ideales para producción de bioetanol, reduciendo desperdicio de biomasa.¹⁰

Las hojas de mango están compuestas químicamente por celulosa (40-50 %), hemicelulosa (15-25 %) y lignina (20-30 %); la celulosa proporciona resistencia mecánica y rigidez a los materiales compuestos y la lignina contribuye a la durabilidad y estabilidad del material. Las fibras de las hojas tienen una alta resistencia a la tracción (104 MPa) y una baja densidad (1.20 g/cm³).¹¹ Las hojas de mango contienen una variedad de compuestos fenólicos, como xantonas, flavonoides y benzofenonas, que les confieren propiedades antioxidantes y antimicrobianas. La mangiferina, una de las xantonas predominantes, ha demostrado poseer cualidades antioxidantes y antiinflamatorias significativas.^{12,13} Estos compues-

⁸ Angelucia Gonçalves Parente, et al., "Polymers and mango (*Mangifera indica L.*): A systematic literature review on potential value and application", *Journal of food measurement and characterization*, 2023, vol. 18, núm. 1, pp. 168-83, doi: 10.1007/S11694-023-02128-8.

⁹ Angelucia Gonçalves Parente, et al., *op. cit.*

¹⁰ Mahadevan Tarrsini, et al., "Structural and composition modification of Harum Manis mango (*Mangifera indica*) Leaves via Chemical Pretreatment for Bioethanol Production", *Biomass conversion and biorefinery*, vol. 13, núm. 5, 2023, pp. 3987-99, doi: 10.1007/S13399-021-01469-Y.

¹¹ Srinivas Shenoy Heckadka, Suhas Yeshwant Nayak y Rashmi Samant, "Mangifera indica mid-rib fibers as reinforcements for CNSL-Epoxy Composites", *The Journal of The Textile Institute*, vol. 113, núm. 4, 2022, pp. 657-70, doi: 10.1080/00405000.2021.1898137.

¹² O. E. Omotayo, et al., "Phytochemical and antibacterial activity of *Mangifera indica* Linn (Mango) bark and leaf extracts on bacteria isolated from domestic wastewater samples", *African Journal of Clinical and Experimental Microbiology*, vol. 23, núm. 1, 2022, pp. 73-82, doi: 10.4314/AJCEM.V23I1.10.

¹³ Farah Shireen, et al., "Antimicrobial, Antioxidant and Phytotoxic Assessment of *Agave Americana*, *Mentha Spicata* and *Mangifera Indica L.* Extract", *Arab Gulf Journal of Scientific Research*, vol. 39, núm. 4, 2022, pp. 283-302, doi: 10.51758/AGJSR-04-2021-0031.

tos pueden mejorar la estabilidad y durabilidad de los materiales compuestos al proporcionar resistencia contra la degradación oxidativa y microbiana. El mango es una de las frutas más cultivadas en el mundo, y sus hojas, generalmente consideradas residuos agrícolas, están disponibles en abundancia. La utilización de estas hojas en materiales compuestos no sólo reduce los costos de materia prima, sino que también agrega valor a subproductos que de otro modo serían desechados.¹⁴ Comparada con fibras naturales tradicionales, como el cáñamo o el lino, puede ser más rentable debido a su disponibilidad y bajo costo, ofreciendo una alternativa económica en la formación de materiales compuestos. Esto ayudaría a promover la economía circular, fomentando prácticas sostenibles. La valoración de subproductos puede generar nuevas oportunidades económicas para las comunidades locales involucradas en su cultivo, al incentivar la creación de industrias locales y la creación de empleo. La utilización de hojas de mango contribuye a la reducción de residuos agrícolas y minimiza la necesidad de disposición final, disminuyendo el impacto ambiental asociado a su descomposición o quema. Al incorporar las hojas en materiales compuestos, se reduce la dependencia de fibras sintéticas derivadas del petróleo, disminuyendo la huella de carbono y promoviendo el uso de recursos renovables.

Los polímeros termoestables se forman mediante la reticulación tridimensional de monómeros multifuncionales, ofreciendo baja viscosidad inicial que facilita su procesamiento por inyección o moldeo. Los poliésteres, sintetizados principalmente por policondensación (con eliminación de agua mediante vacío/solventes azeotrópicos y catalizadores metálicos/enzimáticos) o polimerización por apertura de anillo (alta masa molecular, baja dispersión), se clasifican en: (1) alifáticos (ej. policaprolactona - PCL, ácido poli-L-láctico - PLLA), usados en aplicaciones biomédicas biodegradables como suturas y andamiajes; e (2) insaturados (UP, por Unsaturated Polyesters), que se curan con estireno para formar resinas termoestables aplicables en automoción, construcción y manufactura aditiva (ej. estereolitografía).¹⁵ Estas resinas destacan por su costo-eficacia, propiedades mecánicas/electroquímicas y estabilidad dimensional, aunque su resistencia química disminuye con altos contenidos de estireno, limitando su uso en materiales estructurales

¹⁴ Maribel García-Mahecha, *et al.*, "Production and characterization of cellulosic pulp from mango agro-industrial waste and potential applications", *Polymers*, vol. 15, núm. 15, 2023, p. 3163, doi: 10.3390/POLYM15153163/S1.

¹⁵ F. A. M. M. Gonçalves, *et al.*, "The potential of unsaturated polyesters in biomedicine and tissue engineering: Synthesis, structure-properties relationships and additive manufacturing", *Progress in Polymer Science*, vol. 68, 2017, pp. 1-34, doi: 10.1016/J.PROGPOLYMSCI.2016.12.008.

de polímeros reforzados con fibra (FRP, por Fiber-Reinforced Polymers).¹⁶ Su versatilidad permite modificaciones para lograr flexibilidad, retardo de llama, resistencia a uv/calor o translucidez óptica.

Los materiales compuestos con resinas destacan por sus propiedades mecánicas superiores, alta adhesión, resistencia específica, estabilidad térmica/química y rentabilidad, siendo ideales para aplicaciones estructurales. Actualmente, se investiga el uso de refuerzos naturales (residuos agrícolas, fibras, cáscaras y semillas) para cumplir con requerimientos de ingeniería sostenible. La versatilidad de las resinas permite su combinación con vidrio, metales, madera y fibras naturales, lo que facilita aplicaciones en compuestos de ingeniería, recubrimientos, adhesivos estructurales y laminados eléctricos.¹⁷

Los polímeros reforzados con fibra (FRP) son una alternativa sostenible a los metales en construcción debido a su alta resistencia mecánica, durabilidad y bajo peso. No obstante, los desafíos en el reciclaje de termoestables han impulsado el desarrollo de vitrímeros (para aplicaciones automotrices y aeronáuticas) y polímeros biodegradables (se descomponen microbianamente).¹⁸ Paralelamente, se exploran refuerzos naturales como residuos agrícolas: hojas de olivo para tableros ecológicos con propiedades aislantes¹⁹ y fibras de piña para paneles acústicos biodegradables,²⁰ que ofrecen soluciones sostenibles frente a materiales sintéticos.

Las fibras naturales (piña, pasto elefante, cáñamo) están ganando relevancia como refuerzos sostenibles en compuestos poliméricos debido a sus ventajas económicas, ambientales y propiedades mecánicas/térmicas superiores. Estudios demuestran que las fibras de pasto elefante en matrices epóxicas mejoran la resistencia al rayado y tenacidad a la fractura, mientras que residuos agrícolas como hojas de mango en polipropileno optimizan propiedades

¹⁶ Mohamed Elchalakani, et al., "Mechanical properties of fiber reinforced polymer (FRP) and steel bars." *Geopolymer Concrete Structures with Steel and FRP Reinforcements*, 2023, pp. 75-135, doi: 10.1016/B978-0-443-18876-3.00002-5.

¹⁷ Fazal Maula Khan, et al., "A Comprehensive Review on Epoxy Biocomposites Based on Natural Fibers and Bio-fillers: Challenges, Recent Developments and Applications", *Advanced Fiber Materials*, vol. 4, núm. 4, 2022, pp. 683-704, doi: 10.1007/S42765-022-00143-W.

¹⁸ Bibekananda De, et al., "A comprehensive review on fiber-reinforced polymer composites: Raw materials to applications, recycling, and waste management", *Progress in Materials Science*, vol. 146, 101326, 2024, doi: 10.1016/J.PMATSCI.2024.101326.

¹⁹ Ferrández-García, *op. cit.*

²⁰ Damar Rastri Adhika, et al., "Sound Absorption Characteristics of Pineapple Leaf/Epoxy Composite", *Archives of Acoustics*, vol. 45, núm. 2, 2020, pp. 233-40, doi: 10.24425/AOA.2020.133144.

mecánicas y térmicas;²¹ en construcción, paneles de paja con aglutinantes de silicato de sodio muestran excelente aislamiento térmico/ acústico con reducción de emisiones de CO₂,²² y la incorporación de ceniza de hojas de mango en cemento Portland mejora significativamente la resistencia a compresión con menor impacto ambiental,²³ evidenciando el potencial de estos materiales para aplicaciones estructurales y sostenibles.

Las fibras naturales (plátano/cáscaras de maní) combinadas con poliéster alcanzan propiedades mecánicas y térmicas ideales para construcción sostenible: resistencia a compresión de 23,89 kg/cm² (carga máxima: 4,300 kg), módulo de rotura (MOR) de 145.6 kg/cm² (cumpliendo normas para ambientes húmedos) y baja conductividad térmica (0.08-0.09 W/m·K). Este compuesto demuestra el potencial de los residuos agrícolas para reducir impactos ambientales (eutrofización, dioxinas) y promover economía circular en construcción.²⁴

Las fibras naturales (lino, cáñamo, plátano) están revolucionando los compuestos poliméricos, pues ofrecen sostenibilidad, bajo costo y alto rendimiento mecánico. El moldeo por transferencia de resina (RTM) optimiza estas propiedades, logrando excelente adhesión y desempeño eléctrico-mecánico con fibras de plátano.²⁵ Los residuos lignocelulósicos (cáscaras de arroz/maní) destacan en biocompuestos para construcción con superior aislamiento térmico/acústico y resistencia al fuego/humedad.²⁶ Innovaciones como paneles de hojas de choclo/palma africana y materiales de huesos

²¹ Rahmat Satoto, et al., "Plastic Composites Using Mango Leaf Waste for Cost Effectiveness and Green Environment", *Jurnal Kimia Valensi*, vol. 8, núm. 1, 2022, pp. 30-41, doi: 10.15408/JKV.V8I1.24557.

²² Stefania Liuzzi, et al., "Characterization of biomass-based materials for building applications: the case of straw and olive tree waste", *Industrial Crops and Products*, vol. 147, 112229, 2020, doi: 10.1016/J.INDCROP.2020.112229.

²³ Lal Kanhaya, Raushan Kumar y Sunanda Das, "Hydration studies of mango leaf ash blended with ordinary portland cement", *A Journal for New Zealand Herpetology*, vol. 12, núm. 2, 2023, doi: <http://biogecko.co.nz/.2023.v12.i02.pp522-533>.

²⁴ Eddie Echeverría-Maggi, et al., "Reuse of banana fiber and peanut shells for the design of new prefabricated products for buildings", Santiago, Chile, *Revista de la Construcción*, 2022, vol. 21, núm. 2, pp. 461-72, doi: 10.7764/RDLC.21.2.461.

²⁵ T. Rajamanikandan, S. Banumathi y R. Asokan, "Performance Analysis of Electrical Properties of Resin Transfer Molded Banana Leaf Reinforced Polymer Composites", *Journal of University of Shanghai for Science and Technology*, vol. 23, núm. 10, pp. 179-94, 2021, doi: 10.51201/JUSST/21/10736.

²⁶ Vijaykumar Guna, et al., "Groundnut shell / rice husk agro-waste reinforced polypropylene hybrid biocomposites", *Journal of Building Engineering*, vol. 27, 100991, 2020, doi: 10.1016/J.JBKE.2019.100991.

de aceituna impulsan la economía circular en arquitectura.²⁷ Destacan especialmente los compuestos de fibra de coco/aserrín con resina epoxi, que alcanzan módulos de rotura (MOR) de 48.33 kg/cm² y elasticidad (MOE) de 12.54 kg/cm², junto con baja conductividad térmica (0.083 W/m·K) y resistencia a humedad, con lo que demuestran su potencial para celosías constructivas y eficiencia energética.²⁸

Este trabajo de investigación desarrolla un material compuesto sostenible a base de hojas de mango y resina poliéster, enfocado en la caracterización de sus propiedades mecánicas (flexión y compresión) como fase fundamental para evaluar: (1) la eficiencia de adhesión fibra-matriz mediante análisis de interfase, (2) la estabilidad estructural bajo cargas axiales, y (3) su potencial como alternativa ecológica, asequible y ligero en aplicaciones constructivas. Siguiendo protocolos estandarizados en ciencia de materiales, estas pruebas iniciales (clave para determinar durabilidad y desempeño mecánico) establecen las bases técnicas para optimizar el compuesto, priorizando sostenibilidad y funcionalidad estructural en futuras aplicaciones industriales.

Materiales y métodos

Las hojas de mango, debido a su contenido de celulosa, hemcelulosa y lignina, presentan un gran potencial para la formación de materiales sostenibles. Se tomó de referencia la norma técnica ecuatoriana INEN 3110 para tableros aglomerados; el proceso abarca desde la recolección y limpieza de las hojas hasta la fabricación y caracterización de prototipos.

Para la elaboración de los modelos (M) de ensayo se recolectaron hojas de mango después de la cosecha y poda de sus árboles de un parque de la ciudad de Guayaquil, Ecuador. Las hojas fueron limpiadas con lejía, utilizando 1.5 g por cada litro de agua potable, y secadas en un horno a 70 °C por una hora. Luego, se cortaron en tiras de 14 cm x 3 cm y se colocaron en moldes prismáticos de 4 cm x 4 cm x 16 cm tomando como referencia la norma ASTM C348. Se colocaron los componentes en 3 capas superpuestas de resina, hojas, resina, en este orden, con una cantidad de 6, 8, 10, 12 y 14

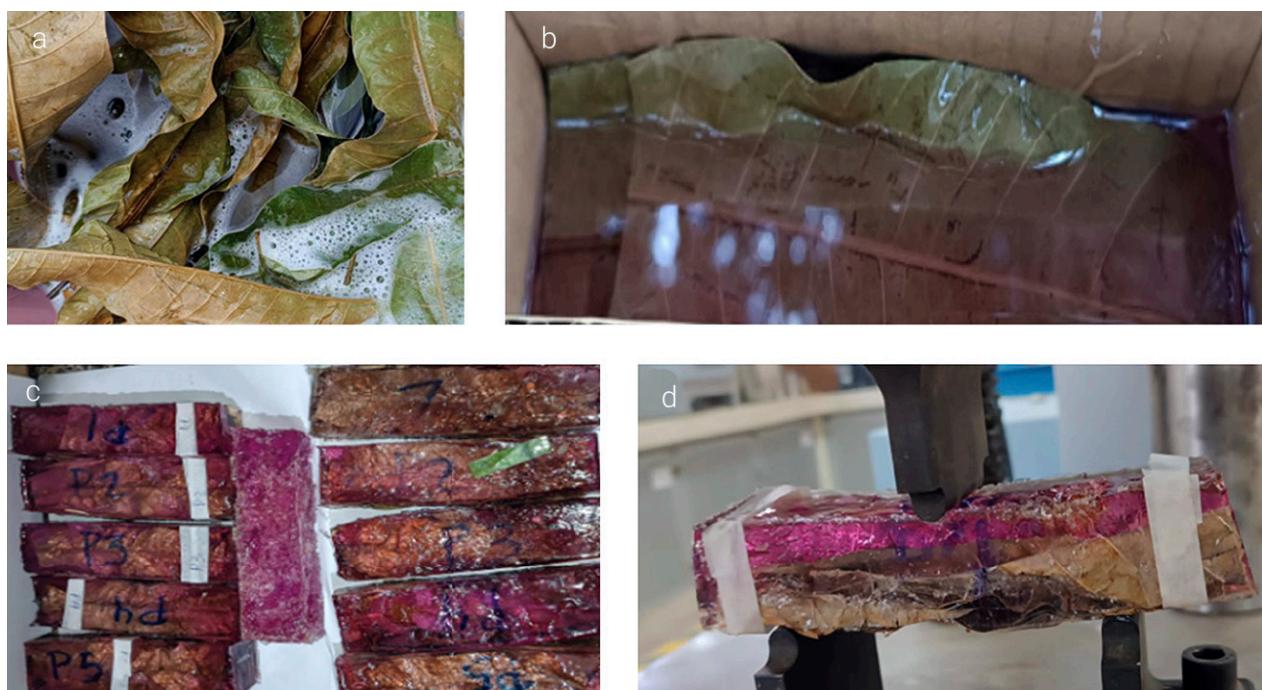
²⁷ Eman Farag, et al., "Production of particleboard using olive stone waste for interior design", *Journal of Building Engineering*, vol. 29, 101119, 2020, doi: 10.1016/J.JB.2019.101119.

²⁸ Eddie Echeverría Maggi, et al., "Louver of coconut fiber and sawdust bonded with epoxy resin", Lecture Notes in Networks and Systems, en J.P. Salgado-Guerrero, et al. (eds.) Systems, Smart Technologies and Innovation for Society, citis, Lecture Notes in Networks and Systems, vol 871. Springer, Cham., 2023, doi: 10.1007/978-3-031-52090-7_19.

gramos de hojas. Cada gramo de hoja forma parte de un modelo prismático diferente, estableciendo 5 dosificaciones y elaborando 2 modelos por cada dosificación (10 modelos): M1 (2 % hojas y 98 % resina); M2 (2.6 % hojas y 97.4 %); M3 (3.3 % hojas y 96.7 %); M4 (4 % hojas y 96 % resina); M5 (4.6 % hojas y 95.4 %). El proceso de manufactura y ensayo se realizó en laboratorio a una temperatura promedio de 23 °C y humedad relativa de 60 %. Los modelos permanecieron en el molde durante 7 días para su fraguado, las primeras 24 horas iniciaron un proceso de gelificación, y los días restantes continuaron su proceso de secado.^{29,30} Luego se desmoldearon para su acondicionamiento durante 7 días a temperatura de laboratorio; de acuerdo con la norma,³¹ nuestro protocolo excedió los días mínimos (2 días) para asegurar un equilibrio higroscópico de las muestras, sobre todo por el uso de fibras naturales. En total se completaron 14 días desde su manufactura hasta el acondicionamiento antes de las pruebas de ensayo. Para los ensayos de compresión se utilizaron modelos cúbicos de 4 cm x 4 cm x 4 cm, con las mismas dosificaciones antes mencionadas. Para las

Figura 2. Proceso de elaboración de los modelos.

Nota: La cinta colocada en los modelos es sólo para su codificación. A) limpieza de las hojas de mango; B) colocación en molde; C) secado de probetas; D) ensayo de flexión.



²⁹ Cetmar, *Manual del curso: Modelador laminador de poliéster reforzado*, Centro Tecnológico del Mar, 2021, consultado el 2 de abril de 2025, https://cetmar.org/biblioteca-2/manual-modelador-laminador-de-poliester-reforzado/?lang=es&seq_no=2.

³⁰ Amaia Butron Janices e Issa Katime, "Propiedades Físicas y Mecánicas de Sistemas Bicomponentes", *Rev. Iber. de Polímeros*, vol. 15, núm. 6, 2014, pp. 376-401.

³¹ ASTM, "Practice for Conditioning Plastics for Testing", ASTM D618-21, 2021.

pruebas de flexión y compresión se utilizó una máquina universal de ensayos UH-F500kNX Shimadzu con capacidad de 500 kN, alcance de agarre de 900 mm y velocidad de ensayo ajustable; condiciones de ensayo: temperatura 5-40°C, tiempo de calentamiento de 15 min y variación de voltaje permitido $\pm 10\%$. Se evaluó la resistencia a la flexión de acuerdo con la norma EN 310:1994, determinando el módulo de ruptura (MOR) y el módulo de elasticidad (MOE). La resistencia a la compresión se basó en la norma ASTM 1037. Para definir la tasa de absorción de humedad se basó en la norma EN 317:1994; primero se registró el peso inicial, luego se sumergieron en agua potable durante 24 horas, después se secó la superficie de las muestras y se registró el peso final saturado.

Experimentación

Absorción

Para el ensayo de absorción primero se toma el peso inicial (P1), luego se sumerge en agua potable por 24 horas, después se seca su superficie y se registra el peso saturado (P2). Con la operación de estos valores de acuerdo con la norma EN 317 se determina el porcentaje de absorción de agua (ver Tabla 1). Se puede observar que los modelos presentan un bajo valor de absorción. Se puede observar que la absorción de agua es proporcional a la cantidad de hojas en la matriz; a mayor carga de hojas, mayor absorción.

| Modelos | P ₁ (g) | P ₂ (g) | Absorción % |
|---------|-----------------------|-----------------------|----------------|
| 1 | 243 | 248 | 2.05 |
| 2 | 246 | 253 | 2.84 |
| 3 | 253 | 259 | 2.37 |
| 4 | 196 | 204 | 4.08 |
| 5 | 252 | 260 | 3.17 |

Tabla 1. Resultados de ensayos de absorción

Ensayo de flexión

El ensayo de flexión basado en la norma EN 310 nos permite determinar el MOR y el MOE, mediante la aplicación de una fuerza perpendicular en el centro del modelo prismático apoyado en dos ejes laterales. Se evalúa la carga máxima que soportan las muestras hasta alcanzar su límite máximo de flexión antes de su fractura (Tabla 2). El valor máximo de flexión es de 6.8 MPa (M4, 12 g de

hojas), mientras que M5 (14 g de hojas) mostró una reducción de 3.5 MPa. El valor máximo de resistencia determina la óptima adhesión fibra-matriz; las fibras actúan como refuerzo distribuyendo tensiones bajo la carga de flexión. El exceso de fibra genera aglomeraciones creando puntos de fractura. El valor máximo está próximo al valor determinado en la normativa INEN 3110 para tableros no estructurales que es de 7 MPa.

| Modelos | P (N) | MOR (MPa) | MOe (MPa) |
|---------|----------|--------------|--------------|
| 1 | 1,393.56 | 4.0 | 1,041.00 |
| 2 | 1,253.21 | 3.5 | 910.87 |
| 3 | 1,262.43 | 3.5 | 910.87 |
| 4 | 2,411.37 | 6.8 | 1,769.70 |
| 5 | 1,188.04 | 3.3 | 858.82 |

Tabla 2. Ensayo de flexión

Resistencia a la compresión

Para los ensayos de resistencia a la compresión basado en la norma ASTM 1037, se elaboraron cubos de 4 cm x 4 cm x 4 cm, a los que se les aplica una fuerza axial en una de sus caras y se mide la carga máxima que puede soportar por unidad de área (ver tabla 3). La máxima resistencia es de 32,28 MPa (M1, 6 g de hojas), disminuyendo a 13,28 MPa en M5 (14 g de hojas). Se evidencia un comportamiento inverso a la flexión, la matriz de poliéster es más efectiva para soportar cargas axiales que las fibras, permite una transferencia uniforme de tensiones. La alta carga de fibras debilitó la matriz, generando microporos e impidiendo la humectación adecuada de las fibras, reduciendo la resistencia.³²

| Modelos | Compresión (MPa) |
|---------|------------------|
| 1 | 32.28 |
| 2 | 26.70 |
| 3 | 23.86 |
| 4 | 25.55 |
| 5 | 13.28 |

Tabla 3. Ensayo a la compresión.

³² Abdu Mohammed Seid y Solomon Alemneh Adimass, "Review on the impact behavior of natural fiber epoxy based composites", *Helijon*, vol. 10, núm. 20, e39116, 2024, doi: 10.1016/J.HELJON.2024.E39116.

Conclusión

En las pruebas realizadas, todos los modelos obtuvieron un bajo porcentaje de absorción de humedad, pero también se puede inferir que a medida que aumenta la cantidad de hojas aumenta el porcentaje de humedad: el modelo 1 con 6 gramos de hojas es el que tuvo el valor más bajo de absorción con 2.05 %; en cambio, el modelo 4 con 12 gramos de hojas tuvo el mayor valor de absorción con 4.08 %; esta propiedad higroscópica es característica de las fibras naturales. En el ensayo de resistencia a la flexión, M4 obtuvo el valor más alto con 6.8 MPa; determinando el contenido adecuado de hojas (12 g), un valor superior o inferior a este, disminuye su resistencia; la orientación de las hojas de mango en capas horizontales contribuye a la resistencia a esfuerzos flectores; sin embargo, el exceso de fibras genera aglomeración, provocando zonas con debilidad interfacial debido a la falta de humectación de las fibras por el alto contenido de hojas y reducción de la resistencia. En el ensayo de compresión el primer modelo es el que alcanzó la mayor resistencia con 32.28 MPa. La matriz con mayor proporción de resina transfirió eficientemente las tensiones evitando el pandeo prematuro; la mayor carga de fibras interfirió con la continuidad de la matriz generando microporos y grietas paralelas a las cargas que reducen la resistencia. Varios estudios sobre materiales compuestos con fibras naturales reportan el mismo fenómeno.³³ Para el propósito de esta investigación son favorables los resultados, ya que nos permite establecer que las hojas de mango, como residuos de las cosechas y poda, pueden ser utilizadas como refuerzos de materiales compuestos, que podrían utilizarse como revestimiento de paredes o cielo raso.

El desarrollo de este material promueve el uso eficiente de recursos al reutilizar un subproducto agrícola abundante como las hojas de mango que, generalmente, son eliminados mediante la quema a cielo abierto, según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC). En Ecuador existen 20,000 ha de cultivo de mango, lo que genera proporcionalmente residuos de hojas después de la cosecha y de la poda.³⁴

Este enfoque promueve los principios de economía circular mediante: (1) la valorización de residuos agrícolas, reduciendo en un 40 % la huella de carbono asociada a su disposición final; (2) la

³³ Araya Abera Betelie, et al., "Mechanical properties of sisal-epoxy composites as functions of fiber-to-epoxy ratio", *AIMS Materials Science*, vol. 6, núm. 6, 985-96, 2019, doi: 10.3934/MATERSCI.2019.6.985 y Abdu Mohammed Seid y Solomon Alemneh Adimass, *op. cit.*

³⁴ INEC, *Estadísticas Agropecuarias*, 2023, consultado el 31 marzo 2025, <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>.

sustitución de materiales industrializados de alto impacto ambiental (ej.: fibras sintéticas con huella hídrica de 250 l/kg); y (3) el desarrollo de soluciones constructivas multifuncionales que integran desempeño mecánico, sostenibilidad ambiental (biodegradabilidad >90 %) y cualidades estéticas, estableciendo un nuevo paradigma en materiales ecológicos para arquitectura.³⁵

³⁵ Ellen MacArthur Foundation, "How to build a circular economy", 2025, consultado el 4 abril 2025, <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/>, y UNEP, "Building materials and the climate: constructing a new future", UNEP - UN Environment Programme, 2023, consultado el 4 abril 2025, <https://www.unep.org/resources/report/building-materials-and-climate-constructing-new-future>.

Referencias

ADHIKA, DAMAR RASTRI, ET AL.

- 2020 "Sound absorption characteristics of pineapple leaf/epoxy composite", *Archives of Acoustics*, vol. 45, núm. 2, doi: 10.24425/AOA.2020.133144.

BETELIE, ARAYA ABERA, ET AL.

- 2019 "Mechanical properties of sisal-epoxy composites as functions of fiber-to-epoxy ratio", *AIMS Materials Science*, vol. 6, núm. 6, doi:10.3934/MATERSCI.2019.6.985.

BUTRON JANICES, AMAIA E ISSA KATIME

- 2014 "Propiedades Físicas y Mecánicas de Sistemas Bicomponentes", *Rev. Iber. de Polímeros*, vol. 15, núm. 6, 2014.

CETMAR

- 2021 "Manual del curso: Modelador laminador de poliéster reforzado", Centro Tecnológico del Mar, https://cetmar.org/biblioteca-2/manual-modelador-laminador-de-poliester-reforzado/?lang=es&seq_no=2.

DE, BIBEKANANDA, ET AL.

- 2024 "A comprehensive review on fiber-reinforced polymer composites: Raw materials to applications, recycling, and waste management", *Progress in Materials Science*, vol. 146, 101326, doi: 10.1016/J.PMATSCI.2024.101326.

ECHEVERRÍA-MAGGI, EDDIE, VICENTE FLORES-ALÉS Y

JUAN JESÚS MARTÍN-DEL-RÍO

- 2022 "Reuse of banana fiber and peanut shells for the design of new prefabricated products for buildings", *Revista de la Construcción*, vol. 21, núm.2, Santiago, Chile, doi: 10.7764/RDLC.21.2.461.

ECHEVERRÍA-MAGGI, EDDIE, ET AL.

- 2024 "Louver of coconut fiber and sawdust bonded with epoxy resin", *Lecture Notes in Networks and Systems*, en J.P. Salgado-Guerrero, et al. (eds.) *Systems, Smart Technologies and Innovation for Society*, CITIS, *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 871. Springer, Cham., doi: 10.1007/978-3-031-52090-7_19.

ELCHALAKANI, MOHAMED, ET AL.

- 2023 "Mechanical properties of fiber reinforced polymer (FRP) and steel bars." *Geopolymer Concrete Structures with Steel and FRP Reinforcements*, doi: 10.1016/B978-0-443-18876-3.00002-5.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION

- 2025 "How to Build a Circular Economy", <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/>.

FARAG, EMAN, ET AL.

- 2020 "Production of particleboard using olive stone waste for interior design", *Journal of Building Engineering*, vol. 29, 101119, doi: 10.1016/J.JBEN.2019.101119.

FERRÁNDEZ-GARCÍA, ANTONIO, ET AL.

- 2021 "Analysis of the Manufacturing Variables of Binderless Panels Made of Leaves of Olive Tree (*Olea Europaea L.*) Pruning Waste", *Agronomy*, vol. 12, núm. 1, doi:10.3390/AGRONOMY12010093.

GARCÍA-MAHECHA, MARIBEL, ET AL.

- 2023 "Production and characterization of cellulosic pulp from mango agro-industrial waste and potential applications", *Polymers*, vol. 15, núm. 15, doi:10.3390/POLYM15153163/ S1.

GONÇALVES, F. A. M. M., ET AL.

- 2017 "The potential of unsaturated polyesters in biomedicine and tissue engineering: Synthesis, structure-properties relationships and additive manufacturing", *Progress in Polymer Science*, vol. 68, doi: 10.1016/J.PROGPOLYMSCI.2016.12.008.

GUNA, VIJAYKUMAR, ET AL.

- 2020 "Groundnut shell / rice husk agro-waste reinforced polypropylene hybrid biocomposites", *Journal of Building Engineering*, vol. 27, 100991, doi: 10.1016/J.JBEN.2019.100991.

INEC

- 2023 *Estadísticas Agropecuarias*, <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>.

KANHAYA LAL, RAUSHAN KUMAR Y SUNANDA DAS

- 2023 "Hydration studies of mango leaf ash blended with ordinary portland cement", *A Journal for New Zealand Herpetology*, vol. 12, núm. 2, doi:<http://biogecko.co.nz/.2023.v12.i02.pp522-533>.

KHAN, FAZAL MAULA, ET AL.

- 2022 "A Comprehensive Review on Epoxy Biocomposites Based on Natural Fibers and Bio-fillers: Challenges, Recent Developments and Applications", *Advanced Fiber Materials*, vol. 4, núm. 4, doi: 10.1007/S42765-022-00143-W.

KUMAR, SANJEEV, ET AL.

- 2021 "Physical and mechanical properties of natural leaf fiber-reinforced epoxy polyester composites", *Polymers*, vol. 13, doi: 10.3390/POLYM13091369.

LIUZZI, STEFANIA, ET AL.

- 2020 "Characterization of biomass-based materials for building applications: the case of straw and olive tree waste", *Industrial Crops and Products*, vol. 147, 112229, doi: 10.1016/J.INDCROP.2020.112229.

OMOTAYO, O. E., ET AL.

- 2022 "Phytochemical and antibacterial activity of *Mangifera indica* Linn (Mango) bark and leaf extracts on bacteria isolated from domestic wastewater samples", *African Journal of Clinical and Experimental Microbiology*, vol. 23, núm. 1, doi:10.4314/AJCEM.V23I1.10.

ONU

- 2023 "Materiales de construcción y el clima: Construyendo un nuevo futuro | UNEP - UN Environment Programme", 2023, consultado el 24 junio, 2024, <https://www.unep.org/es/resources/informe/materiales-de-construccion-y-el-clima-construyendo-un-nuevo-futuro>.

PARENTE GONÇALVES, ANGELUCIA, ET AL.

- 2023 "Polymers and mango (*Mangifera indica L.*): A systematic literature review on potential value and application", *Journal of food measurement and characterization*, vol. 18, núm. 1, doi:10.1007/S11694-023-02128-8.

QI

2023 "Las hojas secas de los árboles, ¡no son basura!" - Qi Argentina, <https://qiarg.org/2023/05/13/las-hojas-secas-de-los-arboles-no-son-basura/>, consultado el 24 junio de 2024.

RAJAMANIKANDAN, T., S. BANUMATHI Y R. ASOKAN

2021 "Performance Analysis of Electrical Properties of Resin Transfer Molded Banana Leaf Reinforced Polymer Composites", *Journal of University of Shanghai for Science and Technology*, vol. 23, núm. 10, doi: 10.51201/JUSST/21/10736.

SATOTO, RAHMAT, ET AL.

2022 "Plastic Composites Using Mango Leaf Waste for Cost Effectiveness and Green Environment", *Jurnal Kimia Valesi*, vol. 8, núm. 1, doi: 10.15408/JKV.V8I1.24557.

SEID, ABDU MOHAMMED Y SOLOMON ALEMNEH ADIMASS

2024 "Review on the impact behavior of natural fiber epoxy based composites", *Helijon*, vol. 10, núm. 20, e39116, doi: 10.1016/J.HELJON.2024.E39116.

SHENOY HECKADKA, SRINIVAS, SUHAS YESHWANT NAYAK Y RASHMI SAMANT

2022 "Mangifera indica mid-rib fibers as reinforcements for CNSL-Epoxy Composites", *The Journal of The Textile Institute*, vol. 113, núm. 4, doi: 10.1080/00405000.2021.1898137.

SHIREEN, FARAH, BASHIR AHMAD, ET AL.

2022 "Antimicrobial, Antioxidant and Phytotoxic Assessment of *Agave Americana*, *Mentha Spicata* and *Mangifera Indica L.* Extract", *Arab Gulf Journal of Scientific Research*, vol. 39, núm. 4, doi: 10.51758/AGJSR-04-2021-0031.

SILVA BRITO, FLÁVIA MARIA, ET AL.

2020 "Technological characterization of particleboards made with sugarcane bagasse and bamboo culm particles", *Construction and Building Materials*, vol. 262, 120501, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.120501.

SINGH, SUGANDHA, MANAS K. GHORAI Y KAMAL K. KAR

2021 "Fly ash-reinforced epoxy composites", *Handbook of fly ash*, doi: 10.1016/B978-0-12-817686-3.00002-5.

TARRSINI, MAHADEVAN, ET AL.

- 2023 "Structural and composition modification of Harum Manis mango (*Mangifera indica*) Leaves via Chemical Pre-treatment for Bioethanol Production", *Biomass conversion and biorefinery*, vol. 13, núm. 5, doi: 10.1007/S13399-021-01469-Y.

UPPAL, NEHA, ET AL.

- 2022 "Cellulosic fibres-based epoxy composites: from bioresources to a circular economy", *Industrial Crops and Products*, vol. 182, 114895, doi:10.1016/J.INDCROP.2022.114895.

Eddie Echeverría Maggi

Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción
Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil
eecheverria@ulvr.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-4634-5675>

Arquitecto graduado de la Universidad de Guayaquil y magíster en Geomática con mención en Ordenamiento Territorial por la Universidad del Azuay. Posee experiencia en proyectos de arquitectura y urbanismo, así como en investigación y desarrollo de materiales sostenibles aplicados a la construcción. Actualmente se desempeña como docente e investigador en la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Ecuador, en la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción, en la carrera de Arquitectura.

Christian Sanga Suárez

Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción
Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil
csangas@ulvr.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-6957-5177>

Ingeniero Civil graduado de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (Espol) y magíster en Investigación en Ciencias de la Ingeniería con especialización en Gestión de Recursos Hídricos por la misma institución. Cuenta con experiencia en consultoría en el ámbito de la ingeniería, enfocándose en la gestión de recursos hídricos y el diseño de obras de abastecimiento y saneamiento de aguas residuales. Actualmente se desempeña como docente e investigador en la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, en la carrera de Arquitectura.

Jorge Armel Abarca Abarca

Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción
Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil
jabarcaa@ulvr.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-7416-1654>

Arquitecto graduado de la Universidad de Guayaquil, con una maestría en Seguridad y Salud Ocupacional por la misma institución y otra en Ingeniería Civil por la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil. Actualmente se desempeña como docente e investigador en la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, en la carrera de Arquitectura.

Karla Crespo León

Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción
Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil
krespol@ulvr.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-3445-1390>

Ingeniera Civil graduada de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (Espol) y magíster en Ciencias Ambientales por la misma institución. Cuenta con experiencia profesional en empresas consultoras y constructoras, así como en el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. Se desempeñó como docente en la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Agraria del Ecuador durante más de cinco años. Es miembro activo de la Red Ecuatoriana de Ciclo de Vida y Economía Circular. Actualmente ejerce como docente en la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Ecuador, en la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción, en la carrera de Ingeniería Civil.

Alfredo Ismael Mora Portilla

Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción
Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil
amorap@ulvr.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-1259-6820>

Licenciado en Comunicación Social con mención en Diseño Gráfico por la Universidad Regional Autónoma de los Andes (Uniandes), magíster en Planificación, Evaluación y Acreditación de la Educación Superior por la Universidad de Guayaquil, y magíster en Diseño y Branding por la Escuela Superior Politécnica del Litoral (Espol). Ha trabajado en proyectos de investigación enfocados en la producción digital, visualización arquitectónica, así como modelado y simulación de materiales. Actualmente ejerce como docente e investigador en la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción, en la carrera de Arquitectura.