

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

<http://dx.doi.org/10.35381/i.p.v4i1.2158>

Modelo de economía circular aplicada a los residuos de encofrado en la construcción

Circular economy model applied to formwork waste in the construction industry

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa
xavier.espinosa.44@est.ucacue.edu.ec
Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Azuay
Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-4372-5445>

Diego Xavier Morales-Jadan
dmoralesj@ucacue.edu.ec
Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Azuay
Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-4382-5219>

Carlos Eduardo Romo-Zamudio
carlos.romo@fa.unam.mx
Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Azuay
Ecuador
<https://orcid.org/0000-0003-2417-3988>

Recibido: 15 de julio 2022
Revisado: 01 de septiembre 2022
Aprobado: 15 de octubre 2022
Publicado: 01 de noviembre 2022

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

RESUMEN

Esta investigación propone realizar un estudio sobre la aplicación del modelo de economía circular utilizando los residuos de encofrado en la construcción. Primero, se hizo un estudio descriptivo para evaluar la situación actual en cuanto a la gestión de los residuos de encofrado, a través de una encuesta validada dirigida a 150 constructores. Luego se efectuó una investigación experimental, donde se fabricó seis tipos de tableros de madera triturada y aglutinante. El 75% de los encuestados son hombres con edad promedio de 35 años, ingenieros civiles, mismos que usan en promedio 50kg de madera de encofrado por cada metro cuadrado de construcción; el tablero con mayor cantidad de aglutinante cumple con la normativa vigente al ser de alta resistencia y baja densidad. La elaboración de los tableros es viable y representa el 17% de ahorro en costos y una disminución del 34% de materia prima con respecto a tableros comerciales.

Descriptores: Reciclaje profesional; economía azul; economía verde. (Tesauro UNESCO).

ABSTRACT

This research suggests conducting a study on the application of the circular economy model using formwork waste in construction. First, a descriptive study was carried out to assess the current situation regarding formwork waste management, through a validated survey addressed to 150 builders. Then an experimental investigation was carried out, where six types of crushed wood boards and binder were manufactured. 75% of the survey respondents are men with an average age of 35 years, civil engineers, who use an average of 50kg of formwork wood for each square meter of construction; the board with the highest amount of binder complies with current regulations as it is high-strength and low-density. The manufacture of the boards is viable and represents 17% cost savings and a 34% decrease in raw material compared to commercial boards.

Descriptores: Retraining; blue economy; green economy. recycle; boards; binder. (UNESCO Thesaurus).

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

INTRODUCCIÓN

Actualmente, hay muchas interpretaciones en la literatura sobre qué es una economía circular y cómo funciona. Dado que las ciudades aún enfrentan desafíos para volverse completamente sostenibles, la necesidad de un análisis integral de cómo se puede adaptar el concepto de economía circular en la construcción es cada vez mayor (Lakatos et al., 2021). Para pasar de una economía lineal a una economía circular se requieren de acciones y políticas. En la praxis de la gobernabilidad, una forma común de encauzar la transición a un estado diferente pasa por el establecimiento de metas, donde se aplica un marco basado en 10 principios de la economía circular (es decir, reciclar, repensar, reducir, reacondicionar, remanufacturar, reparar, reutilizar, rechazar, recuperar) (Morseletto, 2020). Por lo mismo, el objetivo es reducir el desperdicio, aumentar la eficiencia, cerrar los ciclos de producción y maximizar la retención del valor económico de los materiales y productos.

Según el Arquitecto André Nery, decano de Arquitectura y Urbanismo Ambiental en la Universidad Científica del Sur, mencionado en la (Revista Costos, 2022): actualmente, el área de la construcción es el consumidor más grande en cuanto a recursos y materias primas, este hecho implica que también se genere una enorme cantidad de residuos derivados de cada uno de los procesos y etapas de la construcción, así como la demolición. Como un agravio mayor se suscita el hecho de que una minúscula parte de estos recursos son reciclados, reutilizados o transformados en algún tipo de energía.

En la actualidad los residuos de madera de encofrado en la construcción reciben un tratamiento de economía lineal de “tomar, hacer, desechar” (Carvajal Suárez, 2018), estos desechos normalmente terminan en vertederos de basura, quemados para la fabricación de ladrillos o terminan descomponiéndose en las mismas obras de construcción. En particular, el estudio propone el reciclaje de los desechos de encofrado en la construcción, como el punto de partida para la fabricación de tableros con polivinil de acetato industrial, evitando así, los problemas ambientales que causan los adhesivos de formaldehído y también reducen la eliminación de desechos, es su aplicación potencial

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

como aglutinante para la producción de compuestos de madera lo que le da el valor agregado, ya que es de bajo costo y de bajo impacto en cuanto a la huella de carbono (Huamán Pinto, 2019). Finalmente, se analizó el costo de la aplicación de la economía circular para determinar la factibilidad de su aplicación, ya que la idea de sustituir la producción primaria ambientalmente intensiva por producción secundaria de menor impacto le da a la economía circular un fuerte atractivo ambiental intuitivo. Por otra parte, los defensores de la economía circular tienden a ver el mundo simplemente como un sistema de ingeniería, pasando por alto la parte económica de la economía circular. Investigaciones recientes han arrancado a debatir sobre el núcleo de la economía circular; es decir, si el hecho de cerrar los ciclos de materiales y productos; impide la producción primaria generando un mayor costo la producción a través de la economía circular con respecto a la producción primaria (Zink & Geyer, 2017).

Refiriéndose a la economía circular se puede analizar desde sus antecedes, es así que, en el año 2015, la Comisión Europea certificó el llamado “Paquete de economía circular”. En este muestran las reglas para certificar un crecimiento sostenible en la Unión Europea, basado en la ideología de la utilización de materias primas de una forma más sostenible e inteligente. Este nuevo modelo ha surgido para satisfacer la necesidad actual, pues es notorio que los modelos empleados en el pasado sobre los cuales se asentaba la confiabilidad del crecimiento económico, ya no se ajustan a las demandas actuales de la sociedad moderna que cada vez está más globalizada (CONAMA, 2018).

De manera preliminar, se conceptualiza a la economía circular como una guía estratégica que hace factible la reducción, por un lado, de las entradas de los materiales vírgenes y por otro lado de la producción de desechos. Esto contribuye a cerrar el bucle o también denominado creciente económica y ecológica de la materia prima utilizada en la producción (Prieto-Sandoval et al., 2017). Para abordar un concepto más profundo e integrado se puede mencionar a (CONAMA, 2018), quien discrimina este término en el contexto de la economía mundial, la cual se fundamenta en varios criterios característicos, siendo estos los siguientes:

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

- Utiliza el mínimo de recursos, entre ellos agua y energía, para compensar las necesidades en un instante de tiempo.
- Inteligencia en la selección de recurso, bajo el criterio de no selección de aquellos no renovables o materias primas críticas, y en su defecto favorece el uso de recursos reciclados cuando sea dable y tenga un fin determinado.
- Gestión y administración eficiente de las materias primas, manteniendo las mismas el mayor tiempo posible en recirculación, obtenido menos residuos y subutilización de recursos.
- Reducción de los impactos ambientales incluido la reposición del capital medio ambiental y fomento de su regeneración.

Lo mencionado anteriormente es lo que permite no solo entender la economía circular como un bucle, sino que se resalta la disminución de materias primas vírgenes, además de la necesidad de restituir al medio ambiente las afecciones producidas, minimizando el impacto a la sociedad (García de la Cruz, 2019). La economía circular, se puede entender de mejor manera si se analiza a la teoría de sistemas en primera instancia. Esta teoría, se ha enfocado en la adaptación de sistemas circulares a todas las ciencias analizadas, dentro de las que se puede resaltar a la ciencia económica. Esta situación hace que, la economía circular generada por medio de un ciclo de desarrollo y transformación; evolucione hacia la optimización del uso de los materiales y la eficiencia en los sistemas productivos (Guzmán & Guevara, 2020).

En este sentido, se puede afirmar que la economía circular tiene su fundamento en diferentes principios relacionados con el medio ambiente, tales como el pensamiento integral, la diversidad y la resiliencia, mismos que requieren un enfoque de todo el sistema, que se genera por la integración de ciclos materiales biológicos y tecnológicos (Cerdeira & Khalilova, 2015). Este tipo de economía, por su parte, se fundamenta también en diferentes principios, que permiten que esta pueda presentarse y aplicarse de la mejor forma posible dentro de un contexto económico en la actualidad. Con base en lo

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

mencionado, los fundamentos en los que se está asentada la economía circular se mencionan a continuación:

- **(Resguardar y agrandar el capital natural):** controlando y equilibrando las cantidades de explotación de recursos renovables.

En el momento en el que se necesitan recursos, la economía circular se encarga de seleccionar estos recursos de forma sabia, escogiendo también un conjunto de técnicas que emplean recursos de alto rendimiento o renovables cuando sea posible. Del mismo modo, la economía circular se encarga de aumentar el capital natural, por medio del fomento en el sistema de flujos de nutrientes y por medio de la creación de las condiciones relacionadas con la regeneración de los recursos renovables (González Ordaz & Vargas-Hernández, 2017).

Mejorar la utilidad de los recursos: circulando recursos útiles en los ciclos biológicos y técnicos. Este principio, se relaciona directamente con el diseño para reelaborar, renovar y reciclar todos los materiales generados con el objetivo de mantener la circulación de estos. Este sistema, entonces, genera una contribución directa a la economía de un determinado lugar (Guzmán & Guevara, 2020).

Garantizar la eficacia del sistema. Este principio se aplica en la minimización del daño causado en las áreas que afectan directamente a las personas. Estos aspectos también permiten la gestión de cosas externas, tales como la contaminación ambiental del aire, tierra y agua, la generación de ruido, el cambio climático y las emisiones de sustancias tóxicas provocadas directamente por el daño ambiental ocasionado por la sociedad (Cerdeira & Khalilova, 2015).

En el territorio ecuatoriano se entiende de un modo general, que la noción economía circular se vincula a las iniciativas de reducción de las emisiones de CO_2 , es en ese

contexto que las políticas tratan de estandarizar la calidad para las empresas exportadoras. Para ello, apelan al incentivo de cumplimiento de los parámetros que permitan lograr una industria sostenible (Morán Llor, 2019). Estos incentivos se constituyen como una manifestación primaria de la adopción de la estrategia de economía circular. En los Premios “Latinoamérica Verde” se dio a conocer este modelo y al mismo tiempo, se difundió el significado de eco-eficiencia resumido en el lema de las 4R (Reciclaje, Reutilización, Reparación y Reducción).

En lo que respecta a la recolección y reciclaje de productos relacionados con la construcción, son muchos los estudios relacionados con este apartado. Se puede comenzar mencionando que el área de la construcción tiene un papel importante dentro de la economía circular, siendo también un sector clave dentro de la economía nacional. Hablando en cifras, el sector de la construcción contribuye directamente al PIB nacional. Este sector se encuentra en quinto lugar en lo referente a su contribución dentro del PIB, detrás del área manufacturera, servicios sociales, salud, petróleo-minas y comercio. Por otra parte, para el año 2019, el sector contribuyó con cerca del 8.17% del PIB generado, representando un volumen de negocios de \$ 5.8 mil millones de dólares. El total de las construcciones del 2018, 84.10% correspondieron a edificios residenciales, 9.40% a construcciones no residenciales (como locales comerciales y locales para industria). El 6.5% que queda fue de carácter mixto, es decir, para el comercio y residencia (Ministerio de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca, 2021).

Del mismo modo, según el Banco Central del Ecuador mencionan que el país importó cerca de 2.2 millones de dólares en materiales concernientes con el sector de la construcción. Estos productos tuvieron como principal región de origen al continente asiático con un 51.00% y en segundo lugar desde países latinoamericanos. Es importante resaltar, que las cifras de importaciones relacionadas con el área de la construcción se han reducido de forma acelerada a partir del año 2013, año en el que se llegó al pico máximo en este rubro con una cifra cercana a los 6 millones de dólares (Ministerio de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca, 2021).

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

Son escasos los datos de valorización y aprovechamiento de residuos de la construcción en el Ecuador. Los principales datos recopilados son del Programa Nacional de Gestión de Residuos Sólidos (PNGIRS) del Ministerio de Ambiente. Con base en estas cifras, se puede mencionar que los residuos sólidos de la construcción generados en el país representan un 13% del total de residuos. Es importante mencionar también que, el área de la construcción es altamente susceptible a la aplicación de diferentes prácticas y estrategias que ayudan a impulsar la economía circular, a lo largo del ciclo de vida de una construcción. Este evento esta provocado como resultado del vínculo existente entre esta industria con otras industrias manufactureras, añadiendo también el amplio tiempo de uso de los edificios. Con base en este apartado, en la **Tabla 1**, se presentan las principales incidencias que tiene el diagnóstico realizado por el Estado en el área de la construcción.

Tabla 1.
 Diagnóstico del sector de la construcción en el país.

Entradas críticas	Salidas críticas	Impactos socioambientales
● Producción de 2 toneladas de materias primas por cada m³ de construcción. ● Producción de 5.5 millones de toneladas de cemento para el año 2016. ● No existen datos afines al consumo de agua.	● Se generaron alrededor de 15% en pérdidas de materia prima y energía. ● Cerca de las tres cuartas partes de residuos de la construcción que se producen en el país, se disponen en escombreras municipales. El restante se dispone	● Las industrias relacionadas con la manufactura y la construcción producen cerca de 4937.84 Gg de CO₂ de las emisiones relacionadas con la quema de combustibles relacionadas con la producción de cemento.

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

● Consumo de emisiones y energía ligados a procesos manufactureros de secciones que suministran al de construcción: vidrio, metalmecánica y productos maderables.	en quebradas y en la vía pública. ● La producción para el área de la construcción en el año 2018 suma 20,364 millones de dólares.	
---	--	--

Fuente: Información adaptada de (Ministerio de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca, 2021).

Por lo descrito con anterioridad resulta importante clarificar el concepto, de Residuo de Construcción y Demolición (RCD). Este hace alusión a “cualquier recurso de tipo residual que se genere en una obra de demolición o construcción” (Tertre Toran, 2018). La distribución de la producción de residuos en la construcción, se aborda según (Tertre Toran, 2018) en cuatro aspectos: obra civil, residencial, rehabilitación y obra no residencial pudiendo ser esta pública o privada, como se muestra en la **Figura 1**.

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

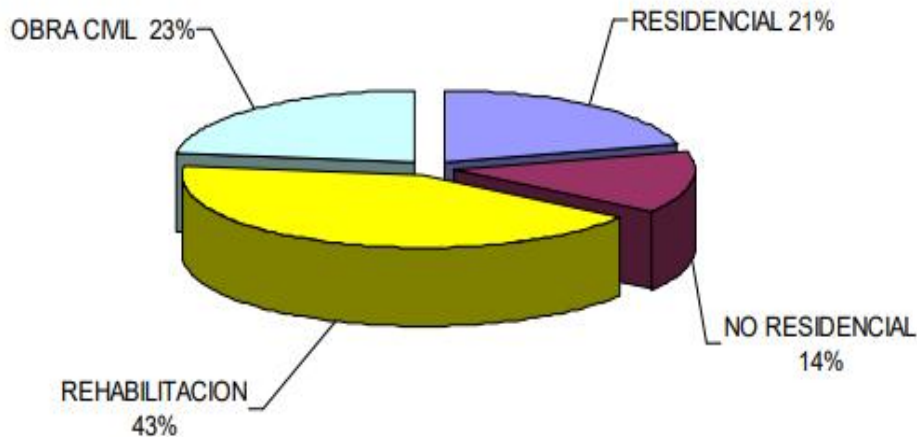


Figura 1:
Producción de residuos en obras de construcción
Fuente: Imagen tomada de Tertre Toran (2018).

Internacionalmente; se puede catalogar a los RCD según su origen (Pacheco Bustos et al., 2017):

1. **Materiales de excavación:** rocas, arena, grava, tierra.
2. **Mantenimiento y Construcción de obras:** metales, arena, asfalto, grava.
3. **Materiales de demolición:** porcelana, ladrillos, bloques de hormigón, yeso.

Según el Ecohabitar, por cada metro de construcción se emiten en promedio **0.5 toneladas de CO₂**, considerando únicamente el impacto de los materiales utilizados (Peña, 2016).

De estas **0.5 toneladas de CO₂** por lo menos el **1.10 %** corresponden a los residuos de madera en la construcción como se indica en la **Figura 2**.

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

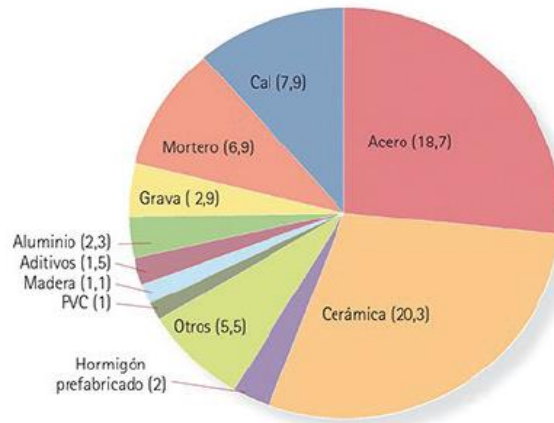


Figura 2.
 Emisiones de CO₂ asociadas a la fabricación de materiales.
Fuente: Imagen tomada de Peña (2016).

Dentro de los sistemas prefabricados que cada vez más son más utilizados se tiene los tableros de yeso cartón, procesamiento industrial, tableros de OSB (Oriented strand board), o tablero de virutas orientadas, entre otros.

A continuación, se presenta la **Tabla 2**, de los tableros disponibles en el mercado en la actualidad.

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

Tabla 2.
 Tipos de tableros disponibles en el mercado.

SISTEMAS	MATERIALES	M. PRIMA	M. SECUNDARIO	FORMATO	DIMENSIONES [cm]	ESPESOR [cm]	DENSIDAD [kg/m ³]	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA [W/mK]	FUNCIÓN
TRADICIONALES	Adobe	Arcilla	Arena y Paja	Bloque	20 x 40	15 - 20	450	0,024	Estructural
	Bahareque	Arcilla	Madera y Carrizo	—	—	15 - 20	120	0.45 - 0.8	Estructural
	Bloques de Paja	Paja	Madera	Fardo	40 x 80	20 - 45	100	0.045-0.065	Relleno
	Entramados de Bambú	Bambú	Metal	Caña	3000	10	700	0.50	Estructural
PREFABRICADOS	Yeso Cartón	Yeso	Cartón	Panel	122 x 244	1.2 - 2.5	900-1000	0,21	Revestimiento
	OSB	Madera	Resina sintética	Panel	122 x 244	25	600-660	0,13	Estructural
	Plywood	Madera	Resina sintética	Panel	122 x 244	0.4 -1.8	400-500	0,15	Revestimiento
	MDF	Madera	Resina sintética	Panel	122 x 244	0.3 -3.8	350-500	0.065-0.17	Revestimiento
	Plasbam	Bambú	Resina sintética	Panel	122 x 244	2 - 3.5	700	0,2	Estructural
	Esterbam	Bambú	Resina sintética	Panel	122 x 244	1 - 1.5	400	0,15	Revestimiento
AISLANTES	Fibras de madera	Madera	Resina sintética	Rollo y panel	60 x 120	4 - 10	25	0,04	Relleno
	Fibras de Lino	Lino	Resina sintética	Rollo y panel	50 x120	40 - 100	25	0,04	Relleno
	Fibras de Coco	Coco	Resina sintética	Rollo y panel	60 x 120	1.3 - 4	50 - 140	0.045 - 0.05	Relleno
	Corcho	Corcho	Resina natural	Panel	50 X 120	2 - 10	80 - 200	0.04 - 0.055	Relleno

Fuente: Tabla tomada de Peña (2016).

En la estructura de los materiales, se considera el triturado de la madera indistintamente de su tipo o de su origen; esto mezclado con un aditivo aglutinante del tipo polivinil de acetato industrial. Las características del material aglutinante corresponden a un material de líquido de color blanco, mismo que no influye en el acabado del material aglomerado cuya densidad es de 1090 kg/m³, con excelentes características impermeables, térmicas y mecánicas. El aditivo aglutinante esta formulado para la elaboración de muebles, puertas, y enchapados de madera. Según la **Dirección de Control Municipal de la**

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

ciudad de Cuenca, entre los años 2011 a 2021, se construyeron en el cantón Cuenca 12'462,391.00 m², según lo que se indica en la **Tabla 3**.

Tabla 3.
 Área de construcción en la ciudad de Cuenca.

Pisos	Permisos	Área de construcción	
		m ²	%
1	1,753.00	558,252.00	4.479%
2	12,815.00	5'521,190.00	44.303%
3	3,684.00	2'529,699.00	20.299%
4	732.00	1'109,493.00	8.903%
5	106.00	318,060.00	2.552%
6	166.00	1'084,360.00	8.701%
7	29.00	308,031.00	2.472%
8	31.00	301,397.00	2.418%
9	21.00	367,295.00	2.947%
10	3.00	17,915.00	0.144%
11	1.00	1,190.00	0.010%
12	12.00	226,825.00	1.820%
13	1.00	495.00	0.004%
14	1.00	16,516.00	0.133%
15	7.00	84,592.00	0.679%
20	3.00	17,081.00	0.137%
Total	19,365.00	12'462,391.00	100.000%

Fuente: Información obtenida de la Dirección de control municipal 2021.

Esta información proyectada al año 2022 indica que hay 12'462,391.00 m² que se construirán en el presente año.

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación descriptiva fue empleada para poder describir la situación del área de la construcción en lo concerniente a los aspectos relacionados con el manejo de los residuos de encofrado. Por otro lado, la investigación experimental fue empleada en el diseño de los tableros de partículas producidas con material reciclado proveniente de la construcción.

Con relación al análisis efectuado para el presente estudio, se tomó en consideración a una población cercana a los 8000 profesionales de ingeniería, arquitectura y la construcción, dato obtenido del Colegio de Ingenieros Civiles del Azuay y del Colegio de Arquitectos del Azuay.

La muestra se determinó con un nivel de confianza del 95%; el presente estudio se trata de una evaluación inicial a nivel descriptivo siendo la recolección de datos un punto que presento ciertas dificultades por lo dispersos que son los datos y la cantidad de ítems a responder, en función de esto, se ha tomado la particularidad de tener un margen de error, en la estimación muestral del 8%, obteniendo una muestra de 150 profesionales de la construcción; mismos a quienes, se les aplicó una encuesta para conocer su percepción acerca del tema de estudio. La encuesta contiene 11 preguntas, que se validaron bajo la supervisión y revisión de expertos del área de economía circular de la Universidad Católica de Cuenca. Posterior a la aplicación de la encuesta, de manera empírica, se procedió a diseñar una dosificación para la elaboración de tableros de 15 mm de espesor que serán comparados en el material MDP producido por la empresa Pelikano de Novopan.

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

RESULTADOS

Recolección de datos

Se realizó una encuesta sobre el género de las personas de las cuales, el 75% son de género masculino, mientras que el 25% son de género femenino, (Ver Figura 3).

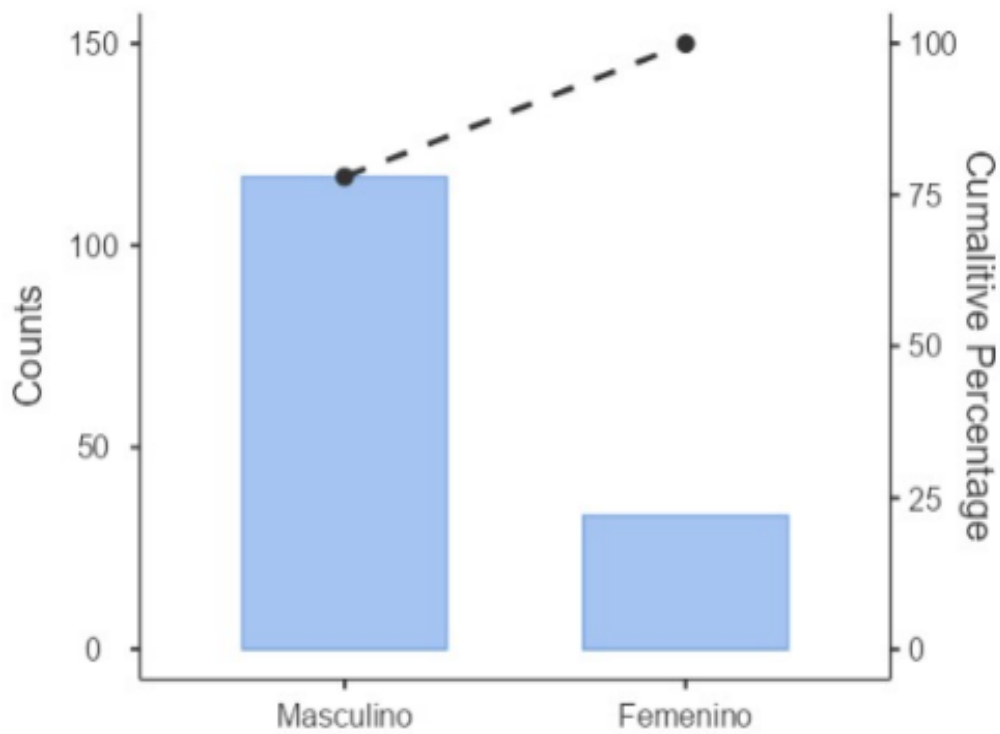


Figura 3.
Género de los encuestados.

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

De igual manera respecto a la edad, se evidencia una predominancia de aquellos cuya edad esta entre los 31 y 40, siendo este el 55% del total **(Ver Figura 4)**.

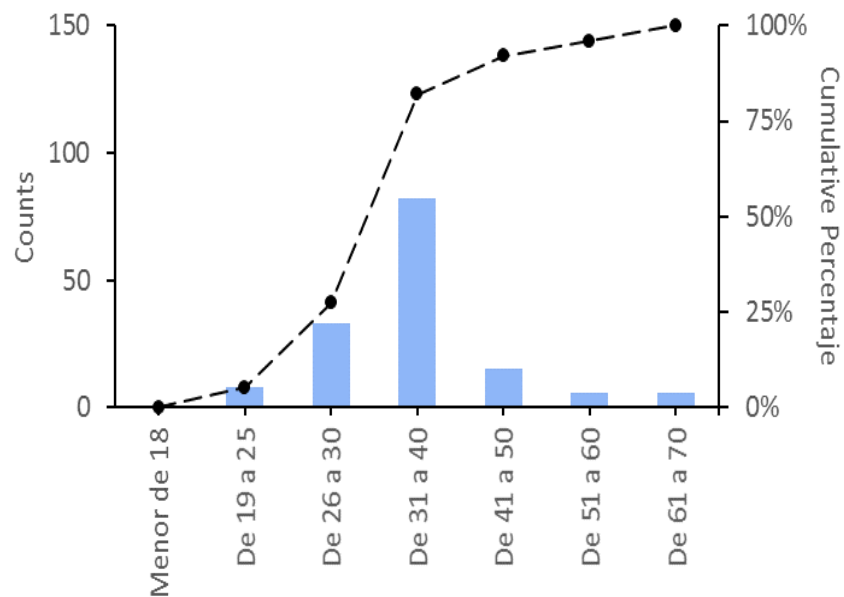


Figura 4.
Edad de los encuestados.

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

En cuanto a la profesión de los encuestados, el 42% son de la rama de ingeniería civil, esto claramente indica que son ellos quienes más se dedican a la construcción y por tanto están más relacionados con los desechos de su actividad. En menor medida se tiene a profesionales como Licenciados, Seguridad en el trabajo, Operador y Analistas con el 1% (Ver Figura 5).

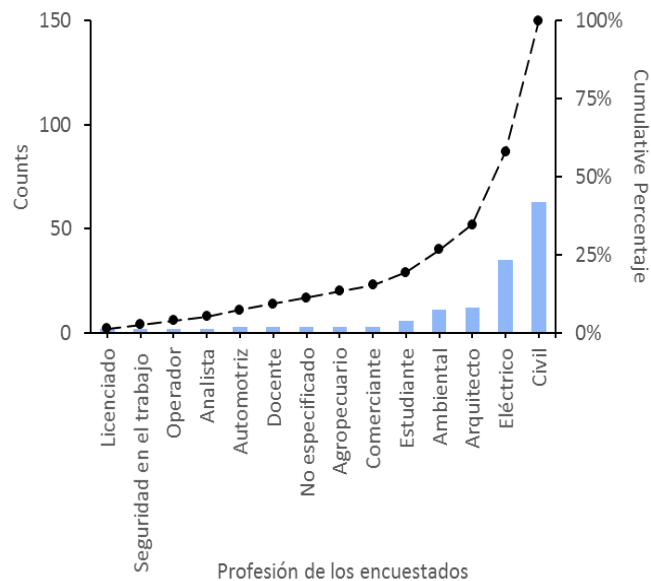


Figura 5.
 Profesión de los encuestados.

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

Al momento de preguntar a los encuestados sobre la cantidad de usos que le da al encofrado de la madera, el 46% menciona que le da dos usos, el 22.7% más de tres usos, el 19.3% 3 usos, mientras que el 12% solo un uso. Se puede apreciar entonces que la mayoría de profesionales de la construcción le da más de 2 usos al encofrado de la madera dentro de los procesos de construcción **(Ver Figura 6)**.

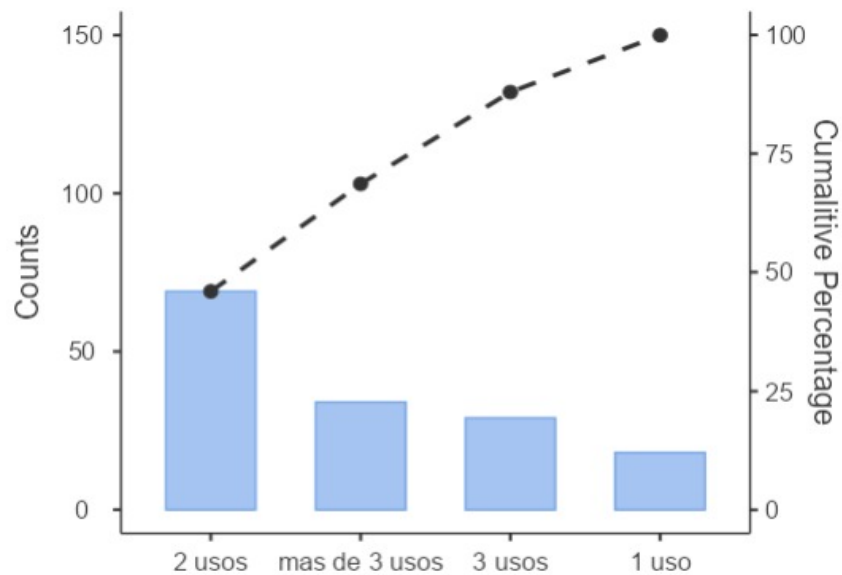


Figura 6.
 Número de usos del encofrado de la madera.

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

Del mismo modo, al momento de preguntar a los encuestados sobre si emplean el encofrado de madera en la construcción, el 90.7% menciona que, si lo usa, mientras que el 9.3% menciona que no los usa. Se aprecia entonces que la mayoría de profesionales encuestados emplea encofrado de madera dentro de los procesos de construcción que estos emplean (**Ver Figura 7**).

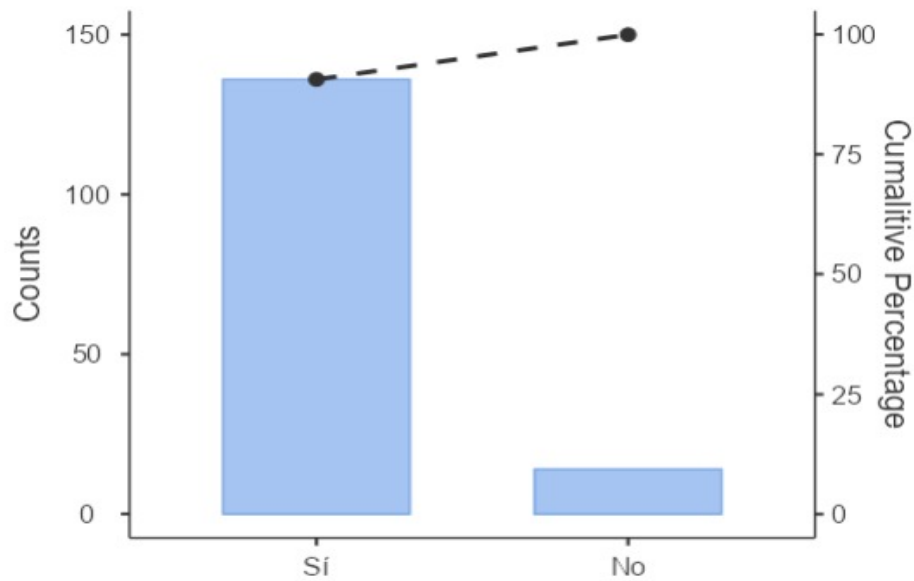


Figura 7.
Uso del encofrado de madera en la construcción.

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

De igual manera, cuando se preguntó a los profesionales sobre su conocimiento sobre el reciclaje de los residuos, el 60% mencionan que no lo conocen, mientras que el 40% mencionan si estar familiarizados. En contraste con las preguntas anteriores, en esta se puede evidenciar que los profesionales no se encuentran del todo familiarizados con el reciclaje de los residuos en la construcción, lo que conlleva a que estos residuos no puedan ser empleados para un nuevo uso dentro de dicho proceso, desperdiciando así una gran cantidad de material (**Ver Figura 8**).

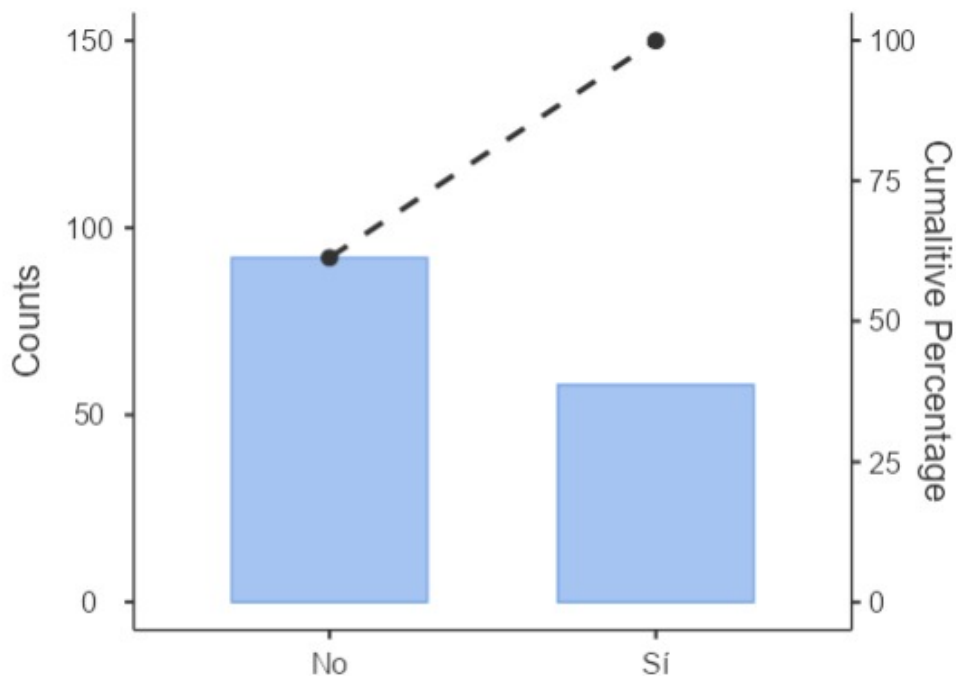


Figura 8.
 Conocimiento del reciclaje de residuos.

Cuando se preguntó a los profesionales de la construcción sobre su predisposición para donar residuos de madera para su reciclaje y posterior uso en la construcción, el 85% mencionaron estar de acuerdo, mientras que el 15% no están de acuerdo. Se aprecia

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

que casi el total de los encuestados tiene un alto nivel de predisposición para donar los residuos de madera, para su reciclaje y posterior reutilización dentro de los procesos de construcción **(Ver Figura 9)**.

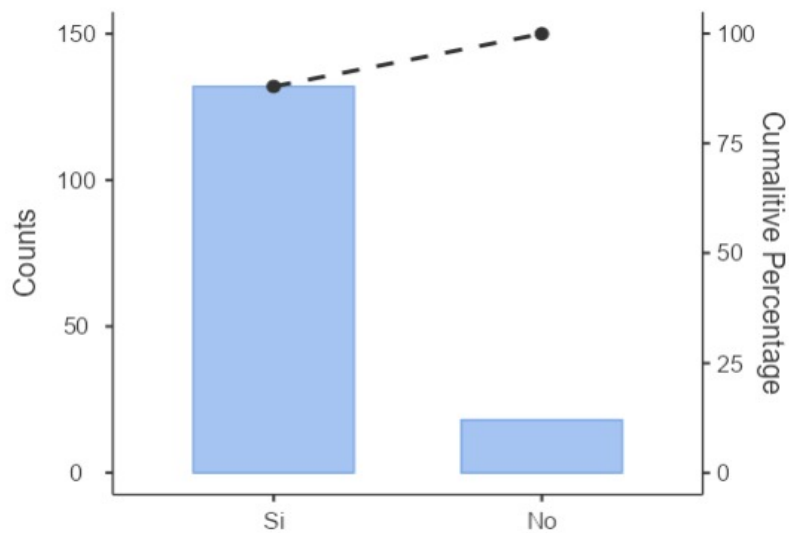


Figura 9.
Disposición de donar residuos de madera para reciclaje.

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

Respecto a la disposición de los tableros de madera después de una obra, el 34% lo emplea como madera la cual puede ser vendida en forma de leña, el 23% le da un segundo uso en una nueva obra, así también en la misma medida lo emplean para varios usos sea leña, segundo uso o escombreras. El 19% los dispone en una escombrera autorizada (**Ver Figura 10**).

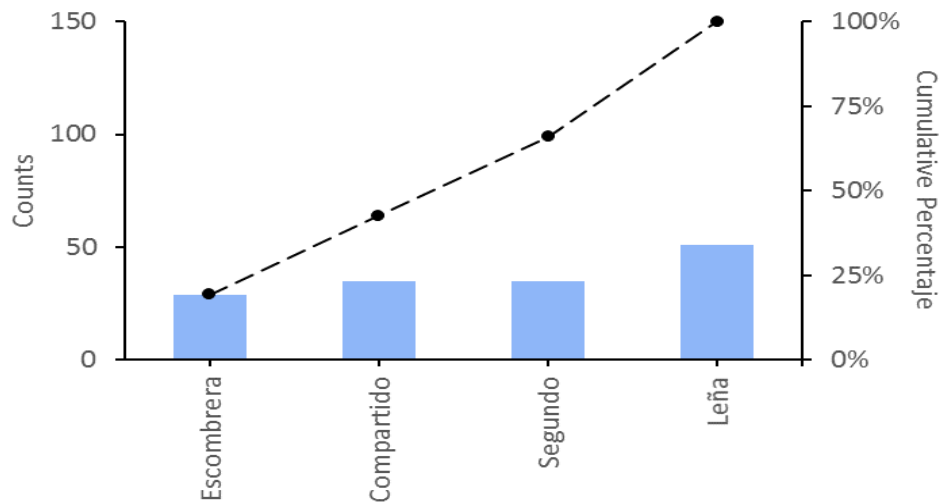


Figura 10.
 Uso del residuo maderero posterior a la obra.

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

El 56% de los implicados considera que en base a su experiencia se necesitan entre 30 y 70 kg/m² de material maderero para una obra, el 33% considera que se requiere menos de 30 kg/m², el 9% dice que se necesitan más de 70 kg/m² y un 2% desconoce del tema **(Ver Figura 11).**

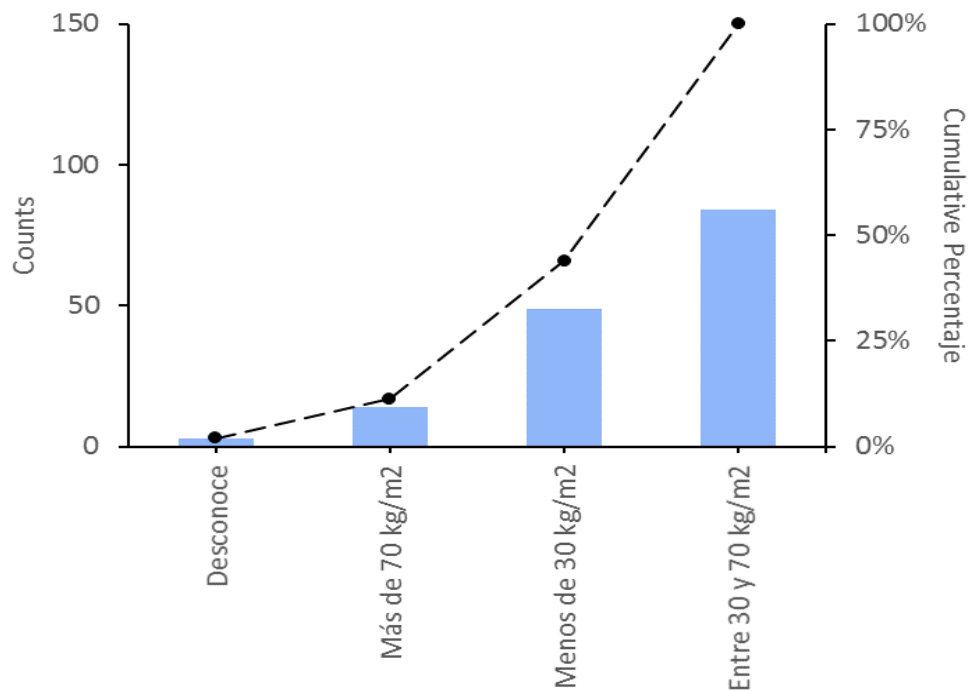


Figura 11.
 Cantidad de madera para obra por m².

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

Con respecto a la pregunta referente a ¿Cuáles son los tipos de encofrado que usted usa normalmente en una obra de construcción?, debido a la diversidad de respuestas y su falta de uniformadas entre ellas, no es posible hacer una clasificación para realizar una gráfica, sin embargo, gracias a la observación directa de los resultados, se puede inferir que las empleadas son: Pingos, Tiras/Cuartones, Tablas/Tablones, Tableros de playwood.

Finalmente, al momento de preguntar a los encuestados sobre su conocimiento acerca de programas de reciclaje o centros de acopio en la ciudad, el 93% mencionan que no, el 5% mencionan que desconocen del tema, mientras que el 2% restante mencionan conocer estos centros. Se aprecia entonces que la mayoría de encuestados no conocen de forma directa estos centros de acopio, lo que conlleva a que estos no puedan reciclar los residuos de la madera generado, provocando que estos se desperdicien directamente (Ver Figura 12).

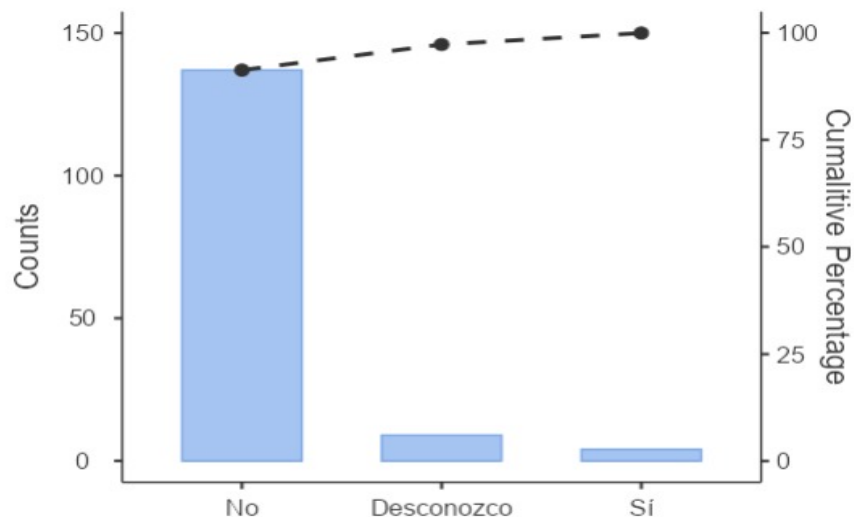


Figura 12.
 Conocimiento sobre iniciativas o centros de acopio de residuos.

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

Una vez analizada la situación actual se evidencia que existen alrededor de 62,311.00 toneladas de madera de encofrado que pueden ser recicladas en la ciudad de Cuenca, considerando un valor intermedio entre 30 y 70 kg*m2 de construcción según la encuesta realizada.

Después de analizar la cantidad de residuos de encofrado en la construcción se procedió a realizar los diseños de las mezclas para la obtención de tableros de partículas de aglomerados; para lo cual, se realizaron 6 distintos tipos de dosificaciones que se presentan en la **Tabla 4**.

Tabla 4.
 Dosificación de muestras de tableros.

Muestra	Dosificación								
	Peso muestra seca (g)	% humedad	Agua (g)	%	Aglutinante (g)	%	Peso madera triturada (g)	%	Peso Total (g)
M1	183,50	4,30%	51,00	13,51%	76,50	20,26%	250,00	66,23%	377,50
M2	193,00	4,00%	51,00	12,72%	100,00	24,94%	250,00	62,34%	401,00
M3	204,00	4,50%	51,00	11,31%	150,00	33,26%	250,00	55,43%	451,00
M4	228,50	4,20%	51,00	10,60%	180,00	37,42%	250,00	51,98%	481,00
M5	232,00	4,30%	51,00	10,18%	200,00	39,92%	250,00	49,90%	501,00
M6	223,50	4,30%	51,00	9,26%	250,00	45,37%	250,00	45,37%	551,00

Como se puede apreciar en la **Tabla 4**, se procuró que cada una de las 6 muestras contenga la misma cantidad de agua y al tener un mismo tiempo de secado el porcentaje de humedad es similar. Este porcentaje de humedad presenta una variación de 0,5% para cada una de las muestras realizadas. En lo que respecta a la cantidad de aglutinante empleado para la elaboración de las muestras, la muestra M1 empleó 76,5 gramos de

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

aglutinante. Para las demás muestras, se incrementó la cantidad de aglutinante en una escala de 30 – 50 gramos por muestra.

Otro aspecto importante a mencionar es el peso de la madera triturada, mismo que fue de 250 gramos para cada muestra. Finalmente, el peso de las muestras obtenidas oscila entre 377.50 – 551.00 gramos. El primer fue el triturado de la madera, se empleó una máquina trituradora para este fin, procurando que toda la madera de encofrado reciclada sea usada para el desarrollo de las muestras. **(Ver Figura 13)**



Figura 13.
Triturado de la madera.

Posterior al triturado de la madera, se procedió a colocar los residuos triturados en los moldes fabricados para cada muestra. Antes de su colocación en cada molde se procedió a pesar el material a ingresar en cada molde, con el objetivo de que las muestras sean uniformes en el peso de la madera. La cantidad de aglutinante empleado fue pesada por

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

medio de un envase independiente, para posteriormente ser colocado en cada molde con la madera triturada para su compactación (**Ver Figura 14**).



Figura 14.
Mezclado de la muestra.

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

Estos tableros se pasaron por un proceso de fabricación de trituración de la madera, como segundo punto un mezclado con el material aglutinante y agua, finalmente por un tiempo de secado de 21 días a temperatura ambiente (**Ver Figura 15**).



Figura 15.
Prensado de la muestra.

Después de realizadas las muestras y pasar por un proceso de secado, se realizaron las pruebas físicas para analizar el comportamiento de las mismas a los ensayos de flexión y compresión, obteniendo los resultados que se muestran en la **Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7**. El primer ensayo realizado para cada una de las muestras elaboradas fue el ensayo a compresión como se muestra en la **Figura 16**, cuyos resultados se presentan en la **Tabla 5**.

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

Tabla 5.
 Resultados de ensayos a compresión.

Muestra	Propiedades en estado endurecido a los 21 días	
	Resistencia a compresión simple (Kg/cm ²)	Densidad (gr/cm ³)
MDP	40,00	0,67
M1	71,54	0,36
M2	71,71	0,38
M3	76,76	0,40
M4	82,43	0,45
M5	87,04	0,46
M6	96,01	0,44

Para el material de prueba MDP, se obtuvo un valor de resistencia a la compresión de (40 kg/cm²), mismo que tenía una densidad de (0.67 gr/cm³). Este valor fue ampliamente superado por las 6 muestras empleadas para el desarrollo del estudio, siendo la muestra M6 la de mayor resistencia a la compresión simple (96.01 kg/cm²), con una menor densidad a comparación del material de prueba (0,44 gr/cm³).

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio



Figura 16.
Ensayo a compresión.

En lo que respecta al ensayo a flexión que se muestra en la **Figura 17**, se presentan los resultados obtenidos posteriores a la aplicación del mismo, en el material de prueba y en las muestras fabricadas como se puede apreciar en la **Tabla 6**.

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

Tabla 6:
 Resultado de ensayos a flexión para cada una de las muestras elaboradas.

Muestra	Propiedades en estado endurecido a los 21 días
Molde 24x14x1,50 cm	Resistencia a flexión (Kgf)
MDP	201,58
M1	60,87
M2	150,47
M3	170,63
M4	190,12
M5	195,52
M6	218,63

Se puede evidenciar que la resistencia a la flexión del material de muestra fue de 201.58 Kgf. Esta resistencia, a diferencia de los valores obtenidos para la compresión simple, es mucho mayor que las resistencias a flexión obtenidas para las primeras 5 muestras; no obstante, la muestra M6 presentó una resistencia a la tracción de 218.63 Kgf, lo que representa un aumento cercano al 7% en la resistencia del material. Esta situación permite establecer entonces que la combinación de material compuesto obtenido para la muestra M6 presenta una mejor resistencia a la tracción que el material de prueba.

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio



Figura 17.
Ensayo a flexión.

Del mismo modo, en la **Tabla 7**, se presentan los valores obtenidos para las propiedades mecánicas de cada una de las muestras.

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

Tabla 7.
 Resultados de ensayos a módulo de ruptura (MOR).

Muestra	Propiedades en estado endurecido a los 21 días				
Molde 24x14x1,50 cm	Carga Puntual Aplicada P (Kg)	Luz de apoyo L (cm)	Longitud Transversal de la probeta a (cm)	Espesor de la probeta e (cm)	Módulo de Ruptura MOR (Kg/cm2)
MDP	201,58	16,00	14,00	1,50	153,58
M1	60,87	16,00	14,00	1,50	46,38
M2	150,47	16,00	14,00	1,50	114,64
M3	170,63	16,00	14,00	1,50	130,00
M4	190,12	16,00	14,00	1,50	144,85
M5	195,52	16,00	14,00	1,50	148,97
M6	218,63	16,00	14,00	1,50	166,58

De la **Tabla 7**, se puede apreciar que la longitud de cada probeta analizada fue de 14 centímetros, con una luz de apoyo de 16 centímetros. El espesor de cada una de las probetas fue de 1,5 centímetros. La muestra M6 es la que mejor rendimiento presenta con respecto a las demás, misma que obtuvo una carga puntual aplicada de 218.63 Kgf. Del mismo modo, el valor del módulo de ruptura (MOR) obtenido para la muestra M6 fue de 166.58 Kg/cm², siendo mayor que el módulo de MOR del material de prueba (tablero MDP de Pelikano Novopan), mismo que tiene un valor de 153.58 Kg/cm².

Para poder validar los resultados obtenidos para cada una de las muestras empleadas, se procedió a comparar los mismos con lo establecido dentro de la NEC 2014 para materiales derivados de la madera. Los resultados de la **Tabla 4**, **Tabla 5**, **Tabla 6** y **Tabla 7**, se compararon con los requisitos a cumplir de tableros de partículas aglomeradas de la **Tabla 8**, **Tabla 9**, y **Tabla 10**, tomando en consideración a la muestra M6, que fue la que presentó un mejor comportamiento ante los ensayos de flexión y compresión aplicados.

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

En la **Tabla 8** se pueden apreciar los valores de clasificación para el módulo de resistencia (MOR) y el contenido de humedad que debe presentar la madera al momento de ser empleada para la construcción. Como se mencionó en la **Tabla 4**, todas las muestras de material obtenidas tienen una humedad de 4.3%. La humedad se midió de la manera mostrada en la **Figura 18**.

Tabla 8:
 Requisitos de MOR y contenido de humedad para tableros de partículas.

Grado	MOR (kg/cm ²)	Contenido de Humedad (%)
HG	210	5-11
MG-S	145	5-11
MG-1	110	5-11
LG	80	5-11
LD-2	50	5-11
LD-1	30	5-11

Fuente: Norma, ANSI A208.1:2016, 2016.

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio



Figura 18:
Medición del contenido de humedad.

En base a los resultados, la muestra M6 se encasilla dentro del grado HG, con base en la resistencia y porcentaje de humedad obtenidos.

En lo que respecta a los esfuerzos admisibles para el material, en la **Tabla 9** se presentan los requisitos necesarios para la clasificación del material, tomando como referencia lo establecido dentro de la NEC 2014.

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

Tabla 9.
Esfuerzos admisibles en madera laminada.

ESFUERZOS ADMISIBLES		
Grupo	Compresión (kg/cm ²)	Flexión (Kgf)
A	40	210
B	28	150
C	15	100

Fuente: Norma NEC (2014).

La muestra M6 de material reciclado presenta una resistencia a la compresión de 96.01 kg/cm², mientras que presenta una resistencia a flexión de 218.63 kgf. Es importante mencionar que todas las muestras realizadas tienen una resistencia a la compresión mayor a la establecida para la categoría A, únicamente la muestra M6 presenta un valor superior a lo establecido dentro de la categoría para la resistencia a flexión; por tal motivo, se toma en consideración únicamente a la M6 como la muestra que cumple con los objetivos para ser considerada como categoría A.

Finalmente, en la **Tabla 10**, se presentan los valores predeterminados para la clasificación de la densidad, tomando como referencia lo establecido dentro de la NTC 226.

Tabla 10.
Clasificación de los tableros según su densidad.

Grado	Designación	Densidad (Kg/m ³)
Baja	L	menor de 500
Media	M	entre 500-800
Alta	H	mayor a 800

Fuente: Norma NTC 226 (2001).

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

Todas las muestras elaboradas se enmarcan en un grado bajo, a diferencia de la muestra de MDP empleada, misma que se enmarca en un nivel medio.

Finalmente, en la **Figura 19**, se presenta una imagen comparativa entre la muestra M6 y la muestra de tablero MDP de Pelikano Novopan.



Figura 19.
Comparación de muestra M5 con un tablero MDP de Pelikano Novopan.

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Dentro del presente documento se analiza a fondo la resistencia de un material elaborado a partir de residuos obtenidos del encofrado de la construcción. Estos materiales, en la gran mayoría de ocasiones, son considerados como desperdicios. La palabra “desperdicio” proyecta una visión de un material sin valor o propósito útil. Sin embargo, se está desarrollando una tecnología que promete utilizar residuos o madera reciclada y en algunos casos, incluso plásticos para fabricar una serie de productos compuestos de alto rendimiento, que son en sí mismos potencialmente reciclables (Vicuña Vicuña, 2016). Cuando las fibras, resinas y otros materiales se utilizan como materia prima para productos como el papel, requieren una limpieza y un refinamiento exhaustivo. Cuando se utilizan fibras, resinas y otros materiales recuperados para la fabricación de materiales compuestos, estos no requieren una preparación exhaustiva. Esto reduce en gran medida el coste potencial de fabricación.

Los materiales compuestos de madera dura son termoestables que incorporan una pequeña madera en forma de polvo o microfibras. Se utilizan en diversas aplicaciones de la fase dispersa. Los materiales compuestos de madera-polímero Wood Plastic Composite (WPC por sus siglas en inglés) son sustancias o artículos formados por harinas naturales y polímeros, como la poliamida, el rayón o el látex. Su bajo coste y eficacia superior, así como su elevado desarrollo sostenible, baja absorción de humedad, robustez frente a los impactos ecológicos, como los insectos y los hongos, en comparación con la madera, la estabilidad de sus datos dimensionales a lo largo de toda su vida útil y su elevada rigidez relativa, han atraído la atención de fabricantes e investigadores en las últimas décadas (Salgado et al., 2015).

Los materiales naturales proceden de diversas fuentes y contienen una gran variedad de polímeros. Como sustituto de la madera natural (por ejemplo, en vallas, suelos y tarimas), son especialmente útiles en lugares de trabajo húmedos o en cualquier sitio en el que las fibras de madera interactúen con el líquido: el polipropileno (PP) insoluble en agua se separa a la vez que defiende las fibras solubles, aumentando la durabilidad y reduciendo

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

la necesidad de iniciativas de mantenimiento, al menos hasta cierto punto. Además, su aplicabilidad en los campos de sonido y la industria del motor es notable.

El primer punto se explica por sí mismo, ya que las partículas de madera dura suelen ser materiales de bajo coste que suelen proceder de restos agrícolas o comerciales. Además, una fracción significativa de la sustancia de origen carbonífero se sustituye por un ingrediente más ecológico, a menudo hasta un 60 o 70 % en peso de un elemento más ecosostenible, mientras que, si el monómero es efectivamente un plástico reciclable de origen natural, la ventaja ecológica puede aumentar aún más (López Rodríguez & Rojas González, 2018).

En muchos usos, los compuestos de fibra de madera de diversos tipos son opacos, coloreados, pintados, o superpuestos. En consecuencia, las fibras recuperadas, las resinas u otros materiales utilizados para los compuestos no requieren una limpieza y un refinamiento exhaustivos. Por lo tanto, los materiales compuestos ofrecen una opción excepcionalmente favorable para el reciclaje de varias clases de RSU muy visibles y problemáticas: papel de varios tipos, residuos de madera, botellas de plástico, cenizas volantes, yeso y otras fibras de origen biológico (Caisa Yucailla et al., 2020). En lo que respecta al desarrollo del presente trabajo de investigación, se pueden mencionar las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- Para trabajos posteriores se recomienda, reforzar la estimación muestral para aumentar la confiabilidad del estudio, disminuyendo el margen de error a un 5%.
- Se realizaron 6 tableros con distintas dosificaciones como se muestra en la **Tabla 4**.
- El costo obtenido para la elaboración de un tablero de 1.22x2.44 m por 15 mm de espesor es de 50 dólares como se muestra en la **Tabla 11**.

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

Tabla 11.
 Costo de fabricación del tablero de 1.22x2.44 m por 15 mm de espesor con la dosificación M6.

EQUIPOS					
Descripción	Cantida d	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Cost o
Equipo menor	1.00	0.20	0.20	0.89600	0.18
SUBTOTAL M					0.18
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantida d	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Cost o
Peón	1.00	3.83	3.83	0.89600	3.43
Carpintero	1.00	3.87	3.87	0.89600	3.47
SUBTOTAL N					6.90
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Cost o	
Polivinil de acetato industrial	gl	2.50	14.00	35.00	
Madera triturada	kg	19.80	0.40	7.92	
Agua	m3	0.00	5.00	0.01	
SUBTOTAL O					42.93
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Cost o	
SUBTOTAL P					0.00
TOTAL, COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					50.00

Elaboración: Programa Interpro 3 (2022).

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

- El uso que se pretende dar a los tableros es cielos rasos, revestimientos de paredes, divisiones modulares, muebles.
- Se recomienda un tiempo de prensado 96 horas para que no se vea afectada la resistencia a flexión de las muestras.
- El tablero obtenido tiene una capacidad de lijado 80/100, soporta lijado en máquina de alta porosidad y una capacidad para cortar 90/100.
- Demuestra ser un tablero homogéneo.
- Resistente a aplicar pinturas y disolventes.
- Solo en la ciudad de Cuenca se puede obtener una cantidad de 3'000,000.00 de tableros.
- No se recomienda secado en horno, ya que las muestras se pandean, evitando así conocer las verdaderas características del tablero.
- El tablero se puede usar en interiores; no se recomienda exponerle a la acción directa del agua ni ambientes húmedos.
- No se recomienda colocar en lugares cercanos a fuentes de calor como hornos o chimeneas.
- Hinchamiento en 2 h de máximo el 10 %.
- Pandeo longitudinal de máximo 7 mm.
- Humedad del tablero del 4% con un tiempo de secado de 21 días, se recomienda secar por lo menos 17 días para obtener el mínimo requerido de 11 % de humedad y ahorrar energía.
- La fabricación de los tableros con la dosificación M6 es viable, ya que el costo para su elaboración es de 50 dólares; valor que es menor al del tablero MDP, Pelikano Novopan, disponible en el mercado con un costo de 60 dólares.
- Entre las principales ventajas del tablero M6 es que es un tablero más liviano en un 34% a comparación del MDP, con las mismas características a flexión, compresión y módulo de MOR, con lo cual el menor peso influiría en la

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

disminución de cargas en las edificaciones, menor costo en la transportación, menor cantidad de madera triturada, todo al final se vería reflejado en un menor costo de producción.

FINANCIAMIENTO

No monetario.

AGRADECIMIENTO

El presente artículo es parte del trabajo de investigación y titulación del Programa de Maestría en Construcción con Mención en Administración de la Construcción Sustentable de la Universidad Católica de Cuenca, por ello agradecemos a todos y cada uno de los instructores pertenecientes a los grupos de investigación; Ciudad, Ambiente y Tecnología (CAT), y Sistemas embebidos y visión artificial en ciencias, Arquitectónicas, Agropecuarias, Ambientales y Automática (SEVA4CA), por los conocimientos e información brindados para la elaboración del trabajo.

REFERENCIAS CONSULTADAS

- Caisa Yucailla, E. D., Padilla Martínez, M. P., & Ríos Lara, G. F. (2020). El reciclaje de madera una herramienta para emprender y cuidar el planeta [Wood recycling, a tool for entrepreneurship and care for the planet]. *INNOVA Research Journal*, 5(1), 164–179. <https://doi.org/10.33890/innova.v5.n1.2020.1038>
- Carvajal Suárez, A. C. (2018). Esquema de aprovechamiento de residuos sólidos comunes para la upb bajo el concepto de economía circular [Common solid waste utilization scheme for upb under the concept of circular economy]. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/5402>
- Cerda, E., & Khalilova, A. (2015). Economía circular [Circular economy]. *Economía Circular, Estrategia y Competitividad Empresarial*, 11. <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v21i3.4354>

- CONAMA, F. (2018). Economía circular en el sector de la construcción [Circular economy in the construction sector]. Recuperado de <https://n9.cl/zbem9>
- García de la Cruz, J. M. (2019). Economía Circular-Espiral. Transición hacia un metabolismo económico cerrado [Circular-Spiral Economy. Transition to a closed economic metabolism]. *Revista de Estudios Empresariales. Segunda Época.*, 1, 249–250.
<https://revistaselectronicas.ujaen.es/index.php/REE/article/view/5661/4905>
- González Ordaz, G. I., & Vargas-Hernández, J. G. (2017). La economía circular como factor de la responsabilidad social [Circular economy as a factor of social responsibility]. *Economía Coyuntural*, 2(3), 105-130.
- Guzmán, M. A., & Guevara, C. D. (2020). Economía circular, una estrategia para el desarrollo sostenible. Avances en Ecuador [Circular economy, a strategy for sustainable development. Progress in Ecuador]. *Estudios de La Gestión. Revista Internacional de Administración*, 19(1), 23.
<https://doi.org/10.32719/25506641.2020.8.10>
- Huamán Pinto, A. J. (2019). Bases teóricas para realizar la investigación influencia de la adición de residuos de construcción en la resistencia a la flexión de losas aligeradas con elevada demanda de instalaciones sanitarias [Theoretical basis for the investigation of the influence of the addition of construction waste on the flexural strength of lightened slabs with high demand for sanitary facilities]. Universidad Privada de Trujillo. <http://repositorio.uprit.edu.pe/handle/UPRIT/146>
- Lakatos, E. S., Yong, G., Szilagyi, A., Clinci, D. S., Georgescu, L., Iticescu, C., & Cioca, L. I. (2021). Conceptualizing core aspects on circular economy in cities. *Sustainability (Switzerland)*, 13(14), 1–21. <https://doi.org/10.3390/su13147549>
- López Rodríguez, D. F., & Rojas González, A. F. (2018). Factores que influncian las propiedades mecánicas, físicas y térmicas de materiales compuestos madero plásticos [Factors influencing the mechanical, physical and thermal properties of wood-plastic composite materials]. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 12(23), 93–102.
<https://doi.org/10.31908/19098367.3708>
- Ministerio de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca. (2021). *Libro Blanco de Economía Circular de Ecuador* [Ecuador's Circular Economy White Paper]. Recuperado de <https://n9.cl/y7d8h>

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

- Morán Loor, P. J. (2019). *La marca sectorial "Economía circular del Ecuador" y su impacto en el comercio exterior* [The "Circular Economy of Ecuador" sectoral brand and its impact on foreign trade]. <http://repositorio.uq.edu.ec/handle/reduq/45807>
- Morseletto, P. (2020). Targets for a circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 153(October 2019), 104553. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104553>
- Pacheco Bustos, C. A., Fuentes Pumarejo, L. G., Sanchez Cotte, É. H., & Rondón Quintana, H. A. (2017). Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión [Construction and demolition waste (CDW), a perspective of use for the city of barranquilla from its management model]. *Ingeniería y Desarrollo*, 35(2), 533–555. <https://www.redalyc.org/journal/852/85252030015/html/>
- Peña, A. (2016). *Panel prefabricado a base de fibras naturales* [Prefabricated panel based on natural fibers]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/25315>
- Prieto-Sandoval, V., Jaca, C., & Ormazabal, M. (2017). Economía circular: Relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación [Circular economy: Relationship with the evolution of the concept of sustainability and strategies for its implementation]. *Memoria Investigaciones En Ingeniería*, 15, 15. <http://revistas.um.edu.uy/index.php/ingenieria/article/view/308/366>
- Revista Costos. (2022). *La Economía Circular en la Construcción* [The Circular Economy in Construction]. Recuperado de <https://n9.cl/sjizq>
- Salgado, J. C., Romero, S. A., & Guzman, R. Z. (2015). Desarrollo de una alternativa ecológica para la fabricación de estructuras auxiliares de madera []. Development of an ecological alternative for the manufacture of auxiliary wooden structures]. *Sociedad y Ambiente*, 1, 98–107. <https://www.redalyc.org/pdf/4557/455744913005.pdf>
- Terre Toran, J. I. (2018). *Economía Circular para los Residuos de Construcción y Demolición RCD* [Circular Economy for Construction and Demolition Waste Construction and Demolition Waste (CDW)]. [https://construye2025.cl/wp-content/uploads/2018/11/jose-ignacio-terre-toran\(1\).pdf](https://construye2025.cl/wp-content/uploads/2018/11/jose-ignacio-terre-toran(1).pdf)

Xavier Efrén Espinosa-Espinosa; Diego Xavier Morales-Jadan; Carlos Eduardo Romo-Zamudio

Vicuña Vicuña, D. D. (2016). *Obtención de biocompuestos a partir de residuos de madera (sawdust) y resina termoplástica [Obtaining biocomposites from wood waste (sawdust) and thermoplastic resin]*.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12705/1/UPS-CT006574.pdf>

Zink, T., & Geyer, R. (2017). Circular Economy Rebound. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 593–602. <https://doi.org/10.1111/jiec.12545>

©2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).