

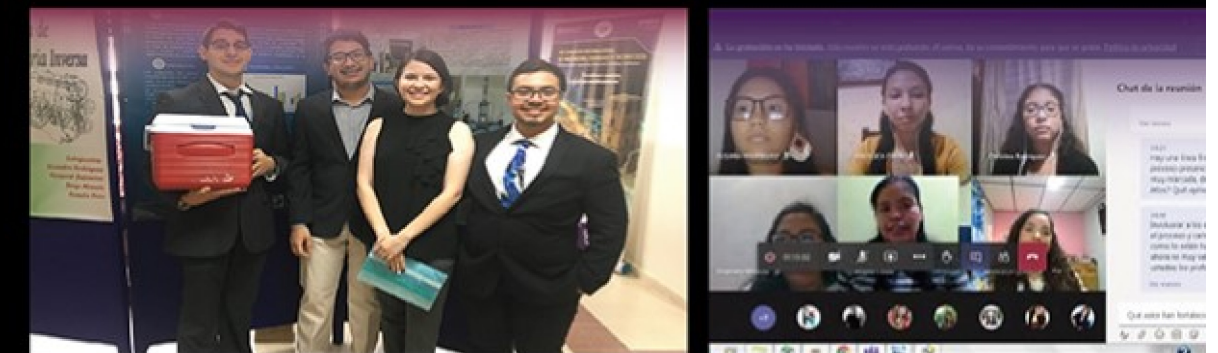
# RIC

REVISTA DE  
**INICIACIÓN  
CIENTÍFICA**

JOURNAL OF UNDERGRADUATE RESEARCH

Vol. 7 - N.º 1 - ENERO - JUNIO 2021

P-ISSN 2412-0464 & E-ISSN 2413-6786



Universidad Tecnológica de Panamá

Campus Universitario Dr. Víctor Levi Sasso,  
Edificio Administrativo  
Teléfono: (507) 560-3703 / Telefax: (507) 560-3442  
Correo Electrónico: [editorial@utp.ac.pa](mailto:editorial@utp.ac.pa)  
Web: [www.utp.ac.pa](http://www.utp.ac.pa)  
Apartado Postal 0819-07289 El Dorado,  
Panamá Provincia de Panamá  
República de Panamá.



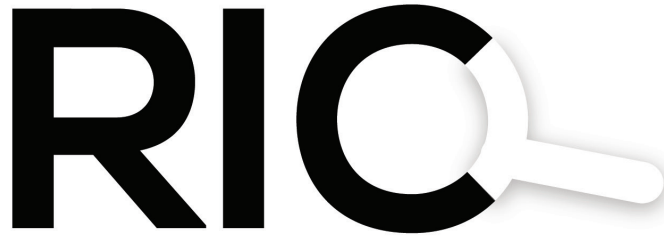
latindex ROAD MIAr UTP-Ridda BASE  
Directory Catalogue  
Google OpenAIRE PKP/INDEX MENDELEY  
Asociación Centroamericana ICA

## **Cuerpo de Evaluadores-Mentores de este Volumen**

<b>Área de investigación de UTP</b>	<b>Revisor / mentor</b>	<b>Facultad, Centro de Investigación o Centro Regional</b>
Robótica, automatización e inteligencia artificial	Dr. Ignacio Chang	Facultad de Ingeniería Eléctrica
Robótica, automatización e inteligencia artificial	Dra. Deyka García	Centro Regional de Veraguas (Facultad de Ingeniería Mecánica)
Robótica, automatización e inteligencia artificial	Dr. Dimas E. Portillo L.	Facultad de Ingeniería Mecánica
Agroindustria	Dr. Pablo Montero P.	Centro de Innovación y Transferencia Tecnológica
Agroindustria	Dr. Wedleys Tejedor Espinosa	Centro de Producción e Investigaciones Agroindustriales
Energía y ambiente	Mgr. Kleveer Espino	Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas



Procesos de manufactura y ciencia de los materiales	Dra. Elida De Obaldía	Vicerrectoría de Investigación, Postgrado y Extensión
Energía y ambiente	Mgtr. Karina García	Facultad de Ingeniería Civil
Energía y ambiente	Dra. Viccelda Domínguez de Franco	Facultad de Ingeniería Civil
Energía y ambiente	Dr. Reinhardt Pinzón	Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas
Energía y ambiente	Dr. Alexander Esquivel	Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas



REVISTA DE  
**INICIACIÓN**  
CIENTÍFICA

JOURNAL OF **UNDERGRADUATE** RESEARCH

La **RIC**, Revista de Iniciación Científica – Journal of Undergraduate Research – es una revista abierta a la difusión, a los intercambios y a los debates de interés de la comunidad universitaria, esencialmente a nivel de pregrado con el objetivo de promover la creación, la expresión y la disseminación de trabajos novedosos y empíricos. En la RIC se publican, prioritariamente trabajos originales relacionados con los temas de ciencias, tecnología e ingeniería, desarrollados por estudiantes de licenciatura, en español, portugués o en inglés, incluyendo resultados de trabajos de términos de grado y otros trabajos de investigación desarrollados en pregrado.

**Revista semestral**, es un proyecto educativo universitario, publicada a partir del 2015, como iniciativa del Ing. Alexis Tejedor De León, PhD, ING-PAED-IGIP, de la Facultad de Ingeniería Mecánica del Centro Regional de Veraguas de la Universidad Tecnológica de Panamá, con

la finalidad de brindar una oportunidad, única, a los estudiantes universitarios de experimentar plenamente el método científico, a partir del desarrollo de trabajos originales para su publicación y visibilidad internacional, por medio del proceso de revisión por pares.

*The manuscript should be of similar style and structure to that of typical articles published in professional journals.*

Los artículos y trabajos técnicos publicados en la Revista de Iniciación Científica – RIC – *Journal of Undergraduate Research* son de exclusiva propiedad de sus autores. Las opiniones y el contenido de los mismos pertenecen a sus autores, declinando la Universidad Tecnológica de Panamá de toda responsabilidad por los derechos que pudiera derivarse de la lectura y/o interpretación del contenido de los trabajos allí publicados.



# Misión

La RIC, es una revista de estudios, revisiones e investigaciones en ciencia, tecnología e ingeniería, tanto teóricos, como empíricos, que tiene como objetivo divulgar la producción académica universitaria a nivel de pregrado, propiciando el intercambio de informaciones y el debate sobre los principales asuntos y temas emergentes de las áreas. Se da relevancia a la diseminación de los trabajos realizados en universidades nacionales, sin embargo, publicará también estudios provenientes del exterior. Por lo tanto, se invita a cualquier estudiante de licenciatura en las áreas de ciencia, tecnología e ingeniería a presentar sus manuscritos, y enviarlos a la dirección: revista.ric@utp.ac.pa

## Proceso de revisión

En primer lugar, el Director del Comité Editorial realiza una selección preliminar de los manuscritos sometidos, tomando en consideración la Misión de la RIC.

Los artículos seleccionados se someten y se asignan a uno de los miembros del Comité Editorial de la RIC. Se envían a mentores/ revisores de acuerdo al área de especialidad, los cuales enviarán sus comentarios a uno de los miembros del Comité Editorial, responsable por darle seguimiento al manuscrito designado.

El miembro del Comité Editorial, sintetizará los comentarios y observaciones emitidos por los revisores, y su decisión sobre la publicación del manuscrito, el cual podrá aceptarse tal y como se envió, aceptarse con pequeñas modificaciones, o devolverse con la invitación de que lo vuelva a someter. El autor, en cuestión, atenderá las modificaciones sugeridas. Se podrán llevar a cabo, varias rondas de comentarios, hasta que finalmente el manuscrito se considere adecuado para su publicación.



Dra. Casilda Saavedra de Madrid  
DIRECTORA



## MENSAJE DE LA DIRECTORA

La Revista de Iniciación Científica de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) es el espacio propicio para fomentar la cultura de investigación en los futuros profesionales de Panamá, a través de la publicación de artículos de la tesis de grado, artículos de la Jornada de Iniciación Científica-JIC, artículos de revisión del estado del arte y otros trabajos estudiantiles de investigación. El espíritu de la RIC es servir de puente, de manera que sus autores aumenten progresivamente la calidad de su trabajo y puedan posteriormente publicar en revistas profesionales indexadas, tanto a nivel nacional como internacional.

La Revista de Iniciación Científica-RIC es una revista semestral, está indexada en Catálogo 2.0 de Latindex y forma parte de las bases de datos: ERIHPLUS, ROAD, MIAR, Google Académico, Open Aire, PKP-INDEX, BASE, Mendeley, el

repositorio Centroamericano SIIDCA y el repositorio de UTP-RIDDA2.

Con mucho placer presentamos a la comunidad universitaria y al público en general el primer número del año 2021, Volumen 7, N.º 1 de la RIC. En este número contamos con diez artículos que abordan diferentes temáticas, escritos, no solamente por estudiantes y profesores asesores de la UTP, sino también por autores internacionales: contamos con un artículo de Cuba, un artículo de Ecuador y uno de Perú. El primer artículo de este número trata sobre una aplicación para el control de humedad del suelo en invernaderos. El segundo artículo evalúa el rendimiento en términos de temperatura, de un edificio en el Campus Víctor Levi Sasso, de la UTP. El tercer artículo se enfoca en el análisis de cómo influye la temperatura en procesos de soldadura en Cuba.



El cuarto artículo se enfoca en la evaluación de la cadena de frío en la región de Azuero, en el Arco Seco de Panamá; mientras que el quinto artículo presenta una evaluación de los impactos ambientales de proyectos de desarrollo urbano en Ecuador. En estos tiempos de pandemia, la academia ha sufrido una transformación en sus metodologías de enseñanza-aprendizaje y el sexto artículo trata de estrategias colaborativas de aprendizaje mediante un estudio de caso. El reciclaje de materiales como estrategia de protección ambiental es el objeto de dos artículos en este número: el séptimo se enfoca en el uso de materiales reciclables para la fabricación de placas vehiculares en Panamá, y el octavo, en la fabricación de probetas a base de caucho reciclado. Seguidamente, el noveno artículo se refiere a la caracterización de la conductividad térmica de materiales aislantes provenientes de fibras naturales.

Finalmente, el décimo artículo presenta los resultados de un estudio experimental sobre el uso de la mosca doméstica para el tratamiento de residuos orgánicos municipales en Perú.

Deseo expresar nuestro profundo agradecimiento a los autores que han confiado en la RIC para dar a conocer el resultado de sus investigaciones y especialmente al cuerpo de mentores-evaluadores que nos han apoyado en la revisión y recomendaciones de mejoras de los artículos de este número. Reitero la cordial invitación a los profesores y estudiantes de Universidad Tecnológica de Panamá y de otras universidades a que aprovechen este espacio para dar a conocer los resultados de sus proyectos de investigación y desarrollo, contribuyendo de esta manera a incrementar la cultura de investigación tan necesaria en nuestros países.

Que Dios les bendiga.

# RIC



Vol. 7 - N.º 1- ENERO - JUNIO 2021

P-ISSN 2412-0464 & E-ISSN 2413-6786

## CONTENIDO

- |       |   |   |
|-------|---|---|
| 9-15  | <b>SISTEMA DE RIEGO BASADO EN CONTROLADOR PID PARA LA ADECUACIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN INVERNADEROS</b>                | <b>Sallelis Calderón,<br/>Miriam Centell,<br/>Melanie Samaniego,<br/>Edwin Collado</b>                            |
| 16-23 | <b>EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO TÉRMICO Y ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS DE UN EDIFICIO UNIVERSITARIO EN CLIMA TROPICAL HÚMEDO</b> | <b>Milvia Castillo,<br/>Keivan Carrizo,<br/>Ángela de Mendes Da Silva,<br/>Dafni Mora,<br/>Miguel Chen Austin</b> |
| 24-29 | <b>INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA SOLDADURA DE UNIÓN DISÍMIL MEDIANTE PROCESO DE GAS Y TUNGSTENO</b>                    | <b>Tomás Fernández Columbié,<br/>Ledennis Suárez-Torres,<br/>Isnel Rodríguez González,</b>                        |



30-39	<b>ESTRATEGIAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN EFECTIVA DE LA CADENA DE FRÍO EN LA REGIÓN DE AZUERO</b>	<b>Lilibeth Madrid, Humberto Álvarez</b>
40-48	<b>EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS: CASO ESTUDIO VIVIENDAS DEL MIDUVI EN EL CANTÓN “LA MANÁ”, COTOPAXI, ECUADOR</b>	<b>Víctor Paul Carvajal Padilla, Robinson Rigoberto Ambuludi Paredes, Heidi Chávez, Estalín Grefa, Karel Diéguez Santana</b>
49-53	<b>ESTRATEGIAS COLABORATIVAS DE APRENDIZAJES DE ESTUDIANTES DURANTE LA COVID-19. CASO: CURSO DE TEORÍA DE CONTROL</b>	<b>Eugenio Navarro Zeballos, Ignacio Chang</b>
54-59	<b>PROPUESTA DE MATERIALES RECICLABLES PARA LA FABRICACIÓN DE PLACAS VEHICULARES EN LA REPÚBLICA DE PANAMÁ</b>	<b>María Serrano, Alexander Jaén, Nacarí Marín</b>
60-66	<b>PROPUESTA DE PROCESO PARA LA FABRICACIÓN DE PROBETAS A BASE DE CAUCHO RECICLADO GRANULADO</b>	<b>Jorge Fadul, Ana Bernal, Javier Batista, Nacarí Marín</b>
67-70	<b>FABRICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE MATERIALES AISLANTES A BASE DE FIBRAS NATURALES</b>	<b>Rolando Carvajal, Angélica Chung, Abdiel Pérez, José Solís, Nacarí arín</b>
71-83	<b>EVALUACIÓN DEL USO DE LARVAS DE MOSCA DOMÉSTICA (MUSCA DOMESTICA L.) COMO TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE RESIDUOS ORGÁNICOS MUNICIPALES</b>	<b>Reynaldo Salas Sucaticona, Yuly Mercedes Apaza Gómez, Ebed David Paredes Rodríguez</b>

# Sistema de riego basado en controlador PID para la adecuación de la humedad del suelo en invernaderos

## Irrigation system based on PID controller for the adaptation of soil moisture in greenhouses

Sallelis Calderón<sup>1</sup>, Miriam Centella<sup>1</sup>, Melanie Samaniego<sup>1</sup>, Edwin Collado<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Centro Regional de Azuero, Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>2</sup>Centro de Estudios Multidisciplinarios en Ciencias, Ingeniería y Tecnología-AIP (CEMCIT-AIP)

**Resumen** Actualmente el sector agrícola es el mayor consumidor de agua a nivel mundial. Esto se debe a que la mayoría de los agricultores utilizan técnicas de riego tradicionales, logrando así una mala utilización del agua en sus cultivos. Por ello, en los últimos años ha crecido el interés por desarrollar soluciones tecnológicas que permitan controlar el consumo de agua en este sector. El uso de estas soluciones en invernaderos ha mejorado aún más el consumo de agua, ya que estas estructuras permiten controlar mejor variables como la humedad de suelo. En este artículo se propone un sistema de control de riego que toma en cuenta las propiedades del cultivo y la humedad del suelo dentro del invernadero para decidir el momento adecuado del riego. Este diseño cuenta con un controlador proporcional, integral y derivativo (PID), un sistema de aspersores y una red de sensores. Las simulaciones fueron realizadas en LabVIEW, que es un software para la simulación, modelado para el análisis de sistemas que requieren pruebas, mediciones y control. Este software nos permite variar los parámetros del controlador PID para observar el comportamiento de la humedad en el suelo mediante una interfaz gráfica. De acuerdo con nuestros resultados, la implementación de este sistema de control de riego permite disminuir el consumo de agua en el sector agrícola, mientras se logra un buen desarrollo de las plantas en el sistema.

**Palabras clave** Control de humedad, controlador PID, invernadero, sistema de control y sistema de riego.

**Abstract** Currently the agricultural sector is the largest consumer of water worldwide. This is because most farmers use traditional irrigation techniques, thus achieving poor water use in their crops. For this reason, in recent years interest has grown in developing technological solutions that allow controlling water consumption in this sector. The use of these solutions in greenhouses has further improved water consumption, since these structures allow better control of variables such as soil moisture. In this article, an irrigation control system is proposed that considers the properties of the crop and the humidity of the soil inside the greenhouse to decide the right time to water. This design features a proportional, integral, and derivative (PID) controller, a sprinkler system, and a sensor network. The simulations were performed in LabVIEW, which is software for simulation, modeling, and analysis of systems that require testing, measurement, and control. This software allows us to vary the parameters of the PID controller to observe the behavior of moisture in the soil through a graphical interface. According to our results, the implementation of this irrigation control system allows reducing water consumption in the agricultural sector, while achieving a good development of the plants in the system.

**Keywords** Humidity control, PID controller, greenhouse, control system, irrigation system.

\* Autor de correspondencia: edwin.collado@utp.ac.pa

### 1. Introducción

El agua es un recurso natural finito, renovable y vulnerable, el cual es indispensable para el bienestar de las personas, el funcionamiento de los ecosistemas y el desarrollo de la economía [1]. A pesar de que la superficie de nuestro planeta está cubierta en un 70% de agua, este es un recurso escaso porque el porcentaje aprovechable es cerca del 0.7% del volumen total [2]. Hoy en día, Panamá se encuentra como cuarto país en el mundo en consumo de agua y el primero en América Latina, debido principalmente al mal manejo del recurso [3]. En países en vía de desarrollo como Panamá,

donde la agricultura es un sector clave en las actividades económicas de su población. Sin embargo, el sector agrícola es el mayor consumidor de agua en el país, no solo por el crecimiento de sus actividades, sino porque la mayoría de los agricultores no cuentan con sistemas de riego eficientes y controlados para reducir el consumo desmesurado del agua [4]. Por ejemplo, alrededor del 43% de las extracciones de agua dulce que se realizan en el país son para uso agrícola. A pesar de eso, existe escasez de agua en ciertas zonas y épocas del año, especialmente en la región de Arco Seco [3]. Esto podría

dar paso a nuevas crisis en otros sectores como lo son la alimentación, saneamiento y salud.

Es un recurso limitado, el uso eficiente del agua en sistemas de riego en cultivos, debe ser el principal objetivo para reducir el consumo de los recursos hídricos a nivel mundial. Por ello, el desarrollo de soluciones tecnológicas para controlar el consumo de agua en sistemas de riego resulta conveniente [4],[5]. Por otra parte, con estas herramientas los cultivos obtienen mayor rendimiento y mejor calidad de sus productos finales, ya que obtienen la cantidad ideal de agua [6]. El riego aplicado en el momento adecuado y la cantidad realmente necesaria son factores indispensables para obtener un cultivo con un buen rendimiento. El exceso de agua arrastra los nutrientes del suelo hasta una profundidad fuera del alcance de las raíces y a su vez desplaza el aire existente en el suelo el cual provoca que estas carezcan de oxígeno [7].

Un sistema de riego controlado permite saber, mediante la medición de la humedad en el suelo, cuándo y qué tanto regar, asegurando que se cumplan las necesidades hídricas de las plantas según los requerimientos del tipo de suelo utilizado y del cultivo. Esto ha llevado a gran parte de la comunidad científica a desarrollar soluciones tecnológicas que ayuden a reducir el consumo de agua en el sector agropecuario. Por ejemplo, en [8] presentan un sistema de riego inteligente de bajo costo que controla la cantidad y dirección del flujo de agua, utilizando información de una red de sensores de humedad de suelo. El trabajo presentado en [9] propone un sistema para monitorear continuamente el nivel de humedad del suelo, para decidir el tiempo y cantidad de agua necesaria en el cultivo. Se realizaron pruebas con diferentes tipos de suelo y diferentes niveles de sequedad, donde observaron que los suelos arenosos requieren menos agua que los suelos arcillosos y estos requieren la mayor cantidad de agua para el riego. Los autores en [10] desarrollaron un sistema que controla la cantidad de agua y realiza el proceso de forma automática, utilizando un arreglo de sensores y servicio de nube en Internet mediante módulos GSM/GPRS. Los resultados obtenidos demuestran que el sistema logra controlar de manera eficaz el consumo de agua.

En países de Latinoamérica, se han realizado estudios para resolver la problemática de escasez de agua, mejorando el consumo y reduciendo el desperdicio. Por ejemplo, en Argentina, se ha realizado un estudio en donde se implementaron Redes Inalámbricas de Sensores (RIS) para monitorear en tiempo real la humedad del suelo, y así aplicar mecanismos para la administración del agua. Los datos obtenidos pueden ser analizados y utilizados en el manejo de agua en los cultivos [11]. Además, en este país se han desarrollado otros sistemas de riego automatizado con sensores capacitados para controlar el uso del agua, logrando un ahorro en el consumo y una mejora en la calidad en los productos finales [4]. En un estudio similar en Perú, se diseñó un sistema automatizado de riego para césped de jardín, utilizando sensores de humedad por medio de la tecnología de Reflectometría de Dominios de Frecuencia (FDR). Este puede

ser implementado para varias condiciones climáticas, de cualquier tipo de suelo y cultivo, con el objetivo de indicar en qué momento iniciar y terminar el riego [12]. En Panamá se han propuesto algoritmos de control para resolver los problemas del consumo de agua, tomando en cuenta las características de las plantas y el ambiente que las rodea. Este proyecto compara el sistema propuesto con sistemas de riego de suministro fijo de agua, en donde se proporcionó una solución óptima para reducir el consumo de agua [13], [14].

Debido a las ventajas del control en los sistemas de riego, este trabajo propone un método inteligente para el control de la humedad del suelo en invernaderos. El objetivo de este sistema es disminuir el uso de agua al administrar la cantidad y las veces necesarias para cumplir con las necesidades hídricas de las plantas, manteniendo la humedad del suelo dentro del rango adecuado para evitar enfermedades en el cultivo. Para el funcionamiento del sistema, se utiliza un controlador proporcional, integral y derivativo (PID), que es uno de los controladores más empleados y versátiles del mercado. La mayor ventaja del sistema propuesto es el control de tiempo de respuesta, porque el controlador PID permite disminuir y lograr que el sistema responda más rápido. De igual manera, nos permite aumentar la precisión de la respuesta, mediante la configuración de los parámetros de control y a la vez hacer las correcciones del funcionamiento [15].

El artículo está organizado de la siguiente manera: La sección 2 describe el diseño y la metodología utilizada en el desarrollo del sistema propuesto. La sección 3 presenta los resultados preliminares obtenidos. La sección 4 presenta la discusión y conclusiones de los resultados de la investigación.

## 2. Diseño y Metodología

El análisis de este proyecto está centrado en una investigación aplicada, con el objetivo de presentar una posible solución a un problema existente en el sector agrícola, desarrollando un algoritmo y detallando los componentes necesarios para la construcción e implementación de este sistema.

Para el inicio de este proyecto se utilizaron las mediciones tomadas por el sistema de monitoreo de humedad de suelo del proyecto de investigación SENACYT APY-NI-2018-09. Estos datos fueron recopilados en el programa Excel para ser utilizados para el Programa de Diseño y Simulaciones de Sistemas LabVIEW de National Instruments.

En este artículo se presentará la formulación del problema, el modelo conceptual del sistema, que incluye un diagrama de flujo que indica el funcionamiento, la simulación y los resultados.

### 2.1 Formulación del problema

La humedad de suelo es una de las variables más importantes en el desarrollo de los cultivos en los invernaderos, por lo tanto, es necesario un mecanismo de control en sistemas de riego para mantener el nivel adecuado de humedad.

En los últimos años, los agricultores se han preocupado por disminuir el consumo de agua en sus cultivos, mano de obra, recursos económicos, uso de plaguicidas; los cuales son productos de métodos tradicionales de riego. Por esta razón, se ha propuesto en este trabajo un sistema automatizado basado en controlador PID que controle el riego según las propiedades del cultivo y los requerimientos del productor.

### 2.2 Modelo conceptual

Esta sección se presenta el sistema de control de humedad de suelo propuesto. Además, discute sus componentes y el funcionamiento.

El diseño del sistema automatizado de riego consta de sensores de humedad de suelo para medir la variable en todo el terreno de producción. Estos sensores están conectados mediante una red de comunicación inalámbrica con un controlador central PID, que se encarga de enviar acciones a los actuadores del sistema para obtener la humedad adecuada. Este controlador cuenta con tres acciones: parámetro proporcional, que es el que intenta minimizar el error del sistema y aplica una acción dependiendo que tan lejos esté el valor medido al valor de referencia; el parámetro integral, que almacena los errores pasados con el fin de reducir el error en régimen permanente y el parámetro derivativo que es el encargado de la velocidad de respuesta del sistema [16]. En la figura 1, se muestra el Modelo Conceptual del Sistema propuesto.

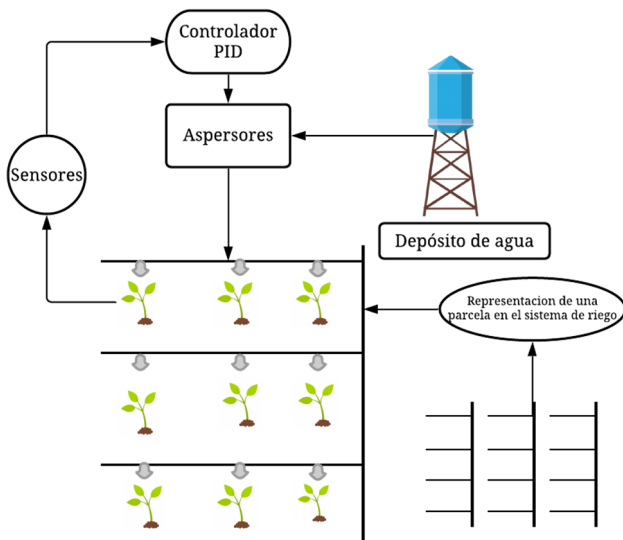


Figura 1. Modelo conceptual del sistema de control de riego.

En la figura 2, se muestra un Diagrama de Flujo que presenta el funcionamiento del sistema. Después de seleccionar el valor de referencia (humedad adecuada), es comparado con los valores medidos por los sensores. La diferencia entre el valor de referencia y el estado actual del sistema genera una señal de error que es enviada a la entrada del controlador PID, que es el encargado de mantener la

variable dentro del rango deseado. Luego, el controlador verifica si el valor obtenido es menor o mayor que el valor de referencia para así tomar las decisiones correspondientes en el actuador. Esta acción consiste en encender y/o apagar los aspersores del sistema de riego en el invernadero.

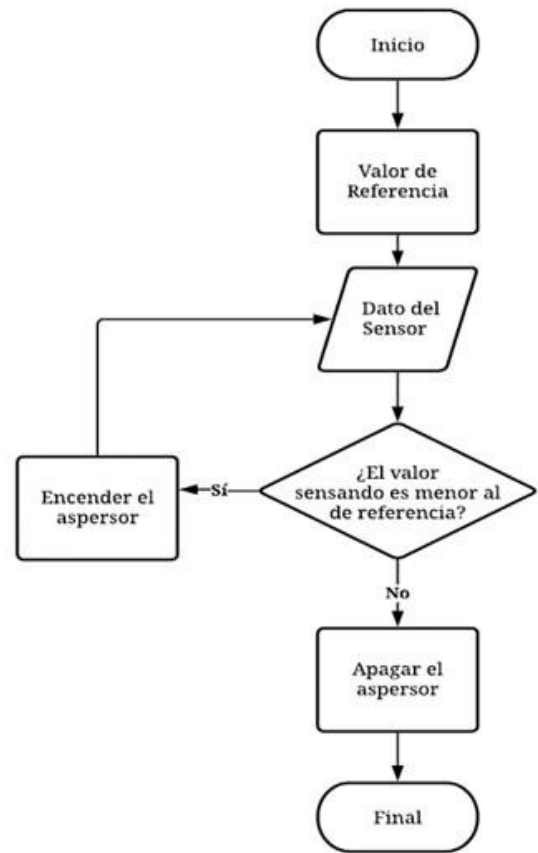


Figura 2. Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de control de humedad.

### 2.3 Materiales

Para desarrollar este proyecto de manera tangible se necesitan ciertos elementos indispensables, los cuales detallaremos en la siguiente tabla.

Tabla 1. Materiales y costo aproximado de implementación

Material	Costo aproximado
Controlador PID	B/. 64.99
Sensor de humedad de suelo	B/. 245.00
Micro aspersor	B/. 21.00
Tuberías de PVC	B/. 5.99
Rollo de manguera PVC	B/. 26.50
<b>Total</b>	<b>B/. 363.48</b>



Los precios especificados en la tabla son unitarios y las cantidades dependerán del diseño del invernadero en el que se vaya a aplicar este sistema de control. Es importante mencionar que el costo de los sensores puede variar según el nivel de efectividad que se desee y los requerimientos del productor. Para este proyecto, se consideran sensores de humedad de suelo con una alta exactitud de medición y mayor rango de alcance.

### 3. Simulación y resultados

En la simulación de nuestro proyecto utilizamos el programa LabVIEW de National Instruments, el cual es un Software de Ingeniería para el desarrollo de sistemas que requieren pruebas, medidas y control. Este software consiste en una interfaz de programación gráfica y es utilizado para simulaciones en tiempo real. Este programa nos permite utilizar instrumentos virtuales (VI's) para imitar equipos y componentes reales [17].

Dentro de la simulación se utilizaron tres estructuras de programación: ciclo while, ciclo for y una estructura de casos, cada una de ellas con funciones diferentes dentro del sistema. Con la ayuda del VI Read Delimited Spreadsheet, se extrajo una lista de datos que corresponden a los valores medidos de los sensores del sistema de monitoreo, los cuales fueron organizados matricialmente para que puedan ser interpretados por LabVIEW. Estos datos representan la variable de proceso que será continuamente comparada con el punto de referencia (setpoint). Como mencionamos anteriormente, esta comparación resulta en una señal de error que entrará al controlador PID y le indicará cual es el error que existe entre el valor deseado y el valor tomado por el sensor. LabVIEW nos ofrece un VI de controlador PID, el cual nos permite ingresarle los valores de ganancia proporcional, así como el tiempo integral, derivativo y observar el comportamiento del sistema controlado. Se experimentó con diferentes valores de ganancia proporcional y observando el comportamiento del sistema para los cultivos seleccionados, se determinó un valor de ganancia y el sistema presenta una mejor respuesta. De igual manera, se experimentó con el tiempo integral y el tiempo derivativo, observando que el sistema no presente irregularidades. En esta parte, se experimentó con el tiempo integral y se observó una mejora con un tiempo de 0.010 min (0.6 s). Para el tiempo derivativo, se realizó el mismo proceso en donde el tiempo de 0.005 min (0.3 s) es el tiempo máximo para el cual el sistema se comporta adecuadamente. Finalmente, se determinó que para una ganancia de 25 el sistema tenía una mejor respuesta, por lo que se decidió asignar este valor.

Con la finalidad de tener la mayor información del sistema que se está controlando, se optó por determinar la diferencia de humedad necesaria para llegar al valor de referencia. Se hizo uso de una estructura de caso, de manera que para humedades donde se necesite riego y se pueda saber el porcentaje de humedad faltante. En figura 3, se puede observar cómo queda

estructurado el sistema de control de riego en la pantalla de simulación de LabVIEW.

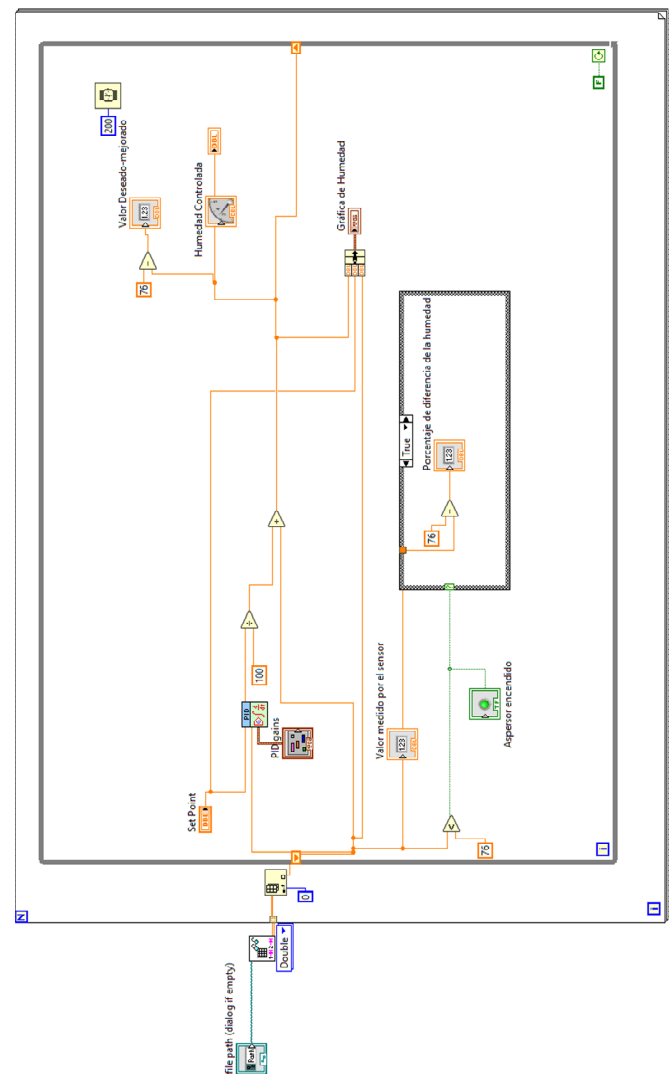


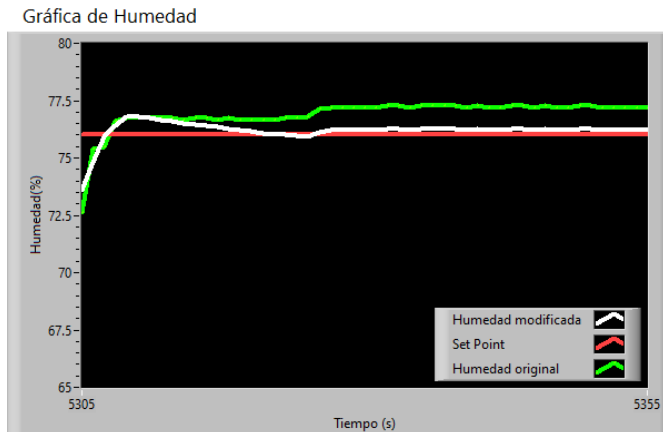
Figura 3. Simulación del sistema de control en LabVIEW.

Los datos de humedad de suelo fueron sensados por dos semanas cada media hora, de los cuales solo se estudió una fracción de datos que representaban mayores variaciones. Sin embargo, para observar el funcionamiento, se utilizó un tiempo de repetición del ciclo de un segundo, el cual hace el papel de tiempo de muestreo.

Para observar el funcionamiento del sistema se seleccionaron dos cultivos comunes en Panamá: el ñame y la lechuga. Según la información consultada, el cultivo de ñame necesita que la humedad del suelo oscile entre 76% y 83% para un buen desarrollo [18]. Por ello, en la simulación se tomó un punto de referencia (setpoint) de 76% de humedad de suelo.

Después de realizar la simulación, LabVIEW nos permite observar el cambio en las mediciones de humedad, tomando en

cuenta que la humedad adecuada para el desarrollo de un cultivo de ñame es del 76%. En figura 4, se puede visualizar la diferencia entre el valor medido por el sistema de monitoreo y el mejorado gracias al sistema de control de humedad en el suelo propuesto, en donde la línea de color rojo representa el valor de referencia, la verde es la humedad medida por el sensor y la blanca representa la humedad modificada.



**Figura 4.** Gráfica del comportamiento de la humedad del suelo para el ñame.

Analizada la gráfica, podemos notar que el controlador ha mejorado la humedad medida por el sistema de monitoreo y que el valor controlado converge al valor de referencia de humedad de suelo a medida que transcurre el tiempo.

LabVIEW, mediante indicadores, nos muestra el valor de humedad controlado para cada valor medido por el sistema de monitoreo. De esta manera, podemos calcular que tan lejos están ambos valores con el de referencia y así comprobar lo observado en la gráfica.

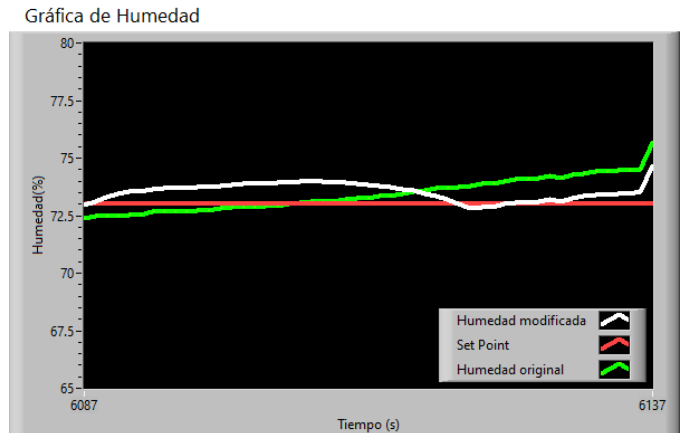
En las siguientes operaciones, podemos observar la diferencia entre la humedad medida ( $H_m$ ) y el valor de referencia ( $H_r$ ) (ver ecuación 1) y la diferencia entre el valor de humedad controlado ( $H_c$ ) y el de referencia ( $H_r$ ) (ver ecuación 2).

$$H_m - H_r = 77.07\% - 76.00\% = 1.07\% \quad (1)$$

$$H_c - H_r = 76.07\% - 76.00\% = 0.07\% \quad (2)$$

Si se comparan los resultados obtenidos de nuestro sistema de control con los del sistema de monitoreo, podemos observar que existe una menor diferencia entre el valor controlado y el valor de referencia, tal como se observa en los resultados de la figura 4.

Según estudios realizados, el cultivo de lechuga necesita una humedad en el suelo que oscile entre 60% y 80% para que tenga un buen desarrollo [19]. Por ello, se utilizó un punto de referencia de 73% de humedad de suelo para la simulación. En la siguiente figura, se puede prestar atención al comportamiento de la humedad de suelo utilizando LabVIEW.



**Figura 5.** Gráfica de comportamiento de la humedad del suelo para la lechuga.

En esta figura la línea roja representa el valor de referencia, la verde la humedad medida por el sistema de monitoreo y la blanca la humedad controlada por el sistema propuesto. Observando la gráfica para el cultivo de lechuga, se puede notar que la humedad controlada está más cerca del valor de referencia (setpoint) que la humedad medida por el sensor.

Mediante los indicadores de LabVIEW, podemos obtener el valor de humedad controlada correspondiente a cada valor de humedad medida, los cuales nos permiten en las siguientes operaciones (3) y (4) comprobar lo observado en la gráfica.

$$H_m - H_r = 74.13\% - 73.00\% = 1.13\% \quad (3)$$

$$H_c - H_r = 73.13\% - 73.00\% = 0.13\% \quad (4)$$

Podemos, prestar atención nuevamente que existe una menor diferencia entre el valor controlado y el valor de referencia, tal como se observa en los resultados de la figura 5.

La figura 6, muestra la herramienta final que se le brinda al productor, donde se puede observar el comportamiento del sistema de control en tiempo real y recibir alarmas. Cuenta con LED indicadores que permiten verificar si el sistema de riego por aspersores está encendido o apagado. De igualmente, el indicador numéricos permite visualizar en tiempo real los valores medidos, controlados y deseados, así como el porcentaje de diferencia entre ellos. Este sistema cuenta con interfaz para ajustar los parámetros del controlador PID: los valores de ganancia proporcional, tiempo integral y derivativo.

Al ser un sistema programable, el productor tiene la libertad de personalizar la herramienta según los requerimientos de su sistema de producción. Esto permite que el sistema de control sea adaptable a todo tipo de productor: pequeño, mediano y grande.

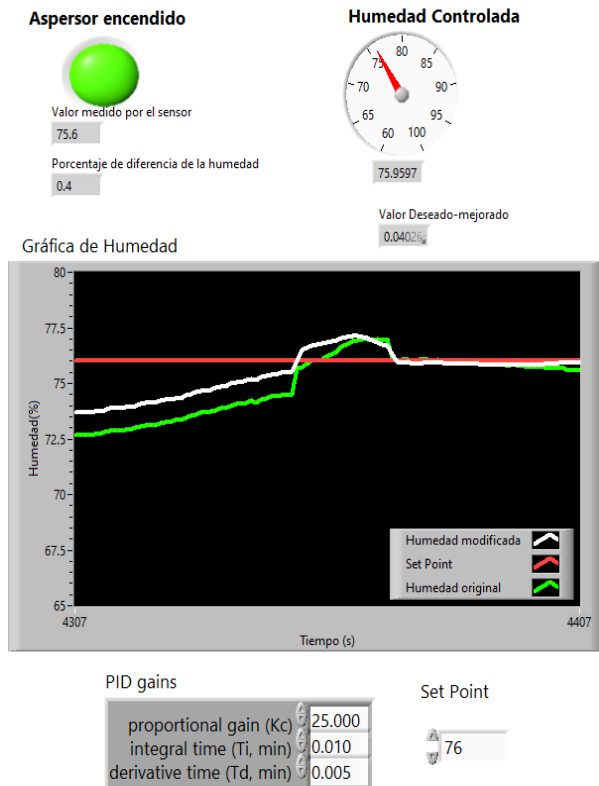


Figura 6. Diseño de interfaz de control de riego en LabVIEW.

#### 4. Discusión y conclusiones

El uso de sistemas de control de riego nos permite mejorar el desarrollo de los cultivos al utilizar opativamente la cantidad de agua necesaria para la planta, mientras se reduce su consumo. Esto se logra al determinar el momento oportuno para aplicar el riego gracias al conocimiento de la humedad del suelo y la humedad que necesita el cultivo.

El Sistema de Control propuesto en este trabajo utiliza controladores PID, los cuales son utilizados comúnmente en este tipo de proyecto, debido a su versatilidad en sistemas de control y su facilidad para ajustar los valores de ganancia adecuados para llegar a una respuesta deseada en el sistema, mediante sus parámetros de control. Una gran ventaja de este sistema es que puede ser utilizado para cualquier tipo de cultivo, garantizando en todo momento el nivel adecuado de humedad de suelo. Los resultados obtenidos demuestran que el controlador ha mejorado el consumo de agua en el sistema de riego, alcanzando una diferencia mínima entre el valor modificado y el valor óptimo de humedad deseado. Así, se observa que el valor controlado de humedad converge al valor deseado a medida que pasa el tiempo, lo cual garantiza un valor óptimo constante una vez se obtenga el nivel de humedad requerido. Para llegar al comportamiento esperado, es importante colocar los valores de ganancia y de tiempos adecuados, de lo contrario el sistema puede presentar cambios irregulares.

En trabajos futuros se puede estudiar el modelo matemático de este sistema de manera que se pueda evaluar los parámetros del controlador PID y lograr que su comportamiento sea óptimo. Se espera que en estas investigaciones se pueda determinar la cantidad de agua exacta que requiere el cultivo para tener una humedad adecuada.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Dr. Edwin Collado, por facilitarnos los datos de las mediciones de humedad en el suelo, los cuales fueron imprescindibles para el desarrollo de nuestro trabajo de investigación. Estos datos fueron obtenidos en su proyecto de investigación APY-NI-2018-09, financiado por SENACYT. El Dr. Collado, agradece al Sistema Nacional de Investigación (SNI) y a la SENACYT por brindar el apoyo requerido en la realización de sus investigaciones.

#### REFERENCIAS

- [1] J. Díaz. "El Agua en Cuba: un desafío a la sostenibilidad", Ingeniería Hidráulica y Ambiental, vol. 39 No.2. Mayo-agosto 2018.
- [2] O. Rey Santos. "El Agua en tiempos de crisis" Revista de Estudios Estratégico, No.1, enero-junio 2014.
- [3] C. Garcimartín, J. Astudillo, O. Garzonio. "El Agua en la Economía de Panamá". Banco Interamericano de Desarrollo, Abr. 2020.
- [4] C. Schugurensky, F. Capraro. "Control Automático de Riego Agrícola con Sensores Capacitivos de Humedad de Suelo. Aplicaciones en Vid y Olivo". Instituto de Automática, Universidad San Juan, Argentina. Dic. 2013.
- [5] E. Collado, A. Fossatti, and Y. Saez. "Smart farming: A potential solution towards a modern and sustainable agriculture in Panama." AIMS Agriculture and Food 4.2, pp 266-284, 2018.
- [6] H. Avilés. "El Valor del Agua en la Agricultura", La Granja, 2006
- [7] J. Bareiro "El Agua y las Plantas", ABC Rural, 2005. [Online] Available: <https://www.abc.com.py/edicion-impresa/suplementos/abc-rural/el-agua-y-las-plantas-811751.html>
- [8] Sahu, C. Kumar and P. Behera. "A low-cost smart irrigation control system." 2015 2nd International conference on electronics and communication systems (ICECS). IEEE, 2015.
- [9] Agbetuyi, Ayoade F., et al. "Design and implementation of an automatic irrigation system based on monitoring soil moisture." Journal of Electrical Engineering, 2017.
- [10] Avşar, Ercan, et al. "Development of a cloud-based automatic irrigation system: A case study on strawberry cultivation." 2018 7th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCASST). IEEE, 2018.
- [11] M. Flores, F. Flores, V. Velasco, G. González. "Monitoreo de humedad en suelo a través de red inalámbrica de sensores". Tecnología y Ciencias del Agua. Vol.6 No. 5, Jutepec. Sept-oct 2015.
- [12] Z. Varas "Diseño de un sistema electrónico para riego de césped de jardín empleando un sensor de humedad de suelo y comunicación inalámbrica". Tesis de Grado. Universidad Católica del Perú. Lima. Abr. 2013.
- [13] E. Collado, Y. Sáez. "Sistema de riego inteligente para optimizar el consume de agua en cultivos en Panamá". 15<sup>th</sup> LACCEI

- International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology. Jul. 2017.
- [14] E. Collado, Y, Sáez. "Optimization of Irrigation Time Programming to Reduce Water Consumption in Crops". 17th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology. Jul. 2019.
- [15] A. Rubio "Ventajas de los reguladores PID". Instrumentación Digital. [Online] Available: <https://www.instrumentaciondigital.es/4-ventajas-de-los-reguladores-pid/>. 2019
- [16] C. Pardo "Controlador PID". Available: <https://www.picuinio.com/es/arduprog/control-pid.html>
- [17] National Instruments. LabVIEW. Available: <https://www.ni.com/es-cr/shop/labview.html>
- [18] M. Ávila "Manejo Integrado del Cultivo del Ñame Espino". Cultivo de Ñame en Colombia. Dic. 2013.
- [19] R. González, C. Duarte, L. Montero. "Influencia de diferentes niveles de humedad del suelo en el cultivo de la lechuga en condiciones de organopónico en La Habana". Ingeniería Agrícola. Vol. 2, No. 2, pp 51-55. Jul-dic 2012.

# Evaluación del rendimiento térmico y estrategias bioclimáticas de un edificio Universitario en clima tropical húmedo

## Assessment of thermal performance and bioclimatic strategies of a University building under humid-tropical climate

Milvia Castillo<sup>1</sup>, Keivan Carrizo<sup>1</sup>, Ángela de Mendes Da Silva<sup>2</sup>, Dafni Mora<sup>1</sup>, Miguel Chen Austin<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Panamá, <sup>2</sup>Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Interamericana de Panamá

**Resumen** La característica principal de los climas tropicales es la alta humedad y altas temperaturas, lo cual hace necesario evaluar las alternativas para mejorar el rendimiento térmico y eficiencia energética, usando estrategias bioclimáticas pasivas en las edificaciones. Por esta razón, el trabajo de investigación busca evaluar las estrategias bioclimáticas de un edificio existente en el Campus Víctor Levi Sasso de la Universidad Tecnológica de Panamá y proponer recomendaciones. Se utilizaron herramientas como la carta solar y la rosa de los vientos, que permiten determinar la incidencia solar en las diferentes fachadas del edificio y el comportamiento de los vientos para aprovechar al máximo la ventilación natural. Los resultados llevaron a proponer un nuevo edificio (denominado EO), en donde las estrategias bioclimáticas aplicadas fueron la orientación (orientado alargado en el eje Este-Oeste) y el sombreado como la aplicación de vidrio de doble acristalamiento con baja emisividad, aleros y cortinas para el edificio EO. Por último, se realizó la comparación de ambos edificios por medio de su rendimiento térmico, en términos de las temperaturas de aire y superficies interiores y exteriores de los edificios, así como la humedad relativa, el porcentaje predicho de insatisfechos (PPD) y el valor medio previsto (VMP) de Fanger.

**Palabras clave** Bioclimática, clima tropical, eficiencia energética, rendimiento térmico.

**Abstract** The main characteristic of tropical climates is high humidity and high temperatures, making it necessary to evaluate alternatives to improve thermal performance and increase energy efficiency, using passive bioclimatic strategies in buildings. Thus, this research seeks to evaluate the bioclimatic strategies of an existing building on the Victor Levi Sasso Campus of the Universidad Tecnológica de Panamá and propose recommendations. Tools such as the solar chart and compass rose were used, which allow determining the solar incidence on the different facades of the building and the behavior of the winds to fully promote natural ventilation. The results led to the proposal of a new building (called EO), where the applied bioclimatic strategies were orientation (oriented elongated on the east-west axis) and shading such as the application of double-glazed with low emissivity windows, eaves, and curtains for the EO building. Finally, a comparison was made of both buildings through their thermal performance, in terms of air temperatures and indoor and outdoor surfaces of the buildings, as well as relative humidity, the predicted percentage of dissatisfied (PPD) and the value Fanger's predicted medium (VMP).

**Keywords** Bioclimatic, tropical climate, energy efficiency, building thermal performance.

\* Corresponding author: miguel.chen@utp.ac.pa.

## 1. Introducción

Panamá considera en sus políticas energéticas y en su Plan Energético Nacional 2015-2050, leyes de uso racional y eficiente de la energía. Así como, programas de educación en los cuales se procura construir con diseños de mayor eficiencia energética (materiales menos contaminantes y térmicamente adecuados) o modificar las edificaciones existentes en pro de la eficiencia, brindar a la población recomendaciones de uso apropiado de electrodomésticos, equipos de

condicionamiento de aire y refrigeración y crear conciencia del impacto del mal uso de estos en la producción nacional de energía, mantenimiento, vida de los equipos y en la situación económica individual.

Con lo que respecta al consumo de electricidad en Panamá, las estadísticas demuestran que casi el 60% se concentra en proporcionar confort a comercios, oficinas públicas y privadas. El desarrollo vertical de la ciudad con edificios entre los más altos de América Latina, contiene diseños sostenidos solo por el uso intensivo de la electricidad, especialmente de aire



acondicionado y refrigeración. Ambientes cerrados con poco uso de la iluminación natural y el uso masivo de vidrio para exteriores son los criterios favorecidos por los arquitectos e ingenieros [1].

La creciente preocupación expresada por los diseñadores de edificios en Panamá, debido a las nuevas regulaciones de energía de construcción (Reglamento de Edificios Sostenibles: aprobado el 26 de junio de 2019) con respecto a los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) y la eficiencia energética, está llevando a los arquitectos a volver a analizar sus estrategias de diseño.

### 1.1 Arquitectura bioclimática en Panamá

Por la arquitectura bioclimática se restablece la relación hombre-clima. En la concepción de una arquitectura bioclimática, el clima es el elemento más crítico, debido a que en la mayoría de los casos no ofrece las condiciones que permitan habitar de manera confortable durante todo el año. Es necesario corregirlo con la capacidad del edificio para procurar, ante que todo, el bienestar del ocupante, más allá de los ahorros energéticos y protección al medio ambiente. Sin embargo, la humanidad toma cada vez más conciencia con respecto al elevado precio de la energía y a los daños ambientales, por lo que los países están adoptando medidas bioclimáticas en edificaciones y urbanizaciones enteras [2],[3].

Antes de la segunda mitad del siglo XX, el uso de los aparatos de acondicionamiento de aire era un lujo para pocos en Panamá, por esa razón, es imperativo que el diseño de los edificios se acople al clima local. La primera arquitectura bioclimática como tal, fue surgiendo a partir de las barracas de los trabajadores del Canal de Panamá -tanto en la administración francesa (1881-1888) como norteamericana (1904-1914); con techos de grandes aguas, aberturas para ventilación cruzada y aventajados aleros, además de elevar el edificio por lo menos 1 metro del suelo natural para evitar la humedad [4].

A partir de los años 40 ocurre una explosión de la arquitectura del movimiento modernista o estilo internacional, aunado a los materiales como hormigón, vidrio, y acero. Este movimiento refleja en varios edificios las premisas del diseño bioclimático basado en la planta libre, el uso de pilotes, ausencia de ornamento y color, en las fachadas (con preminencia al blanco o colores claros), orientación con relación al Sol y a los vientos predominantes. Adicionalmente, la composición plástica vendría apoyada por el uso de volúmenes alargados y de balcones para cruzar el viento en su interior, así como quiebra soles que funcionarían como formas compositivas estéticas, y técnicamente, bloqueando la radiación solar directa. Ejemplo de las obras icónicas que promulgan este movimiento son: La ciudad universitaria Octavio Méndez Pereira, composición original (Bermúdez, De Roux, Méndez Guardia - 1948), El Hotel El Panamá (Stone,

Méndez & Sander -1951), y El Hotel Continental (Schay y Holzer – 1962).

### 1.2 Arquitectura bioclimática en clima tropical

Al adaptar el diseño de edificios a su propio clima se tiene como resultado la creación de condiciones de confort físico y psicológico, que es el alcance fundamental de la arquitectura bioclimática. Los edificios son los responsables de la elevada proporción del consumo mundial de la energía. El sector de la edificación aporta un 30% del consumo energía primaria en los países industrializados, de ahí la importancia de esta temática. Por lo tanto, con la evaluación de la arquitectura desde la perspectiva bioclimática, se permite identificar oportunidades de eficiencia energética sostenible, así como evaluar soluciones para satisfacer la demanda con el menor consumo posible, lo que conlleva a un mayor ahorro energético dentro de la edificación. Por otra parte, diferentes estudios respaldan la capacidad de ahorro de energía hasta un 70% en las soluciones arquitectónicas, desde una lógica de adaptación y adecuación al clima. Por ejemplo, una casa bien aislada pierde la mitad de calor, y si está bien orientada y con aberturas de superficies convenientes gana tres veces más energía que una casa convencional, con lo que, sumados ambos conceptos, es posible gastar seis veces menos energía. Para ello, es necesario que se utilicen con acierto las transferencias naturales de calor (hacia y desde el edificio), aprovechando los recursos que la naturaleza ofrece (luz, viento, vegetación, tierra, humedad, temperatura ambiental, entre otras), maximizando su eficiencia energética y eliminando o minimizando el uso de sistemas mecánicos de calefacción o climatización [5]-[6].

Preferiblemente la arquitectura bioclimática utiliza la energía pasiva, en sus diseños arquitectónicos. El sistema pasivo o sistema de climatización permite modificar la temperatura o humedad de un espacio, promoviendo o evitando la transferencia de calor o humedad hacia ese espacio, por medio de la orientación, forma geométrica, protecciones solares, techos ventilados, ventanas y ventilas, color exterior de techo, muros envolvente y otros, con el fin de conseguir el confort climático de los usuarios sin tener que recurrir a la energía eléctrica o el uso de equipos electromecánicos, en pos de la reducción de los consumos de energía y minimización de impactos negativos al medio ambiente. Todo ello tiende a mejorar la calidad del ambiente interior, y con ello la calidad de vida, pero según el clima, puede no ser suficiente para acondicionar adecuadamente un edificio en todas las estaciones del año. Por otra parte, el desempeño de los sistemas pasivos depende de la calidad y precisión del concepto arquitectónico. El costo es limitado y las molestias nulas [7][8][9].

### 1.3 Motivación y objetivo

Gran parte de las investigaciones recomiendan como estrategia para el diseño arquitectónico pasivo, la ventilación natural en climas tropicales húmedos. Para las características del clima tropical húmedo, se desarrolló en Perú [6], una guía para la aplicación de la arquitectura bioclimática en centros educativos. Entre las estrategias de diseño bioclimático hacen énfasis en la ventilación natural, la orientación y otras. Por otro lado, estos autores resaltan la importancia que las estrategias serán solo aplicables si la edificación no tiene grandes cargas térmicas interiores. En el diseño bioclimático, la orientación es un factor muy importante, puesto que esta no se podrá modificar una vez construida la vivienda. Diversos estudios demuestran que una vivienda bien orientada, supone ahorros energéticos de climatización e iluminación, además de estar relacionada con la cantidad de radiación y calor que pueda recibir una edificación. Para el clima tropical húmedo se recomienda la orientación Norte-Sur con disposición de ejes largos Este-Oeste, tal como lo indican los cuestionarios de Mahoney. Otro estudio en Nicaragua [10], resaltó la importancia de estrategias como ventilación natural, orientación Este-Oeste, y protección de aberturas a través del sombreado en ventanas. Este estudio incorpora, softwares para facilitar el diseño arquitectónico. Entre algunas de las estrategias bioclimáticas se obtuvieron a través de los cuestionarios de Mahoney, el consultor climático Givoni, y otros.

En el año 2020, un estudio propuso estrategias que se adapten al clima cálido-húmedo de Honduras, con la finalidad de reducir la climatización y por lo tanto, mejorar el rendimiento térmico. Resalta la importancia de tener una orientación correcta en la edificación para lograr reducir la demanda de enfriamiento. En esta investigación se demostró que la orientación con mayor demanda fue la orientación y poniente con una demanda de enfriamiento de 90 a 230kWh/m<sup>2</sup> respectivamente[11].

Así, este trabajo busca evaluar aquellas estrategias bioclimáticas que se adapten al clima tropical húmedo para edificaciones. Para ello, se evaluará el rendimiento térmico de un edificio Universitario, con el fin de proponer las posibles estrategias y recomendaciones para el diseño arquitectónico a través de diferentes herramientas y softwares.

## 2. Materiales y métodos

El caso de estudio se ubica en la provincia de Panamá, ciudad de Panamá, específicamente en el Campus Víctor Levi Sasso, vía Centenario, tal como se observa en la figura 1. Es importante destacar que el sitio donde se pretende diseñar la edificación entra en la clasificación de Köppen como clima tropical de sabana (Aw). La localización geográfica del sitio de estudio es 9°01'25.40"Norte y 79°32'0.92" Oeste, con una altitud de 68 m s.n.m.



**Figura 1:** Localización general del caso de estudio: Ciudad de Panamá (polígono celeste).

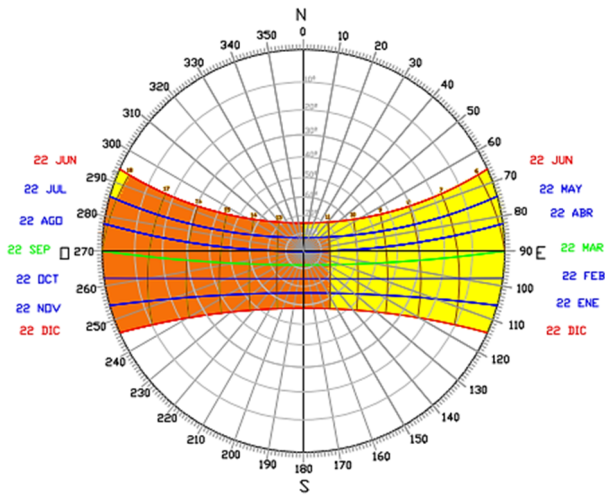
**Fuente:** "Google Earth." [Online]. Available: <https://www.google.es/earth/download/gep/agree.html>. [Accessed: 22-Jun-2020].

El caso de estudio del edificio Universitario existente posee la siguiente configuración y materiales: Planta baja (3m) y tres niveles (4m), los pisos son de baldosa de porcelanato de 0.4cm x 0.4cm ( $U=2.982 \text{ W/m}^2\text{-K}$ ), paredes exteriores e interiores (particiones) constan de bloques de concreto de 0.1m de espesor y repello liso, el cielo raso es suspendido de fibra mineral de 0.0508m x 0.0508m (2pulg x 2 pulg) en tes de aluminio a 2.7m de piso acabado ( $U=1.938 \text{ W/m}^2\text{-K}$ ), el techo es tipo emparedado de 1 ½ de espesor con poliuretano expandido, sobre estructural de metal ( $U=0.393 \text{ W/m}^2\text{-K}$ ). Los datos anteriores, fueron adaptados y tomados como referencia de los datos proporcionados por la Dirección General de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Tecnológica de Panamá. Otros detalles del edificio existente son: 40% de acristalamiento, con un horario de apertura de lunes a viernes (7:00 a 22:45) y los sábados (7:00 hasta las 18:00).

Para realizar la evaluación es importante un análisis climático, debido a que este influye en el confort higrotérmico en la edificación. Posterior a este análisis, se utilizan herramientas bioclimáticas como la carta solar y la rosa de los vientos para determinar la influencia de la incidencia solar, y magnitud y dirección de los vientos. Luego, se evalúa el diseño arquitectónico, proponiendo un edificio similar al existente para aplicar las estrategias de diseño bioclimático adaptado al clima tropical a través de las diferentes herramientas y softwares.

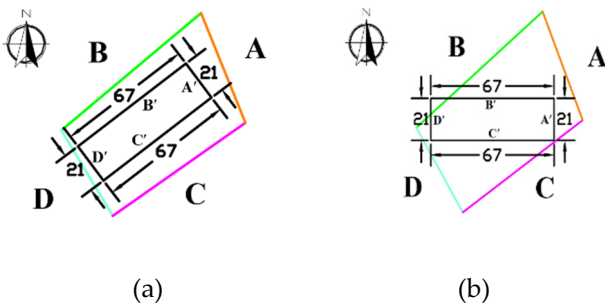
En el análisis climático se recopiló información de datos meteorológicos de temperatura, humedad relativa, precipitación y radiación solar. La indagación fue tabulada e ingresada en diferentes softwares y hojas de cálculo para su respectivo análisis y comparación.

Las herramientas bioclimáticas para el estudio determinan la incidencia solar y la ventilación, dos factores que influyen en la orientación del edificio. Las herramientas como la carta solar estereográfica (figura 2) y la rosa de los vientos serán de ayuda para este análisis, que tiene como objetivo mejorar el rendimiento térmico y por ende el microclima interior de la edificación.



**Figura 2:** Carta solar esteorográfica de Panamá con los indicadores de temperaturas: Meses de enero a junio.

La incidencia solar en las fachadas se analizó en las diferentes caras/fachadas del lote (si se construyese un edificio que atienda a la forma del terreno o lote), con las posibles fachadas A, B, C y D tal como se muestra en la figura 3 para la latitud del edificio Universitario para aula de clases (edificio 5). El edificio alargado en la dirección Este-Oeste (edificio propuesto) presenta los mismos materiales, la ocupación de personas y actividades. Se estudió así la influencia de este tipo de orientación sugerida en diversos estudios para el clima tropical.



**Figura 3:** Orientaciones y dimensiones del edificio 5: (a) Forma del edificio de referencia (azimut: A' (68°), B' (140°), C' (59°), D' (145°)) y (b) Orientación alargada Este-Oeste (azimut: A' (90°), B' (180°), C' (270°), D' (360°)).

Una vez se plantea el diseño arquitectónico, se procede a seleccionar las estrategias bioclimáticas a través de las recomendaciones de: Diagrama de Olgyay (recomendación de estrategia en exteriores), diagrama de Givoni a través del software climate consultant (muestra las estrategias pasivas y/o activas, el porcentaje de horas que se estará en confort durante el año y como aplicarlas), los cuestionarios de Mahoney, Los indicadores de forma y tratamiento de Serra y Coch (ambas dan

recomendaciones para la piel del edificio y configuración arquitectónica). Entre las estrategias al edificio EO se tiene vidrios dobles de baja emisividad, doble acristalamiento con baja emisividad, aleros y cortinas, igualmente la orientación Este-Oeste y ventilación natural.

Para determinar el rendimiento térmico de la edificación en funcionamiento pasivo (sin equipos de refrigeración) se tomó en cuenta las variables de temperatura de aire interior (TA), temperatura operativa (TO) y la temperatura radiante (TR) para los edificios RE y EO a lo largo del año. Además de la humedad relativa (HR), el porcentaje predicho de insatisfechos (PPD), y el valor medio previsto (VMP) de Fanger.

Según la ecuación de A. Auliciems en sus últimas investigaciones, las temperaturas de confort térmico para Panamá rondan entre los 23.5°C a 28.5°C. En cuanto a la humedad relativa, se considera aceptable entre 40 a 70% y agradable entre los 50 y 60%. Por otra parte, las normas ASRHAE 55 e ISO para el VMP (edificios nuevos) el límite térmico está entre los -0.5 a +0.5 y para edificios existentes según la ISO entre los -0.7 y +0.7; y para el PPD ningún espacio ocupado debe estar por encima del 20%.

### 3. Resultados y discusión

En esta sección, se muestran los resultados obtenidos del análisis de las estrategias bioclimáticas aplicadas y el análisis del rendimiento térmico del edificio.

#### 3.1 Análisis de las estrategias bioclimáticas resultantes

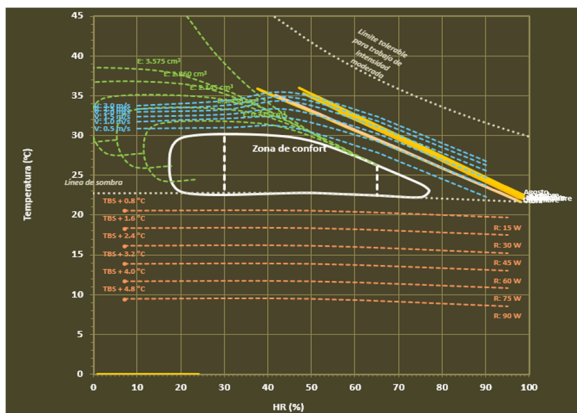
A continuación, se presenta algunas recomendaciones generales para seleccionar la forma más adecuada, por medio de las herramientas mostradas anteriormente: la carta solar y la rosa de los vientos (tabla 1) y de esta manera demostrar que el edificio será más eficiente según como se oriente.

Según el análisis y recomendaciones de la tabla 1, el edificio que posee la forma alargada Este-Oeste (EO) es la mejor forma, porque recibe la menor incidencia solar en sus fachadas y mayor proporción de vientos que el edificio de referencia (ER). Por lo tanto, el edificio EO, al tener mayor ventilación, proporcionará una sensación de frescor en los ocupantes y suministra aire fresco en el interior, hasta lograr disminuir o evitar el uso del A/A y en consecuencia reducir el consumo de energía del edificio; mientras que la incidencia solar en el edificio EO, al ser menor se podría reducir aún más, con la ayuda de sombreado por medio de aleros, cortinas, árboles o muros aislantes, entre otros.

En la figura 4, se muestra la carta de Olgyay. En ella se puede apreciar en color amarillo los diferentes meses del año, así como los requerimientos de ventilación natural y bloquear la radiación solar, es decir, la necesidad de sombreado para el clima tropical en Panamá durante todo el año.

**Tabla 1:** Recomendaciones generales de las formas propuestas según las herramientas (carta solar y la rosa de los vientos)

Edificio	Fachadas	Recomendaciones según herramienta			
		Carta Solar		Rosa de los vientos	
		Intensidad	Recomendación	Intensidad	Recomendación
Referencia	A'	Baja	Protección en ventanas en las horas de la mañana, sobre todo en verano.	Baja	No es necesario la colocación de ventanas, debido a la baja frecuencia de los vientos.
	B'	Alta	Protección (aleros, sombreadas) Muros aislados	Alta	Propiciar la ventilación natural y cruzada.
	C'	Media	Protección en ventanas en las horas de la mañana, sobre todo en verano.	Baja	Colocar ventanas para propiciar la ventilación natural cruzada de los vientos predominantes de la fachada B'.
	D'	Alta	Protección (aleros, sombreadas). Muros aislados	Baja	No es necesario la colocación de ventanas, debido a la baja frecuencia de los vientos.
Alargada Este-Oeste	A'	Media	Protección solar en ventanas sobre todo en horas de la mañana.	Baja	Colocar ventanas para propiciar la ventilación natural cruzada de los vientos provenientes de la fachada B'.
	B'	Baja	Ventanas sin necesidad de protección solar, ventanas operables para la iluminación natural. No necesidad de aislante térmico.	Alta	Propiciar la ventilación natural y cruzada.
	C'	Baja	Ventanas sin necesidad de protección solar, ventanas operables para la iluminación natural. No necesidad de aislante térmico.	Baja	Colocar ventanas para propiciar la ventilación natural cruzada de los vientos predominantes de la fachada B' y D'.
	D'	Alta	Protección solar en ventanas sobre todo en horas de la tarde. Muros aislados.	Media	Propiciar la ventilación natural y cruzada.



**Figura 4:** Carta de Olgyay.

**Fuente:** G. Gómez Azpeitia, "Bioclimarq 2016." Panamá, 2016.

Con los diferentes resultados (tabla 1 y figura 4) se puede ver que hacen énfasis en la estrategia de ventilación natural durante todo el año, por lo que es recomendable que los datos meteorológicos de los vientos (magnitud y orientación) sean precisos o cercanos al sitio de estudio para tener un análisis real del comportamiento de los vientos. Aun así, se sabe que los vientos no contribuirán en la disminución de la temperatura de bulbo seco, pero si proporcionarán una sensación de frescor, además de contribuir a la renovación de aire dentro de la edificación mediante la colocación de aberturas en lados opuestos para una circulación completa del aire.

Para lograr el mayor aprovechamiento de los vientos, tanto el software Climate Consultant, como los cuestionarios de Mahoney, y los indicadores de forma y tratamiento de la piel de Serra y Coch sugieren la configuración de la planta



extendida (espacial y volumétrica) para maximizar la ventilación cruzada. Otras estrategias que propone el software Climate Consultant son: colocar las ventanas en la dirección de los vientos dominantes y en lados opuestos, así como las puertas para maximizar la ventilación cruzada, y edificación elevada.

A diferencia de la tabla 1 y la carta de Olgyay, el cuestionario de Mahoney, los Indicadores de forma y tratamiento de la piel de Serra y Coch describen algunas consideraciones de diseño acerca de la piel del edificio según el clima, tales como: acabado liso en tonos claros para evitar la reflexión de la radiación solar. Utilizar cerramientos (muros, cubiertas y pisos) de baja capacidad calorífica, reflejantes y ligeras. Los Indicadores de forma y tratamiento de la piel de Serra y Coch describen que los cerramientos tengan el menor aislamiento posible. Sin embargo, sería conveniente realizar un estudio más a fondo para determinar si la utilización o no de aislante térmico en la edificación ayudaría a disminuir la temperatura interior, pues en algunas ocasiones su uso puede ser contraproducente.

### 3.2 Análisis del rendimiento térmico

La realización del análisis de cada una de las edificaciones se llevó a cabo por medio del simulador dinámico EnergyPlus junto con la interfaz DesignBuilder (figura 5).

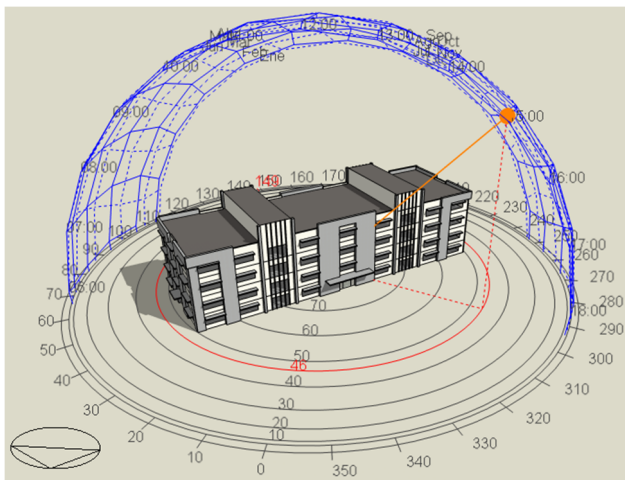


Figura 5: Edificio 5 del campus Levi Sasso con la posición del sol a las 3p.m del modelo.

Para determinar el rendimiento térmico de la edificación se tomó en cuenta las variables TA, TO y TR en los dos edificios RE y EO a lo largo del año, en funcionamiento en modo pasivo (sin uso del aire acondicionado). Los resultados se muestran en la figura 6. La temperatura de aire interior para el edificio EO fue inferior en comparación al edificio RE en todos los meses del año, de la misma manera la TR y TO fueron inferiores en el edificio EO.

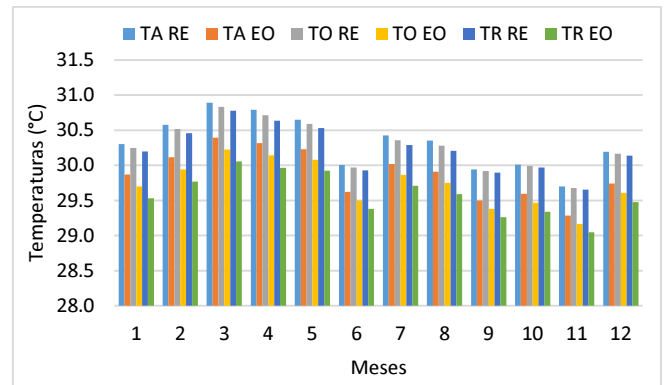


Figura 6: Temperaturas TA, TO y TR mensual promedio para el edificio 5 campus Universitario Levi Sasso.

Otras variables para determinar el rendimiento térmico se pueden observar en la figura 7. En la izquierda de la figura se muestra la (HR), y (PPD) y en la parte derecha el (VMP) de Fanger.

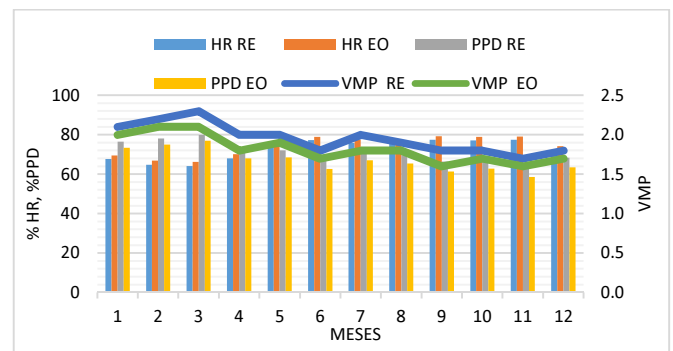


Figura 7: Humedad relativa, PPD y VMP de Fanger mensuales para los edificios RE y EO.

En la figura 8, se muestran los rangos de temperatura de los cerramientos y aberturas para el edificio RE. En donde se observa que el techo es el que posee la temperatura exterior más alta en un rango desde los 65°C a los 70°C a las 12 medio día, para el mes de marzo, mientras que el edificio EO el techo mostró temperatura entre los 37.5 a 40°C.

Según las temperaturas de confort térmico para Panamá (23.5°C a 28.5°C) [12], ninguno de los edificios tuvo temperaturas menores a este rango; sin embargo, se pudo observar en el edificio EO para el mes de junio una TA de 29.6°C y para los meses de septiembre y noviembre fue igual o menor a los 29.5°C (temperatura límite máxima según V. Olgyay) [13].

Por otra parte, en la figura 8 los valores de VMP para los dos edificios se mantuvieron entre los +1.5 a +2, que en escala de sensación térmica de "7" puntos significan que habría un calor ligero a bastante calor, por lo que ningún edificio cumple con los requisitos de la norma ASRHAE 55 y ISO (para edificios nuevos), en donde el límite térmico está entre los -0.5 a +0.5 y para edificios existentes según la ISO entre los -0.7 a



+0.7. De esta manera el %PPD tampoco cumple con las normas, debido a que establecen que ningún espacio ocupado debe estar por encima del 20%. Tanto el edificio RE como el EO no mostraron diferencias significativas para los valores de VMP, PPD y HR.

El análisis no sería completo sin analizar el comportamiento de los materiales constructivos, porque fue una variable que se mantuvo igual en los dos edificios, al igual

que la ocupación, y actividades. Tal como se observa en la figura 8, el cerramiento del techo fue el que presentó mayores ganancias térmicas, mientras que las ventanas que es por donde incide la mayor cantidad de ganancias solar, su carga térmica fue cercana a cero en todo el año, por lo que las estrategias de sombreado y orientación ayudaron a disminuir estas ganancias solares.

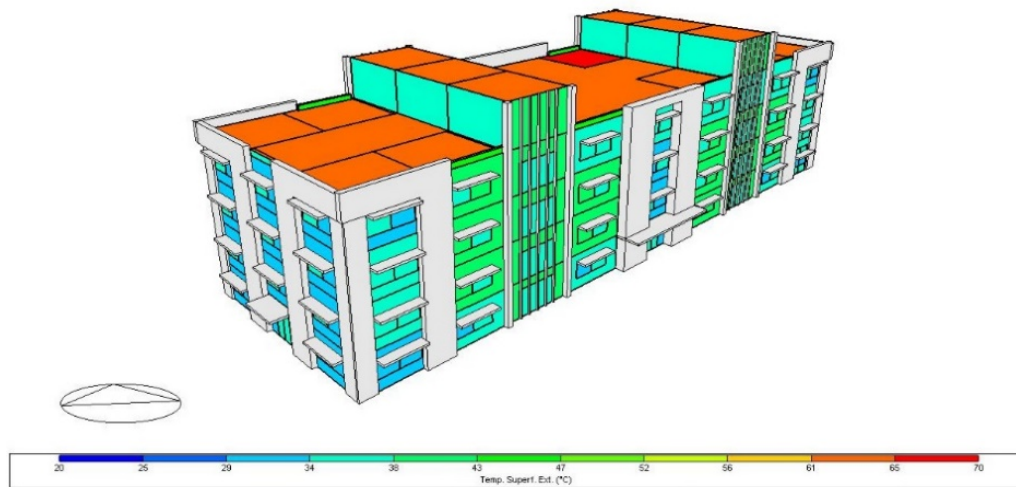


Figura 8: Temperatura exterior en fachadas a las 12 mediodía para el mes de marzo del edificio RE.

Al no ser estas estrategias suficientes para mejorar el rendimiento térmico en modo pasivo, otras variables serían para el caso del edificio propuesto EO: disminuir la transmitancia térmica (U) en los cerramientos, sobre todo en el techo donde este mostró altas temperaturas al medio día, con la posible aplicación de aislamiento y demás cerramientos. Otra estrategia sería añadir vegetación a los alrededores, ya que el piso de planta baja posee menor temperaturas con respecto a los demás pisos. Hay que considerar la vegetación en el techo para disminuir las ganancias internas.

En cuanto al consumo energético de las luces, hay una gran diferencia entre el edificio RE y EO, debido a que el tipo de luces era diferente, es decir, en el edificio se utilizaron luces fluorescentes de 32W, mientras que en los propuestos luces led de 18W. Es de esperarse que el consumo en estos edificios propuestos sea inferior.

#### 4. Conclusiones

Las estrategias planteadas y principalmente tomadas en cuenta para el edificio propuesto EO son la orientación y el sombreado en ventanas, por lo que al aplicarlas ayudaron a disminuir las ganancias solares e internas del edificio, y sus temperaturas. La ventilación natural fue tomada en cuenta, aunque esta edificación recibía mayor proporción de vientos en sus fachadas.

Desde el punto de vista de ambos edificios, hubo disminuciones en las variables; pero no fueron suficientes para que estuvieran en el rango de temperaturas y según las normas. Estas disminuciones de las variables contribuirán a reducir el uso de aire acondicionado.

Algunas limitaciones del estudio se relacionan con el acceso a data meteorológica precisa y actualizada, sobre todo en los datos de magnitud y dirección de los vientos, debido a que la ventilación natural es la principal estrategia pasiva que requiere el clima de Panamá durante todo el año.

Para futuros trabajos es importante tener en cuenta que no solo las variables de temperaturas y humedad, VMP, y PPD serán suficientes para determinar el rendimiento térmico de la edificación, sino las ganancias internas de ocupación, equipos, y luminarias; sobre todo en este tipo de edificación.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Panamá por su colaboración. Esta investigación fue financiada por la Institución Panameña Secretaria Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) <https://www.senacyt.gob.pa/>, bajo el proyecto con código FID18-056 y del Sistema Nacional de Investigación (SNI).

## REFERENCIAS

- [1] Secretaria nacional de energía, “Plan Energético Nacional 2015-2050,” no. 28003, pp. 6–348, 2016.
- [2] A. F. Freixanet, “Modelo de análisis climático y definición de estrategias de diseño bioclimático para diferentes regiones de la república mexicana,” p. 232, 2009.
- [3] J. Ugarte, “Guía Bioclimática construir con el Clima.,” pp. 1–17, 2010.
- [4] S. Gutiérrez, *Arquitectura de la época del canal, 1880- 1914*. Panamá, 1984.
- [5] L. Peña, *Diseño Bioclimático*, 2015th ed. Ciudad de Juárez, Chihuahua, México: General de Difusión Cultural y Divulgación Científica Coordinación, 2015.
- [6] D. Rayter, “Guía de aplicación de arquitectura bioclimática en locales educativos.” Lima, Perú, p. 111, 2008.
- [7] O. Barranco, “La arquitectura bioclimática,” *Módulo Arqut. CUC*, vol. 14 N°2 31-, pp. 17–18, 2015.
- [8] P. Bahena, “Diseño de viviendas térmicamente confortables con uso de sistemas pasivos de climatización en la zona de temixco: Guía para constructores,” Universidad Politécnica del Estado de Morelos, 2013.
- [9] F. M. Tabernero-Duque, “La arquitectura bioclimática y el cambio climático,” *ARI-economía y Comer. Int.*, pp. 1–8, 2010.
- [10] E. G. Castillo, E. Coronado, and O. Osejo, “Anteproyecto Arquitectónico de un complejo habitacional con énfasis en criterios de Diseño Bioclimático aplicados a edificios de unidades habitacionales en el sector de Villa Fontana Norte; Municipio de Managua, Nicaragua.,” Universidad Nacional de Ingeniería, 2014.
- [11] K. Duarte, “Estrategias para la vivienda multifamiliar en altura en el clima cálido húmedo,” Pontificia Universidad Católica de Chile, 2020.
- [12] JTIA, “Reglamento de edificación sostenible de Panamá,” no. 28820. Panamá, pp. 1–61, 2019.
- [13] V. Olgyay, *Arquitectura y Clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. 2006.

# Influencia de la temperatura en la soldadura de unión disímil mediante proceso de gas y tungsteno

## Influence of temperature on dissimilar joint welding by gas and tungsten process

Tomás Fernández Columbié<sup>1\*</sup>, Ledemis Suárez Torres, Isnel Rodríguez González<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Mecánica, Facultad de Metalurgia Electromecánica, Universidad de Moa. Cuba

**Resumen** En este artículo se hace una caracterización microestructural de las transformaciones que ocurren en una soldadura disímil, mediante el proceso de soldadura de gas y tungsteno, entre la aleación de tantalio B 521 y el acero inoxidable AISI 316. La costura se realizó a tope, en tuberías de 1,3 milímetros de espesor, con electrodo no consumible de tungsteno al 2 % de torio (WT20). Los parámetros del ciclo térmico considerados fueron la velocidad de soldadura, la energía lineal y entrante del proceso. En esta unión, por efecto de la transferencia de calor, se generó estructura del tipo columnas tosca, estructuras dendríticas, así como una estructura de una red de células hexagonales y ferrita- $\delta$ . En el barrido de dureza se determinó un incremento en la zona afectada por el calor de 200 HV en el primero (Tantalio) y de 285 HV para el segundo (acero inoxidable), con un valor de 525 HV en la zona fundida.

**Palabras clave** Disímil, microestructura, tantalio, torio, tungsteno.

**Abstract** This article makes a microstructural characterization of the transformations that occur in a dissimilar weld, by means of a gas and tungsten welding process, between the B 521 tantalum alloy and the AISI 316 stainless steel. The seam was made butt, in pipes 1.3 millimeters thick, with a non-consumable 2% thorium tungsten electrode (WT20). The parameters of the thermal cycle considered were the welding speed, the linear and incoming energy of the process. In this union, due to the effect of heat transfer, a coarse columnar type of structure, dendritic structures, as well as a structure of a network of hexagonal cells and  $\delta$ -ferrite were generated. In the hardness sweep, an increase of the same in the zone affected by the heat of 200 HV was determined in the first (Tantalum) and of 285 HV for the second (stainless steel), with a value of 525 HV in the molten zone.

**Keywords** Dissimilar, microstructure, tantalum, thorium, tungsten.

\* Corresponding author: tfernandez@ismm.edu.cu

### 1. Introducción

El artículo trata sobre la influencia que tiene el calor sobre la microestructura, en las diferentes zonas de una unión soldadura disimilar, entre dos materiales (tantalio B 521 y acero AISI 316), cuando se realiza mediante el proceso de gas y tungsteno.

El aporte de calor, en los procesos de soldadura, es una medida relativa de la energía transferida a las piezas para ser soldadas. Es necesario considerar la energía debido a que esta afecta la velocidad de enfriamiento y se modifica la estructura final, tanto en la zona de fusión (ZF) como en la zona afectada por el calor (ZAC) [1].

El proceso de soldadura GTAW [2], conocido como TIG, dentro de su utilización se destaca que es muy empleado para uniones de planchas delgadas. Este proceso puede realizarse de dos formas, la primera, utilizando material de aporte y la otra sin la utilización de este. Se reconoce que en la actualidad el

proceso GTAW más utilizado es el que emplea material de aporte; sin embargo, cuando el material que se desea soldar cumple con las propiedades mecánicas requeridas, resulta de gran utilidad aquella que no necesita material de aporte, debido a las ventajas económicas que se reporta.

En la soldadura de arco con gas y tungsteno (GTAW), se procede en general con depósitos sucesivos de metal fundido de volumen muy pequeño con solidificación casi instantánea. Como consecuencia, la estructura del metal fundido es más fina, alineada y acicular. Si la operación lleva varias pasadas, la influencia térmica de estas producirá un refinamiento de grano en las estructuras [2].

#### 1.1 Características de los materiales refractarios

Los metales refractarios [2], presentan altos puntos de fusión, densidad relativamente alta, así como la conductividad térmica. Están considerados en la categoría de difícil

soldadura, debido a que tienen una gran afinidad con el oxígeno, otros gases a temperaturas elevadas y que no pueden soldarse con cualquier proceso o donde el metal calentado se expone a la atmósfera. Deben poseer las menores cantidades de impurezas, que son las causantes que estos metales sean quebradizos.

El tantalio es un elemento refractario, que debe soldarse cuando el aire no se encuentre en contacto con el material soldado. Antes de proceder con la soldadura hay que realizar el proceso de limpieza en la superficie con reactivos químicos, luego se eliminan con agua todos los vestigios de productos químicos. Después que las partes se limpian, deben protegerse de la oxidación; para ello, se emplea una cámara de gas inerte o en una cámara de vacío [3] y [4].

Durante el proceso de soldadura del tantalio [5], puede o no emplearse material de aporte. Sin embargo, es recomendable, para obtener buenos resultados, emplear corriente continua y polaridad invertida al soldar. La ignición del arco debe realizarse con alta frecuencia y emplear como gas inerte el helio, para mantener la máxima penetración.

La soldadura del tantalio, al ser calentado por encima de los 500°C, tiende a oxidarse rápidamente [6] y [7]. Adicionalmente, esta soldadura está propensa a disolver discretamente cantidades de óxido en solución a elevadas temperaturas. La soldadura del tantalio requiere de una atmósfera protectora, como la atmósfera de un gas inerte o activo, para prevenir la contaminación y la fragilidad causada por el nitrógeno y el oxígeno. El relativo bajo coeficiente de expansión térmica y de conductibilidad, minimiza la posibilidad de distorsión, durante la soldadura.

### 1.2 Particularidades de los aceros inoxidables

El mayor inconveniente que presenta la soldadura de los aceros austeníticos es la precipitación de carburos que puede producirse en las zonas cercanas al cordón de soldadura, quedando sensibilizados a la corrosión intergranular. Para evitar esta precipitación, se deben soldar las piezas sin precalentamiento y con el menor aporte de calor posible. Otra posibilidad es emplear aceros austeníticos con porcentaje de carbono menor a 0,03 % o aceros austeníticos estabilizados con titanio, niobio o tantalio [8].

Desde el punto de vista de la soldadura, los mejores resultados se obtienen cuando la secuencia de solidificación comienza con la fase ferrítica y luego la transformación de austenita al estado sólido [2]. Otro autor [9] plantea que estos aceros se caracterizan, principalmente, por la presencia de cromo para lograr las cualidades de inoxidables, que, al incrementar el contenido, lo hará su resistencia.

Es práctica generalizada en la soldadura, el mantener la temperatura del material base y la ZAC lo más baja posible. Se logra usando bajas intensidades de corriente (compatibles con

una adecuada penetración y fusión), arco corto, cordones cortos o simplemente esperando que la pieza se enfríe entre cordón y cordón [10] y [11]. Es común limitar la temperatura a valores donde el material alcance una temperatura de 70 °C.

El objetivo de este trabajo es determinar la influencia que tiene la transferencia de calor en el comportamiento microestructural de una unión soldada, a tope, entre la aleación de tantalio B 521 y el acero AISI 316, mediante proceso de gas y tungsteno.

### 1.3 Composición química de las aleaciones

En la tabla 1, se muestra la composición química de la aleación de tantalio B 521 (especificación estándar para tubos de tantalio). Esta aleación se caracteriza por su alta pureza, es un material dúctil y presenta un comportamiento mecánico muy sensible a la temperatura y a la tensión; aun así, se usa para la fabricación de piezas de aviones, reactores y elementos de hornos.

**Tabla 1.** Composición química de la aleación de tantalio B 521, % en masa

Grado	Fe	Si	Nb	W	Ti
B 521	0,003	0,003	0,028	0,004	0,002
	O	Cr	H	N	TA
	0,010	0,0005	0,001	0,002	Resto

Fuente: Alloy Casting Institute (ACI).

La tabla 2, refleja la composición química del acero inoxidable AISI 316. El níquel y en menor medida el manganeso, se adiciona a este acero para estabilizar la fase austenítica, en un amplio rango de temperatura y, evitar la transformación martensítica cuando son enfriados rápidamente a temperatura ambiente, lo que lo convierte en uno de los materiales de más amplia utilidad en la fabricación de piezas.

**Tabla 2.** Composición química estándar del acero AISI 316, % en masa

Tipo	C	Si	Cr	Ni
316	0,05	0,34	16,22	10,27
	Cu	Mn	Mo	
	0,29	1,60	2,12	

Fuente: AISI-SAE.

## 2. Materiales y métodos

En esta sección se expone el diseño de la experimentación realizada y la secuencia para la obtención de los resultados, los pasos, así como los materiales y métodos empleados en el desarrollo de la investigación.

### 2.1 Plan experimental

Se prepararon tres probetas, de ambas aleaciones con espesor de 1,3 mm. En la figura 1, se observa la vista lateral de probetas para ejecutar la unión soldada. Se realizó a tope sin

preparación de los bordes, con electrodo desnudo y proceso de gas y tungsteno (GTAW) sin el empleo cámara de rastreo.

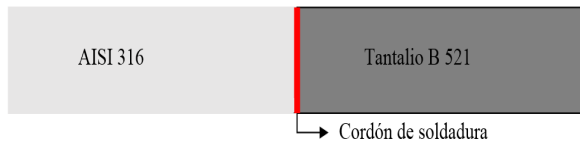


Figura 1. Preparación de la unión para la soldadura.

En la tabla 3, se muestran los parámetros empleados en el ciclo térmico.

Tabla 3. Parámetros para la soldadura de las probetas

<b>Diámetro del electrodo (mm)</b>	2,4
<b>Longitud del arco (mm)</b>	2
<b>Temperatura de fusión (°C)</b>	3 017
<b>Temperatura de ignición (°C)</b>	34
<b>Rendimiento (%)</b>	0,90
<b>Conductividad térmica (W/m·K)</b>	57,5

La unión se preparó con longitud de tubo de 150 mm. Para ello, se depositaron cuatro puntos en el área de la unión (90°), para evitar alabeo y distorsiones. La soldadura se realizó con alambre de diámetro 2,4 mm del tipo ER 316 L Si, el que posee la siguiente composición química: C-0,02%; Si-0,85%; Mn-1,75%; Cr-19%; Ni-12%; Mo-2,7%, según AWS-A-5.9. El electrodo no consumible fue de tungsteno al 2 % de torio (WT20).

La preparación de las muestras se realizó según la Norma ASTM E-92. Luego de soldada, se cortaron con una sierra manual y se encapsularon para determinar el comportamiento en la ZF, la ZAC y la interfase del cordón.

### 2.2 Microestructura patrón de las aleaciones

Con la observación de las probetas se empleó un microscopio óptico binocular NOVEL modelo NIM-100, con una cámara IMI.VIDEOCAPTURE.exe que refleja la fotografía en el computador, que posee un software que permite identificar la distribución y tipo de microconstituyente. Para colocar las probetas en el microscopio y evitar una observación distorsionada de las imágenes, se montaron en un dispositivo con plastilina que permitió su nivelación.

El análisis microestructural consistió en la observación de una muestra patrón de la aleación de tantalio B 521 y del AISI 316. Se seleccionó la zona del metal base lo más alejada de donde pudiera tener influencia el ciclo térmico de soldadura.

La figura 2, se corresponde con la aleación de tantalio B 521 en estado de suministro. Se observa una morfología de granos de fase  $\alpha$ , característica de la estructura de granos grandes, distribuidos de forma regular en toda el área observada. La figura 3, pertenece a la microestructura de la

aleación AISI 316, la que está compuesta por austenita y ferrita, con un contorno rectilíneo de los granos. Se observan además algunos precipitados dispersos en la matriz.

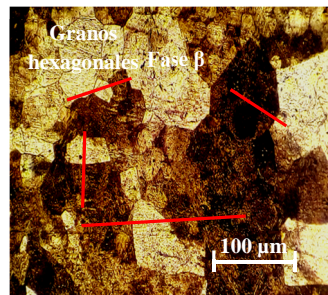


Figura 2. Estructura del Ta.

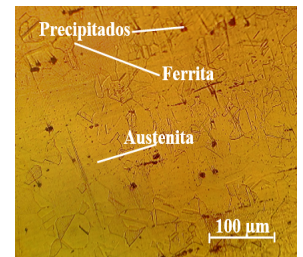


Figura 3. Estructura del AISI 316.

Se efectuó un barrido de dureza en las zonas obtenidas de la unión soldada, para una carga de 50 g, donde se midió los diámetros de la huella de la punta de diamante penetrada en un tiempo de 15 segundos. En la tabla 4, se muestra el procedimiento empleado para evaluar el comportamiento de la dureza en las diferentes zonas para diferentes distancias.

Tabla 4. Procedimiento para evaluar la dureza

D	ZF		ZAC Ta		ZAC AI	
	HV	Prom	HV	Prom	HV	Prom
0,0	HV	HVP				
0,25	HV	HVP				
0,5	HV	HVP				
0,75	HV	HVP				
1,0			HV	HVP		
1,25			HV	HVP		
1,5			HV	HVP		
1,75					HV	HVP
2,0					HV	HVP
2,25					HV	HVP

Se realizaron tres ensayos de dureza en cada zona, las que fueron promediadas. En el barrido se consideraron las zonas que se obtienen del proceso de soldadura, la zona fundida (ZF), la interfase del cordón de soldadura, la zona de influencia térmica (ZIT) a partir de la dureza de ambos materiales base (MB).

### 3. Resultados y discusión

Las figuras 4, 5 y 6 evidencian el comportamiento microestructural obtenido en la zona fundida de las tres muestras obtenidas del proceso de soldadura.

La unión formada bajo el metal fundido es afectada por la diferencia del punto de fusión entre el tantalio y el acero inoxidable. Por este efecto, existen en lado del tantalio, granos esféricos, como resultados de la tensión superficial en la



piscina de soldadura. Se observa una estructura de dendrita fina, con un tamaño no homogéneo y una orientación determinada debido al rápido enfriamiento del método de soldadura.

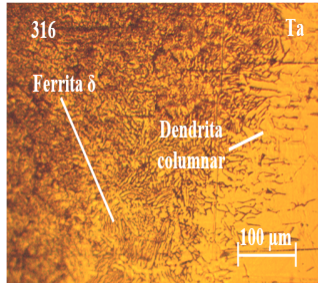


Figura 4. Muestra 1.

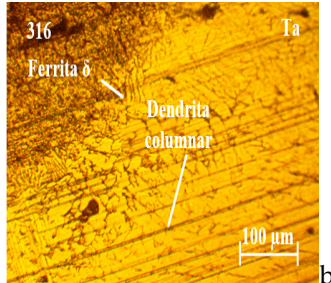


Figura 5. Muestra 2.

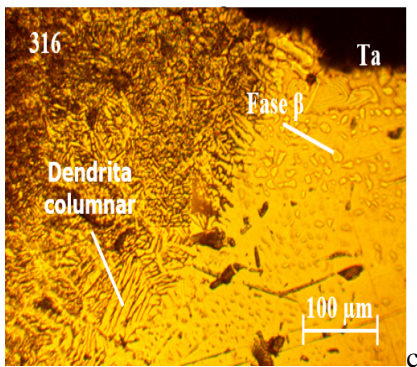


Figura 6. Muestra 3.

La formación de las dendritas de color claro, que se encuentra en los granos de color más oscuro, es debida fundamentalmente al compuesto de hierro. Sin embargo, la mayor cantidad de regiones de dendritas intragranulares, se debe al elevado contenido de tantalio, lo cual ocurre por la rápida solidificación de fusión de este. Se observa la formación de compuestos intermetálicos de Ta y Fe. Bajo el rápido enfriamiento, existe la formación de las dendritas primarias, las cuales no tuvieron tiempo para el crecimiento, por el efecto de la cristalización [12] y [13].

### 3.1 Microestructura en la zona afectada por el calor

En las figuras 7, 8 y 9 se muestran las microestructuras de la ZAC de la aleación de tantalio B 521 y del acero AISI 316, luego de aplicado el ciclo térmico de soldadura. Se observa que, en esta zona, existe en ambas aleaciones, una estructura de granos recrystalizados. La formación de una microestructura con granos de fase  $\beta$  y granos poligonales en la zona afectada térmicamente, precedida por granos parcialmente fundidos, con características similares a la del metal base en el Ta. En el AISI 316, la formación de austenita, austenita dendrítica y la

ferrita- $\delta$ , como resultado de la solidificación del caldo metálico.

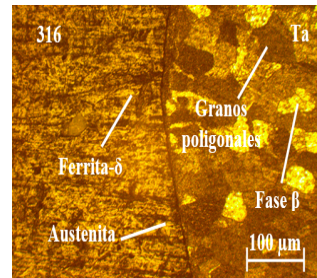


Figura 7. Muestra 1.

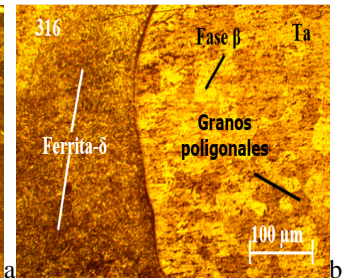


Figura 8. Muestra 2.

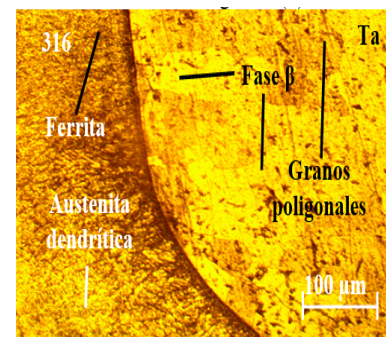


Figura 9. Muestra 3.

En cada una de las estructuras se observa una línea de margen estrecho, lo cual se corresponde con la línea central de la soldadura. Cerca de esta interfase se da el crecimiento epitaxial, siguiendo la solidificación de patrón dendrítico dirigido hacia la dirección a la fuente de calor del arco eléctrico, fundamentalmente en el acero inoxidable. La zona atacada en el borde de esta línea, presumiblemente sea causada por el rápido enfriamiento, puesto que, en el tantalio, la temperatura de recrystalización ocurre en el rango desde 900 hasta 1 200 °C, expuesto también por otro autor [14].

El grado de formación de la ferrita es generalmente bajo, a la transformación de austenita a ferrita es relativamente inactiva y el ciclo térmico en la ZAC es normalmente rápido. Sin embargo, el Fe y el Ta formaron pequeños compuestos intermetálicos, con formación de precipitados finos de segunda fase, dispersos a largo de los límites de grano y dentro del grano. No obstante, en esta zona no se observa defectos de grietas.

### 3.2 Microestructura en la interfase del cordón

El análisis microestructural correspondiente a la interfase del cordón de soldadura se muestra en la figura 10. La muestra el comportamiento obtenido por efecto de la transferencia de calor, luego de aplicado el ciclo térmico de soldadura.

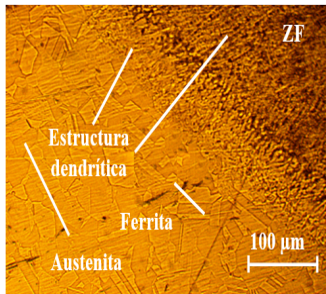


Figura 10. Interfase de la soldadura.

La interfase del cordón muestra un patrón de solidificación dendrítico. La dendrita se hace presente en todo el cordón de soldadura, cerca de la interfase se da el crecimiento epitaxial, siguiendo la solidificación de patrón dendrítico dirigido hacia la dirección a la fuente de calor del arco eléctrico. En esta zona la estructura del grano puede ser controlada con el empleo de métodos que promuevan nucleación en el charco de soldadura.

En esta zona se observa una línea dendrítica, donde el material base es parcialmente fundido, ya que se encuentra en contacto directo con la pileta (cordón de soldadura). En la microestructura se aprecia el crecimiento epitaxial de los granos de forma perpendicular. En esta línea, se obtiene un refinamiento de grano por el choque térmico concedido por la temperatura propia de la soldadura.

En la microestructura ha existido un crecimiento de granos columnares durante la solidificación, formados paralelos a la dirección de la soldadura, presumiblemente por la ocurrencia de las altas temperaturas en esta zona, debido a que la velocidad de enfriamiento es rápida y por la diferencia de fusión del Ta con respecto al AISI 316.

### 3.3 Evaluación de la dureza en la unión

Las tres zonas obtenidas en la unión fueron analizadas. En la figura 11 se muestran los resultados obtenidos.

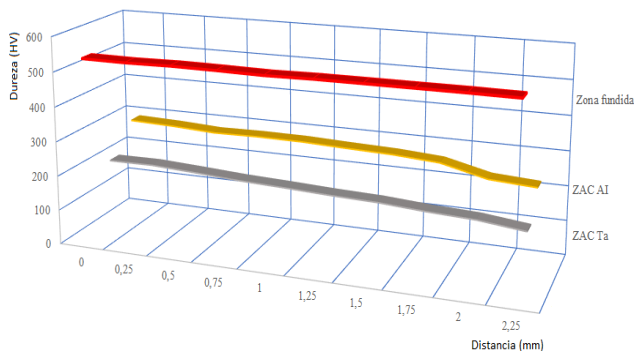


Figura 11. Análisis de la dureza en cada zona.

Para una dureza inicial de aproximadamente HV 140 en la aleación de tantalio y de HV 217 en el acero inoxidable AISI

316, en la zona afectada por el calor, existe un incremento de hasta HV 200 en el primero (línea gris) y de hasta HV 285, para el segundo (línea amarilla), lo cual está en correspondencia con las microestructuras obtenidas, donde los granos no alcanzaron una deformación total. Sin embargo, en la zona fundida (línea roja) la dureza alcanzada es de hasta HV 535. Esto está motivado por la formación de estructura quebradiza en esta zona, que provoca un aumento considerable por el ciclo térmico de soldadura impuesto.

## 4. Conclusiones

- La unión formada por la aleación de tantalio B 521 y el AISI 316, bajo la transferencia del metal fundido, generó una estructura del tipo columnar tosca, estructuras dendríticas, así como una estructura de una red de células hexagonales y ferrita- $\delta$ , ninguna propensa al agrietamiento.
- En la zona afectada por el calor se observó una línea de margen estrecho, que se corresponde con la línea central de la soldadura y cerca de ella existe la formación de un crecimiento epitaxial, con patrón dendrítico en dirección a la fuente de calor del arco eléctrico.
- Se observó un incremento de la dureza, en la zona afectada por el calor, hasta los HV 200, en la aleación de tantalio B 521 y hasta HV 285 en el acero inoxidable AISI 316 y llegó a HV 535 en la zona fundida, motivado por la formación de estructuras quebradizas, lo que permite tomar decisiones sobre la elección de este tipo de unión.

## REFERENCIAS

- [1] J. Lippold, D. Kotecki. Welding metallurgy and weldability of stainless steels, 1ra edición. John Wiley & Sons, New Jersey, USA. 2005.
- [2] J. Delgado, R. Ambriz, R. Cuenca-Álvarez, N. Alatorre, F. Curiel, "Heat input effect on the microstructural transformation and mechanical properties in GTAW welds of a 409L ferritic stainless steel". Revista de Metalurgia, vol 52, pp. 1-10, 2016.
- [3] C. Li, Z. Zhu, T. Liu, "Microhardness of pore walls in porous titanium prepared with novel powder metallurgy". Powder Metallurgy, vol 48, pp. 237-240, 2005.
- [4] V. Stelmakh, V. Rinnerbauer, R. Geil, P. Aimone, J. Senkevich, J. Joannopoulos, M. Soljac'ic, I. Celanovic, "High-temperature tantalum tungsten alloy photonic crystals: Stability, optical properties, and fabrication". Applied Physics Letters; vol 103, pp. 1-4, 2013.
- [5] R. Bao, X. Zhang, "An inverse method for evaluating weld residual stresses via fatigue crack growth test data". Engineering Fracture Mechanics, vol 77, pp. 3143-3156, 2010.
- [6] X. Tang, "Phase transformations in Ti-Nb-Ta and Ti-Nb-Ta-Zr alloys". Mater. Sci. vol 35, pp. 1805-1811, 2000.

- [7] A. Miller, A. Daane, C. Habermann, B. Beaudry, "Welding tantalum for high temperature applications". The review of scientific instruments, vol 34, pp. 644-647, 1963.
- [8] B. Greenberg, M. Ivanov, A. Patselov, & Y. Besshaposnikov, "The processes of fragmentation, intermixing and fusion upon explosion welding". AASRI conference on modelling. SciVerse Science Direct. AASRI Procedia, vol 3, pp. 66-72, 2012
- [9] T. Fernández-Columbié, I. Rodríguez-González, R. Correa-Suárez, D. Alcántara-Borges, "Junta de soldadura disímil de la aleación HK-40 y del hierro fundido 24". Ingeniería Mecánica, vol 17, pp.98-107, 2014.
- [10] D. Kotecki, J. Lippold, "Welding metallurgy and weldability of stainless steels". Journal of Materials Processing and Technology, vol 1, pp. 474-483, 2013.
- [11] V. Radhakrishnan, "Hot cracking in austenitic stainless-steel weld metals". Science and Technology of welding and Joined Magazine, vol 5, pp. 25-32, 2000.
- [12] T. Fernández-Columbié, I. Rodríguez-González, D. Alcántara-Borges, A. Salazar-Preval, A. Abad-Brocard, "Caracterización microestructural de uniones soldadas de acero AISI 316L en tuberías". Minería y Geología, vol 32, pp. 60-75, 2016.
- [13] F. Hashim, R. Salim, M. Jaffar, "On the spot brazing and spot soldering of tantalum". Academic Research International, vol 4, pp. 457-467, 2013.
- [14] L. Zhou, T. Yuan, R. Li, J. Tang, G. Wang, K. Guo, "Selective laser melting of pure tantalum: Densification, microstructure and mechanical behaviours". Materials Science and Engineering, vol. 707, pp. 443-451, 2017.

# Estrategias para la implementación efectiva de la cadena de frío en la región de Azuero

## Strategies for the effective implementation of the cold chain in the Azuero region

Lilibeth Madrid<sup>1\*</sup>, Humberto Álvarez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Licenciatura en Ingeniería Industrial, Centro Regional de Azuero, Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería Industrial, Campus Víctor Levi Sasso, Universidad Tecnológica de Panamá,

**Resumen** En esta investigación se realiza un análisis del sistema de cadena de frío, específicamente del Centro de Manejo Post Cosecha El Ejido, ubicado en la provincia de Los Santos, con el objetivo de proponer las estrategias que contribuyan con su implementación. En la primera fase se realizó la caracterización y análisis de cada uno de los componentes del sistema: centro de manejo post cosecha, transporte refrigerado y mercados públicos, que permitió identificar que el centro post cosecha solo tiene una efectividad del 11.9% y que el sistema carece de la totalidad de los equipos necesarios para mantener la cadena de frío. En la segunda fase se analizaron las prácticas post cosecha y de comercialización del productor de la región, así como su nivel de conocimiento sobre el tema estudiado, reflejando que en la región se ubican pequeños productores, con poca capacidad de gestión y planificación, lo que afecta directamente al centro post cosecha. Se identificó que un gran porcentaje de los productores están interesados en conocer los beneficios del sistema e implementarlo.

**Palabras clave** Agro logística, cadena de frío, hortofrutícola.

**Abstract** In this document an analysis of the cold chain system is performed, specifically of the El Ejido Post – Harvest Management Center located in the Province of Los Santos, with the objective of proposing strategies that contribute to its implementation. In the first phase, the characterization and analysis of each of the components of the system was carried out: post-harvest management center, refrigerated transport and public markets, which allowed identifying that the post-harvest center only has an effectiveness of 11.9% and that the system lacks all the necessary equipment to maintain the cold chain. In the second phase the post - harvest and marketing practices of the producers in the region were analyzed, as well as their level of knowledge on the subject in question, reflecting that there are small producers in the region with little management and planning capacity, which directly affects the post-harvest center. In the same way, it was identified that a large percentage of producers are interested in knowing the benefits of the system and implementing it.

**Keywords** Agro-logistic, cold chain, fruit and vegetable.

\* Corresponding author: lilibeth.madrid@utp.ac.pa

### 1. Introducción

El estudio muestra el análisis del estado actual del sistema integral de la cadena de frío, principalmente del centro de manejo post cosecha de El Ejido, provincia de Los Santos, República de Panamá. El objetivo principal es el diseño de estrategias que incrementen el nivel de utilización del sistema y coadyuve al mejoramiento de las prácticas utilizadas por los productores de la región azuereña.

En el año 2018, solo el 2% de los productores que se pretendían beneficiar con el centro de post cosecha El Ejido, habían hecho uso del beneficio, que deja en evidencia la existencia de una infraestructura que no es utilizada y la necesidad de crear estrategias que promuevan un precio justo

por los productos. Entre otros productores, el uso de esta plataforma logística, provoca un impacto positivo en el desarrollo económico y social de la región mediante el incremento del ingreso para el productor; el aprovechamiento de los recursos existentes; la reducción de la merma y las posibilidades

El estudio se divide en dos fases: El análisis del sistema y la postura del productor frente al propósito de identificar todos aquellos factores influyentes en el bajo nivel de implementación.

Inicialmente el documento contiene una breve descripción teórica sobre la cadena de frío, sus objetivos e importancia. Seguidamente se detallan las generalidades de la investigación: antecedentes, identificación del problema, justificación y el



objetivo principal. En los puntos siguientes se explica la metodología utilizada y el resultado del análisis realizado a los componentes del sistema y a los productores de la región. Finalmente, se presentan las estrategias que se sustentan en los resultados del análisis realizado y que serán la base para el desarrollo de un plan de acción o mapa de ruta que señale a los actores los caminos adecuados para lograr la permanencia y la sostenibilidad de la cadena y que conduzcan el desarrollo de las actividades esta, hacia el logro de sus objetivos.

## 2. Cadena de frío: objetivo e importancia

Es el conjunto de procesos logísticos que se realizan bajo temperatura y humedad controlada, de acuerdo a las características de cada producto, desde el momento que se inicia la producción hasta que llega al consumidor final.

No solo es una serie ininterrumpida de instalaciones, actividades de almacenamiento y distribución en frío, especialmente para alimentos perecederos, dentro de condiciones de temperatura controlada, que requiere de infraestructuras y tecnologías, sino que requiere de la coordinación entre las partes interesadas, personal técnico capacitado, información adecuada y una buena gestión operativa [1].

Su principal objetivo es conservar y mantener los productos perecederos en los rangos de temperatura que el producto requiere para conservar sus propiedades, mediante el control de las condiciones que la pueden alterar (temperatura, humedad, ventilación, radiaciones y la calidad del envase) [2].

La importancia del sistema logístico de cadena de frío radica principalmente en que retrasa la degradación del alimento y de sus propiedades sensoriales, lo que evita la formación de microorganismos que dañan el producto. Mediante su uso se obtiene una serie de beneficios: reduce la merma, aumenta el tiempo de vida del producto, disminuye los riesgos de la salud poblacional, reduce la volatilidad en el precio de los alimentos, facilita el proceso de comercialización y genera excedentes exportables.

Es importante resaltar que existe una serie de factores claves que influyen en el éxito de la cadena de frío y que están determinados por el impacto y su influencia; la ausencia o falla de tan solo uno de ellos, repercute negativamente en la conservación del producto. Estos factores son los siguientes: buenas prácticas de cosecha y post cosecha, transporte, almacenamiento, distribución y venta en frío, almacenamiento en frío por los consumidores [3].

## 3. Generalidades

### 3.1 Antecedentes

Panamá es uno de los principales centros multimodales del mundo. Sin embargo, presenta carencia como plataforma logística y de servicios para alimentos perecederos. Para hacerle frente al estatus tradicional en el manejo de estos productos, se conceptualizó en el año 2009, un proyecto que establecía la instalación de un sistema conocido como cadena

de frío. En ese sentido, se creó la Secretaria de Cadena de Frío, que a partir del año 2013, pasó a ser Mercados Nacionales de la Cadena de Frío, S.A.

No fue hasta el año 2014, que el proyecto del sistema integral de cadena de frío agrícola se cristaliza y se convierte en uno de los más importantes desarrollados en Panamá. Un proyecto ambicioso con el objetivo de reducir la merma, reforzar las condiciones fitosanitarias, mejorar la calidad de los alimentos, generar excedente exportable y ofrecer a los pequeños y medianos productores un medio que facilite y otorgue transparencia en la comercialización de productos perecederos.

La plataforma logística está orientada al manejo de 24 productos hortícolas, los cuales fueron seleccionados bajo los parámetros de volumen de producción, nivel de consumo y forma de comercialización [4].

- |              |                      |                       |
|--------------|----------------------|-----------------------|
| 1. Ají Dulce | 9. Habichuela corta  | 17. Chayote           |
| 2. Pimentón  | 10. Habichuela larga | 18. Coliflor          |
| 3. Apio      | 11. Lechuga          | 19. Culantro          |
| 4. Berro     | 12. Mostaza          | 20. Tomate de mesa    |
| 5. Brócoli   | 13. Papa             | 21. Tomate industrial |
| 6. Cebolla   | 14. Perejil          | 22. Zanahoria         |
| 7. Cebollina | 15. Pepino           | 23. Espinaca          |
| 8. Cilantro  | 16. Remolacha        | 24. Repollo           |

El sistema se basa en una red de cuatro plantas de acopio ubicadas estratégicamente en las principales zonas de producción, tres (3) en la provincia de Chiriquí (Cerro Punta, Dolega y Volcán), una (1) en la provincia de Los Santos (El Ejido) y ocho (8) mercados públicos.

El centro post cosecha en la región de Azuero ubicado estratégicamente en el corregimiento de El Ejido, provincia de Los Santos, fue diseñado para realizar las operaciones de lavado, secado, parafinado, clasificación y selección de tomate, ají, pimentón, chayote y pepino, al igual que la reducción de la temperatura en cámaras de aire forzado con humedad controlada y almacenaje temporal de tránsito, con capacidad para procesar un volumen diario de 11,482 kilogramos de productos.

Datos proporcionados por los Mercados Nacionales de la Cadena de Frío S.A. revelan que para diciembre del 2017, en el centro del El Ejido, solo se recibieron 535 kilogramos de productos, sumado al hecho (según declaraciones del gerente del centro), que en ocasiones se han adaptado las instalaciones a la recepción de alimentos que no forman parte de los 24 rubros que se mencionan anteriormente, como es el caso del ñame, y en otras, existen días que no se recibe ningún producto. Esto deja en evidencia la existencia de un beneficio técnico que no es utilizado o aprovechado por el productor de la región.

En cuanto al mercado público del distrito de Chitré, provincia de Herrera, el cual forma parte de la plataforma logística y fue diseñado para garantizar el funcionamiento de



la cadena de frío, no ha iniciado operaciones. Se esperaba su funcionamiento en junio del 2019.

### 3.2 Problema de investigación

Planteada la situación, queda en evidencia la existencia de una plataforma logística que no ha sido utilizada de manera eficiente; problemática que es atribuida a dos posibles razones: la primera, uso de la cadena de frío y la segunda, las deficiencias en los mecanismos de operación establecidos por la Secretaría de Cadena de Frío.

El estudio desarrollado se enfoca en atención a dos vertientes; una desde la perspectiva del productor y la otra, vista con relación al sistema de la cadena de frío, debido a la escasa información existente y consultada, revela deficiencias en ambas vías.

### 3.3 Justificación

En Panamá tan solo en el antiguo mercado agrícola de abastos se enfrentaban pérdidas de 136, 876, 000,000 de dólares debido a los 25,000 kilogramos de mermas que se registraban diariamente, principalmente en productos como los vegetales.

De acuerdo con los datos de la Asociación de Productores y Comerciantes Agrícolas del Mercado Central de Panamá, gran parte de los alimentos vendidos en el mercado interno derivaban en significativas pérdidas, las mermas en vegetales que alcanzaban el 40% y el 15% en frutas.

El proyecto de un sistema logístico de cadena de frío es una alternativa para contrarrestar el deterioro de productos. Su uso adecuado aportaría grandes beneficios a los productores, reduciendo las pérdidas ocasionadas por deficiencias en el manejo, almacenamiento y transporte, que reflejan sus beneficios en la calidad de los productos, disminución de mermas y el aumento de sus ingresos.

La estructura actual del sistema integral de cadena de frío constituye una inversión significativa y un avance fundamental en cuanto a mejorar la capacidad y eficiencia del agro, para direccionar los esfuerzos hacia su ejecución efectiva se convierte en prioridad para los sectores involucrados en materia, que buscan alcanzar su máximo beneficio y aportar al eslabón económico y social del país.

### 3.4 Objetivo

Diseñar y proponer estrategias que fortalezcan la implementación efectiva del sistema integral de la cadena de frío (centro de manejo post cosecha en la región de Azuero).

## 4. Metodología

### 4.1 Tipo de investigación

La investigación desarrollada es de carácter descriptivo - explicativo; pues se caracteriza, reseña e identifican los factores influyentes en la implementación efectiva de la cadena de frío, y proporciona en un sentido completo el entendimiento

del entorno de esta cadena (centro de manejo post cosecha en la región de Azuero).

### 4.2 Procedimiento

La primera etapa del proyecto consistió en una amplia revisión documental que aportó las bases teóricas para el desarrollo del estudio.

El trabajo de campo para el desarrollo de la investigación se realizó en dos fases:

En la primera fase se realizaron visitas al centro de post cosecha y Merca Panamá, con la finalidad de analizar los procesos que el productor debe seguir al momento de utilizar el sistema, además de estudiar los perfiles técnicos (equipos disponibles) y logísticos (sistemas de almacenamiento, vehículos de transporte), que permitieron la caracterización y evaluación de los aspectos relacionados al problema en cuestión desde el punto de vista de la cadena de frío.

En la segunda fase se realizó una encuesta estructurada con preguntas abiertas y cerradas a los productores de la región, con la finalidad de describir y analizar sus prácticas de transporte y comercialización, determinar el nivel de conocimiento sobre el tema y las actitudes tomadas frente a esta situación, así como de la obtención de información relevante que contribuyó con el desarrollo de la investigación.

Los resultados del análisis obtenido en ambas fases permitieron diseñar las estrategias que contribuirán con la utilización de la cadena de frío por parte del productor de la región.

### 4.3 Cálculo de población y muestra para la aplicación de la encuesta

La población estuvo compuesta por 207 productores inscritos en el Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA), cuyos rubros estaban dentro de los 24 seleccionados para utilizar el centro de manejo post cosecha y de los cuales 142 productores pertenecen a la provincia de Los Santos y el resto (65) a la provincia de Herrera.

Si consideramos que la variable objeto de estudio es de tipo cuantitativa discreta (cantidad de productores) y la población es conocida (finita), se manejó la siguiente ecuación para determinar el tamaño de la muestra (1).

$$n \geq \frac{Z^2 N p q}{(N-1)e^2 + Z^2 p q} \quad (1)$$

Donde:

n = tamaño de muestra

N = 207 productores

Z = 1.96, para un nivel de confianza del 95%

p = probabilidad de éxito 50%

q = probabilidad de fracaso 50%

e = 5%, error estándar de estudio

Al aplicar la fórmula (1), se determinó una muestra necesaria de 135 productores, suficientes para garantizar la confiabilidad y precisión deseada en los resultados. En cuanto a la selección de la muestra, se utilizó un muestreo de tipo estratificado para garantizar la presencia de todos los subgrupos claves dentro de la muestra. La división de los estratos se realizó primero por provincia, luego por región, rubro y finalmente se utilizó muestreo aleatorio para determinar la unidad muestral, en donde cada uno de los productores tenía la misma probabilidad de ser seleccionado.

## 5. Resultados fase 1: Análisis de los componentes del sistema

El Sistema Integral de Cadena de Frío de Panamá se compone de tres elementos: centros de manejo post cosecha (CMPC), flota de camiones refrigerados (FCR) y mercados públicos nacionales (MPN). En los siguientes puntos se presenta el resultado del análisis realizado a cada uno de estos componentes.

### 5.1 Centro de Manejo Post Cosecha (CMPC) – El Ejido

Son instalaciones de primer nivel diseñadas para el acopio, procesamiento, almacenaje y despacho de productos hortícolas frescos, operado por personal idóneo, con la finalidad de prolongar su vida útil. Su objetivo principal es servir de apoyo al productor en las operaciones de recepción, procesamiento y despacho de los rubros seleccionados, manteniendo las condiciones adecuadas de temperatura y humedad, reduciendo la merma al aumentar el tiempo de vida de los productos y mejorando su inocuidad.

#### 5.1.1 Capacidad y nivel de utilización

El centro de manejo post cosecha El Ejido, objeto de este estudio, fue diseñado para procesar una capacidad anual de 4, 133,442 kilogramos de productos y con estimaciones de beneficiar a 581 productores de la región [4]. Proyectando utilizar el 40% de su capacidad instalada para el primer año de operación (2014) y se espera alcanzar en un periodo de 12 años, la utilización del 93% de esta capacidad instalada, con un crecimiento del 8% anual respecto al año anterior.

Sin embargo, el volumen de producto procesado en el CMPC para los años 2017 y 2018, mostrado en la tabla 1, no llegan a las cantidades esperadas, lo que refleja su baja tasa de utilización [5], [6].

Tabla 1. Volumen procesado esperado vs real

Año	Volumen Esperado (kg)	Volumen Real (kg)
2017	2,082,778.6	447,580.0
2018	2,249,400.9	266,917.8

En el año 2017, la tasa de utilización esperada era de 50% y la alcanzada fue de 11% (39% no logrado); mientras que, en

el 2018, la tasa esperada era de 54% y la alcanzada fue de 6% (48% no logrado). Comparada las tasas reales de utilización entre los años evaluados (2017 y 2018), se refleja una disminución del 5%, lo que revela el uso deficiente de la capacidad del centro. Ver figura 1.

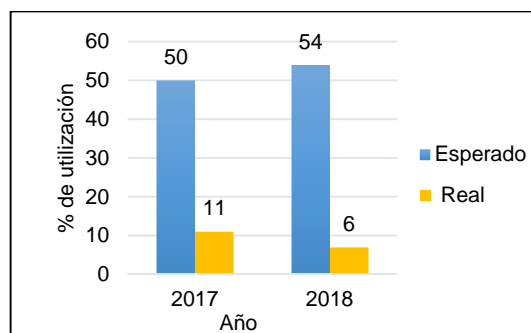


Figura 1. Tasa de utilización del CMPC esperada vs la real.

En relación con el número de productores beneficiados, para los años 2017 y 2018, solo 13 y 14 productores han utilizado el CMPC respectivamente [5], [6], de los 581 productores que se estimaba beneficiar. Lo que muestra claramente que solo un 2% de los productores esperados han aprovechado el beneficio del CMPC.

#### 5.1.2 Operaciones del CMPC

En el centro se realizan dos operaciones principales: trasiego (cross dock) y procesamiento. Para ingresar los productos al CMPC, el productor debe estar registrado en la base de datos. Si no se encuentra registrado, el productor debe completar un formulario para su inscripción. Una vez inscrito, puede acceder a los beneficios de los diferentes servicios que el centro ofrece, con solo indicar cuál de ellos requiere.

El trasiego consiste en pasar el producto que traen los productores desde la finca, a los camiones de transportistas independientes y de allí a los centros de comercialización, como destino final. Este proceso incluye el pesaje del producto y la emisión de una etiqueta con toda la información relevante del producto y el productor. Sin embargo, este proceso ocasionalmente se cumple, debido a que los productores insisten en trabajar con un peso aproximado por caja o bolsa. Por otro lado, el camión que transporta los productos no siempre es refrigerado y, en su mayoría, se carga con diferentes productos que requieren de condiciones de temperatura y humedad distintas para su conservación. Otro aspecto relevante del proceso se refiere al hecho que cada productor debe efectuar el trasiego de su carga utilizando sus propios trabajadores, lo que podría causar deterioro del producto por la manipulación inadecuada.

Es importante destacar que el CMPC ofrece de manera gratuita el proceso de trasiego y aun cuando este no forma parte de los eslabones de la cadena de frío, es una práctica común realizada por los productores. Este accionar indujo a incluirla en los servicios brindados en el CMPC, con la intención de

proveer un lugar físico adecuado para efectuar el proceso de trasiego, evitando que los productores utilicen malas prácticas que conduzcan a afectar la calidad e inocuidad del producto.

En cuanto al procesamiento del producto, este tiene la finalidad de mejorar la presentación y/o preservación del producto. Este proceso abarca una serie de operaciones, que van desde el preenfriamiento hasta el servicio de almacenaje, reempaque y transporte. Estas operaciones son: lavado, desterronado, cepillado, secado, clasificación, selección, empaçado, etiquetado, encerado y pesado. Sin embargo, en la práctica, las operaciones descritas no siempre se llevan a cabo en su totalidad, porque depende de los requerimientos del productor y el tipo de producto. Esta fase llamada “procesamiento” tendría un precio al productor que dependería del tipo de rubro, peso, días de almacenamiento y otras variables de tratamiento dado al producto. Debido a la baja efectividad del CMPC, no se ha cumplido con lo planificado y no se han concretado los diferentes precios según las condiciones establecidas. Actualmente se ofrece de forma gratuita como una medida que busca incrementar el nivel de utilización del centro.

### 5.2 Transporte refrigerado

La columna vertebral de la cadena de frío es el transporte refrigerado, el cual hace posible que los productos puedan transportarse y distribuirse conservando su composición y calidad. Sin este elemento, la efectividad del sistema no se lograría.

A pesar que el transporte refrigerado es uno de los 3 componentes del proyecto, actualmente el servicio no se ofrece y el productor se hace responsable de todo el manejo del producto, en este aspecto. Son pocos los productores que cuentan con el transporte refrigerado, lo que se traduce en el rompimiento inmediato de la cadena de frío, ocasionando que las probabilidades de deterioro del producto sean más altas.

### 5.3 Mercados públicos nacionales

El último de los componentes del proyecto del Sistema Nacional de Cadena de Frío son los mercados públicos nacionales, cuya finalidad es proveer de alimentos a la población panameña, garantizando la inocuidad en el producto a través de prácticas de calidad y contribuyendo de esta manera a mejorar su calidad de vida de los mercados públicos que componen el proyecto, solo dos (2) se encuentran en funcionamiento: el mercado público de David y Merca Panamá.

Merca Panamá, tiene establecido claramente los requisitos para el ingreso de los productos, pero no contemplan aspectos relacionados a la calidad e inocuidad.

Cuando el productor comercializa sus productos en el mercado nacional, la negociación se realiza directamente con el arrendatario. Esto provoca la ausencia de un registro del producto ingresado, de la verificación de su calidad y de incentivos al productor que utilice el CMPC. Adicionalmente, se observa que los puestos de venta empleados para la

comercialización del producto no reúnen las características para mantener las condiciones de temperatura y humedad requeridas para el producto durante su venta. Ver figura 2



Figura 2. Puesto de venta en Merca Panamá, en donde se puede observar las formas de almacenamiento del producto para su venta.

## 6. Fase 2: Resultados del análisis del sistema desde la perspectiva del productor de la región de Azuero

### 6.1 Caracterización de los productores de la región

Con la intención de poder establecer las estrategias más acertadas se realizó la caracterización y análisis de las prácticas de producción y comercialización de los productores de la región, la cual reflejó los siguientes resultados:

- En la región de Azuero solo el 0.74% de los productores encuestados siembra más de 6 hectáreas, lo que los ubica en la categoría de pequeños productores [7].
- De la muestra total, el 53% de los productores mantienen más de 15 años dedicados a la siembra, lo que señala una vasta experiencia, pero quizás con prácticas empíricas y muy aferradas que los lleva a resistirse a los cambios a favor de la implementación de nuevos métodos y tecnologías.
- Con respecto a la capacidad de planificación, el 61% de los productores no planifica su producción, lo que sustenta que la práctica es empírica. Respecto a los registros de siembra el 84% no lleva ningún tipo de documentación lo que dificultaría llevar la trazabilidad de los productos.
- El 54% de los productores no tiene establecidos sus compradores, previo al periodo de siembra, del resto 46% (62 productores) que dijo tener comprador el 77% vende a la compañía Nestlé, Los Santos. Concluyendo que, en su mayoría, no guardan una relación sólida y/o permanente con sus clientes (compradores). La inestabilidad en la relación compra - venta puede ocasionar que parte o, incluso, la totalidad de la

producción sea vendida a un precio muy por debajo del precio del mercado o, sencillamente, llegarse a perder.

- En el tema de comercialización, 76 de los encuestados venden a intermediarios, 59 realizan venta directa y 3 a cadena de supermercados. De los 59 que realizan venta directa, el 81% vende directamente a la Nestlé.
- En relación con las prácticas de transporte, de los 69 productores que dijeron ser responsables del transporte del producto, el 54% usa transporte alquilado, 42% utiliza transporte propio y 4%, ambos. Ninguno de estos productores utiliza transporte refrigerado.
- En cuanto a la merma durante la comercialización, los productores aseguran que la merma se encuentra entre 0 y 25% del producto, con un costo de pérdida representado en el valor del producto.

## 6.2 Análisis de la cadena de frío desde la perspectiva del productor

Los resultados obtenidos de la encuesta acerca del nivel de conocimiento por parte del productor sobre el sistema de cadena de frío y su postura frente a este, reflejaron lo siguiente:

- El 98% de los productores manifestó estar familiarizado con el concepto de cadena de frío y solo lo relacionan con el almacenamiento del producto.
- En cuanto a la existencia física del CMPC ubicado en El Ejido, 104 productores (77%) dijo saber de su ubicación, pero de estos solo 8 lo han utilizado.
- Entre las principales razones por las cuales no utilizan el centro, señalaron que de: 44 productores dijeron no conocer el procedimiento y los beneficios, 37 manifestó no haber tenido la necesidad de utilizarlo y 34 productores dijeron que no sabían que el CMPC se encontraba funcionando. Se evidencia que la poca efectividad del CMPC se debe más que todo a la falta de divulgación de los beneficios que representa para el productor y de una orientación en cuanto a los requisitos para su utilización.
- De los 8 productores que han utilizado el centro, 3 productores aseguraron no volver a utilizarlo, por los siguientes motivos: que el peso total ingresado del producto al centro es mayor al peso del producto que sale, que una vez fuera del centro el producto se deteriora con mayor rapidez y que el sistema no contribuye con la venta del producto una vez ingresa al centro.
- Finalmente, se les consultó a aquellos productores que no han implementado la cadena de frío, si estarían interesados en utilizarla, a lo que el 87% dijo que sí. Mientras que los que no manifestaron interés argumentaron no encontrar beneficios para la venta del producto, sumado a que, los bajos volúmenes de producción no justifican su uso.

## 7. Diagnóstico

Para determinar puntualmente los problemas, las causas y sus efectos en la cadena de frío, y establecer las estrategias adecuadas, se realizó el diagnóstico de cada uno de los elementos analizados.

### 7.1 Usuario principal (productor)

El bajo nivel de conocimiento sobre los requerimientos que exige el sistema para su adecuado uso y los potenciales beneficios que de él se derivan, han sido uno de los principales obstáculos a los que los productores se han enfrentado en la implementación efectiva del sistema de la cadena frío.

Si listamos aquellos factores clave que han incidido a que el sistema no represente un punto de interés para el productor, observamos una postura – digamos algo conservadora-, que impide a este el crecimiento y la apertura a nuevas oportunidades. Esta panorámica nos lleva a pensar que si se logra que el productor se adapte y confíe en las bondades que ofrece la cadena de frío, en esa medida, él logrará cambios en sus prácticas de producción que lo llevarán a incrementar los volúmenes de producción, por ende, sus beneficios y/o utilidades. Veamos, específicamente, esas debilidades:

- La existencia predominante de pequeñas parcelas impide en el productor el crecimiento de sus volúmenes de producción. Los bajos volúmenes de producción se traducen en una limitante para que el productor tenga acceso a programas, proyectos, asistencia y capacitación técnica, entre otros beneficios que le permitan incursionar en nuevos segmentos de mercado.
- Los bajos volúmenes de producción disminuyen el poder para aprovechar las economías de escala.
- Los limitados niveles de producción generan incertidumbre en el productor con relación a la rentabilidad de la inversión, lo que significa para ellos, costos más altos y ninguna posibilidad de beneficios.
- La poca capacidad de gestión del productor disminuye su poder de negociación y dificulta la implementación de prácticas adecuadas para el manejo post cosecha y del sistema de la cadena de frío.
- Para ambos, la falta de planificación y el bajo volumen de producción llevan al productor a utilizar intermediarios. Esto trae consigo, el aumento en el precio para el consumidor final y la disminución del ingreso por venta del productor, adicional a un desinterés para dar un valor agregado a su producto que contribuya a una mayor rentabilidad en su inversión. Cada uno de los factores señalados afecta directamente al primer eslabón del sistema, el CMPC.

### 7.2 El Centro de Manejo Post Cosecha

Opera con una tasa de utilización real por debajo de la tasa esperada, lo que confirma los elementos causantes señalados anteriormente y que se resumen principalmente en la falta de



conocimiento, y de capacidad de gestión por parte de los productores, para administrar los recursos disponibles a favor de la producción. Se agregan a estos factores, las deficiencias del centro de manejo post cosecha para establecer políticas formales de pago que generen confianza en el productor y el establecimiento de políticas de incentivos que fomenten el uso del CMPC.

### 7.3 Transporte refrigerado

La oferta de transporte refrigerado en la región es prácticamente nula. A pesar de uno de los componentes del sistema, este servicio no es ofrecido y es una de las razones por la cual el productor no implementa la cadena de frío.

### 7.4 Mercados públicos nacionales

No cuentan con políticas o requisitos para el ingreso de los productos pertenecientes a la red de frío, por lo que no asegura la calidad e inocuidad ni obliga a mantener la cadena de frío. La ausencia de estas políticas no contribuye a incentivar en el productor la implementación efectiva de la cadena.

Con relación a los puestos de venta, la cadena de frío carece de la totalidad de los equipos requeridos para cumplir con el proceso hasta la compra por el consumidor y se obtenga así los beneficios que la cadena aporta.

## 8. Estrategias

Podemos tomar en cuenta los resultados obtenidos de los análisis realizados, así como proyectos llevados a cabo por países como México, quien desarrolló un programa nacional de agrologística, en el año 2014, con un horizonte de cumplimiento de 30 años. En este programa establecieron una serie de políticas públicas con la finalidad de convertirse en unos de los países líderes en la exportación de productos hortofrutícolas [8]. Por otro lado, el análisis para el desarrollo de la cadena de frío en países de África [1] y en la India [9]; indica que se diseñaron las estrategias que orientarán a los entes competentes en el manejo del sistema de la cadena de frío con la finalidad de incrementar su nivel de utilización y encaminarla hacia el logro de los objetivos para los que fue implementada.

Las estrategias que definen las posibles acciones de fortalecimiento y mejoras al sistema se construyeron tomando en cuenta los Planes del Gobierno Nacional (2019 – 2024). De esta forma se alinearán y contribuirán, de una u otra manera, con las políticas de desarrollo y crecimiento económico del país.

En la figura 3, se muestran las estrategias y en la tabla 2, se detallan las acciones, recursos y responsables de ejecutarlas. Se sugieren como responsables los descritos en la tabla; sin embargo, estos entes podrían cambiar dependiendo de los requerimientos de la acción, al igual que los recursos señalados. Cabe resaltar, que estas estrategias solo son la base para el desarrollo de un plan de acción, que requiere de la

participación de todos los entes involucrados en materia, razón por la que no incluye el análisis de tiempo y costo.

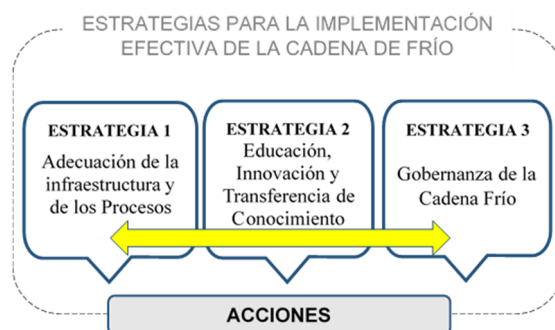


Figura 3. Estrategias para la implementación efectiva de la cadena de frío.

Tabla 2. Objetivos, estrategias y líneas de acción propuestas

E-1. Adecuación de la infraestructura y de los procesos	
<i>Objetivo:</i> Adecuar la infraestructura física y de los procesos que integran el sistema actual de cadena de frío.	
Acciones	Responsables
Establecer políticas de precio por la utilización de los servicios que oferta el centro de post cosecha según rubro, volumen a ingresar, tipo de proceso y días de almacenamiento	Mercados Nacionales de Cadena de Frío, S.A.
Certificar los procesos que se realizan en el CMPC mediante la norma Cool Chain Quality Indicators, de manera que se asegure la calidad de las operaciones realizadas.	Mercados Nacionales de Cadena de Frío, S.A.
Establecer el protocolo específico para el procesamiento o almacenamiento de cada rubro en los CMPC.	Mercados Nacionales de Cadena de Frío, S.A.
Proporcionar una certificación a los productos que ingresen al sistema, que garantice la inocuidad y calidad.	Mercados Nacionales de Cadena de Frío, S.A.
Establecer mecanismos de enlace y diálogo permanente con las cadenas de supermercados, industrias u otros mercados, para consolidar una relación de respeto y eficaz con el productor y estas entidades	Mercados Nacionales de Cadena de Frío, S.A. IMA
Dotar al sistema nacional de la cadena de frío de los servicios de transporte refrigerado.	Mercados Nacionales de Cadena de Frío, S.A.
Dotar a los puestos de ventas de los equipos necesarios para la exhibición de	Mercados Nacionales de



los productos procurando mantener las condiciones de temperatura y humedad.	Cadena de Frío, S.A.
Establecer como requisito para ingresar a los mercados públicos nacionales, la certificación por el CMPC para todos los productos que pertenecen a la red de frío.	Mercados Nacionales de Cadena de Frío, S.A.
Crear un departamento que garantice el cumplimiento del reglamento de los productos que ingresan a los MPN, a través de las inspecciones a los puestos de venta.	Mercados Nacionales de Cadena de Frío, S.A.
<b>E-2. Innovación, educación y transferencia de conocimiento</b>	
<b>Objetivo:</b> Priorizar la inversión para la modernización del sistema de la cadena de frío articulando la inversión técnica y de capital humano para lograr ventaja competitiva en el sector agrícola.	
<b>Acciones</b>	<b>Responsables</b>
Diseñar e implementar programas de divulgación y promoción de la importancia de utilizar el sistema de la cadena de frío y de los beneficios que se generan de su implementación.	Mercados Nacionales de Cadena de Frío, S.A. MIDA
Diseñar e implementar programas de capacitación y de formación para los usuarios del sistema (productor, extensionista y otros), en temas de manejo de productos antes, durante y después de la cosecha, inocuidad, calidad, y trazabilidad del producto, así como, de aspectos relacionados con la producción y la visión empresarial.	MIDA
Desarrollar aplicaciones que permitan el acceso a información y/o datos relativos al mercado, permitiendo un seguimiento a los distintos procesos dentro de la cadena de frío, en cuanto a la planificación de la demanda, tiempos de entrega y otros parámetros de interés.	Mercados Nacionales de Cadena de Frío, S.A. MIDA IMA IDIAP
Diseñar, promover y construir acuerdos de colaboración con las universidades que deriven en proyectos para impulsar desde la docencia, la investigación y extensión, la temática de la cadena de frío.	Mercados Nacionales de Cadena de Frío, S.A. MIDA IDIAP universidades oficiales y particulares

<b>E-3. Gobernanza de la cadena de frío</b>	
<b>Objetivo:</b> Impulsar la implementación efectiva de la cadena de frío.	
<b>Acciones</b>	<b>Responsables</b>
Creación de un marco de gobernanza que permita la coordinación interinstitucional necesaria para el desarrollo de las políticas y programas que generen oportunidades y soluciones al productor, garantizando el éxito en el uso de la cadena de frío.	Mercados Nacionales de Cadena de Frío S.A., IMA MIDA
Promover el desarrollo de capacidades institucionales y modelos de gestión para lograr una administración efectiva del sistema nacional de la cadena de frío.	Mercados Nacionales de Cadena de Frío S.A. IMA MIDA
Instituir normas y reglamentos de gestión de la calidad e inocuidad de los alimentos, que aseguren un producto de calidad y se garantice su cumplimiento.	MIDA DEPA (MINSA)
Establecer políticas que alienten la creación de grupos o modelos de asociaciones de pequeños y medianos productores que contribuyan en la generación de economías de escala con un mayor valor agregado	MIDA
Crear mecanismos de apoyo a los productores mediante la implementación de incentivos que promuevan la utilización de la cadena de frío, en especial aquellos que guardan relación con la compra institucional de los productos certificados por la cadena para atender los programas de alimentación escolar.	MIDA IMA MEDUCA
Garantizar un precio justo y competitivo para los productos certificados por la cadena de frío.	MIDA IMA

## 9. Conclusiones

El análisis y diagnóstico realizado proyectó resultados muy interesantes que avalan la falta de estrategias para la implementación efectiva del Sistema de la Cadena de Frío en Panamá. Se resaltan como aspectos concluyentes de la investigación y que permitieron el diseño de las estrategias:

- Las expectativas en la cantidad de productos que manejaría la capacidad instalada del centro de manejo post cosecha desde su implementación no ha cumplido con los objetivos trazados. Solo el 8% de los productores encuestados ha utilizado el centro,

sustentado en el hecho de la falta de conocimiento que se tiene sobre este. En particular revela una deficiencia en la capacidad de gestión por parte de los entes competentes en el manejo del CMPC.

- Los datos recabados revelan que un alto porcentaje de productores muestra interés en conocer los beneficios que aporta la implementación del sistema de la cadena de frío y evaluar las posibilidades de poder utilizarlo.
- Se debe tener en cuenta que en la región se ubican pequeños productores, caracterizados por la debilidad en su capacidad de gestión y planificación, por lo que es mejor trabajar en estas capacidades, sería un punto a favor de la implementación de los nuevos métodos y tecnologías.
- Solo 59 de los productores encuestados realizan la venta de sus productos de forma directa y 3 a cadena de supermercados, revelando que urgen políticas o programas que ayuden al productor en la comercialización del producto y que lo incentiven a utilizar la cadena de frío.
- En cuanto al sistema de cadena de frío, es necesario dotarlo con los equipos necesarios para el transporte y la conservación de los productos en los mercados.
- Se carece de la coordinación entre las instituciones relacionadas al sector agro, lo que impide el desarrollo de programas y políticas, así como la escasa participación del sector privado.

## 10. Recomendaciones

- Encargar a las autoridades competentes de los Mercados Nacionales de la Cadena de Frío S.A., atender las acciones planteadas.
- Diseñar e implementar programas de promoción y difusión -intensiva y permanente-, para dar a conocer a los productores de la región de Azuero, acerca de la importancia en el uso del sistema integral de la cadena de frío y de cada uno de los beneficios y servicios que ofrece.
- Llevar a cabo políticas públicas que eliminen los obstáculos que limitan al productor a ser más competitivo y que se orienten a fortalecer su capacidad de gestión y a mejorar sus prácticas de producción.
- Los Mercados Nacionales de Cadena de Frío S.A., dotar al sistema con el transporte refrigerado y realizar las evaluaciones en cuanto a costo, cantidad de vehículos, rutas, políticas de uso, de forma que se facilite la prestación del servicio a los productores.
- Incentivar entre todos los actores de la actividad económica el uso eficiente de los recursos productivos y del sistema de cadena de frío.
- Involucrar a las instituciones relacionadas con el sector agropecuario, así como las empresas privadas, en el

desarrollo de programas y políticas que impulsen el uso adecuado de la cadena de frío.

## 11. Trabajo futuro

Con la finalidad de ampliar la investigación y contribuir al desarrollo y ejecución de las acciones propuestas se resaltan algunas líneas de trabajo futuro. Cabe resaltar, que para el desarrollo de cada una de las acciones se requiere de un estudio previo del entorno actual.

- Desarrollar un programa para la alineación de las entidades involucradas en materia, en donde se evalúe, defina y detalle el rol de cada una de ellas en relación con el desarrollo del sistema de cadena de frío.
- Evaluar las políticas de acceso a los mercados, así como los canales de comercialización, a fin proponer mejoras o políticas que facilite al productor el acceso a los mercados.
- Analizar los programas de incentivo y ayuda al productor. Así como evaluar, los programas de promoción y capacitación de los usuarios de la cadena de frío, una vez existan. De no existir, proponer programas y realizar proyectos piloto para evaluar su efectividad. Esto con la finalidad de proponer mejoras y/o nuevos programas que motiven al productor a implementar el sistema de cadena de frío.
- Analizar la demanda de transporte refrigerado, que permita dotar al sistema con las cantidades y tipos de transporte requerido, así como evaluar las políticas de uso (por ejemplo, días de transporte según rubros, costo de uso, rutas, etc.).

## AGRADECIMIENTOS

Extiendo mi más sincero agradecimiento a los jefes y colaboradores de las agencias del MIDA de: Chitré, Pesé, Parita, Santa María, Guararé, Macaracas, Tonosí, Tres Quebradas y Los Santos por el apoyo, y tiempo dedicado. A los productores de la región de Azuero, razón de este estudio, por su tiempo y disposición. A los profesores Waldo Moreno, Celinda Pérez y Bolívar Bernal M. por ser guía en el desarrollo de esta investigación.

## REFERENCIAS

- [1] J. S. Elhadi Yahia Kazuz, «Developing the Cold Chain for Agriculture in the Near East and North Africa» 2015. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/3/a-ax746e.pdf>.
- [2] C. P. A. Calixto Mendoza, Manual práctico para la gestión logística, España: Universidad Del Norte, Ediciones Uninorte, (2015).
- [3] ProColombia, Logística de perecederos y cadena de frío en Colombia, 2014.
- [4] Consocio Panamá Frío, «Diseño, Construcción, Equipamiento y Puesta en Marcha del Sistema Logístico de Cadena de Frío para la República de Panamá,» Panamá, 2012.

- [5] Mercados Nacionales de la Cadena de Frío, S.A., «Memoria MNCF,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.cadenadefrio.com.pa/content/transparencia/MEMORIA-2017--MNCF.pdf>.
- [6] Mercados Nacionales de la Cadena de Frío, S.A., «Memoria MNCF,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.cadenadefrio.com.pa/content/transparencia/MEMORIA-2018-Final.pdf>.
- [7] O. d. l. N. U. p. l. A. y. l. A. (FAO)., «Agricultores Pequeños y Familiares. Obtenido de,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/3/ar588s/ar588s.pdf>.
- [8] G. D. R. P. y. A. (. Secretaría de Agricultura, «Programa Nacional de Agrologística México,» 2015. [En línea]. Available: <https://nccd.gov.in/PDF/ChallengeColdChain-Development.pdf>.
- [9] Y. Bank, «Cold Chain Opportunities in India» 2018. [En línea]. Available: [https://www.yesbank.in/pdf/cold\\_chain\\_opportunities\\_in\\_india.pdf](https://www.yesbank.in/pdf/cold_chain_opportunities_in_india.pdf).
- [10] Y. Valdés, «Perdidas en el Mercado por Merma,» 17 Marzo 2018. [En línea]. Available: <https://www.panamaamerica.com.pa/economia/136-millones-en-perdidas-en-el-mercado-por-mermas-1100286>.
- [11] E. N. f. R. Development, «Smart agri-food supply chains» 2016. [En línea]. Available: [https://enrd.ec.europa.eu/sites/enrd/files/s1\\_scra\\_factsheet-final.pdf](https://enrd.ec.europa.eu/sites/enrd/files/s1_scra_factsheet-final.pdf).

# Evaluación de impacto ambiental en el sector de la construcción de viviendas: Caso estudio viviendas del MIDUVI en el cantón “La Maná”, Cotopaxi, Ecuador

## Environmental impact assessment in the housing construction sector: Case study of MIDUVI homes in the canton "La Maná", Cotopaxi, Ecuador

Víctor Paul Carvajal Padilla<sup>1</sup>, Robinson Rigoberto Ambuludi Paredes<sup>1</sup>, Heidi Chávez<sup>1</sup>, Estalin Greña<sup>1</sup>, Karel Diéguez Santana<sup>1\*</sup>  
<sup>1</sup>Facultad Ciencias de la Vida, Carrera Ingeniería Ambiental, Universidad Estatal Amazónica, Paso lateral km 2 ½ vía Tena.  
Puyo, Pastaza, Ecuador

**Resumen** La industria de la construcción es una de las principales causantes de impactos ambientales y daños a la biodiversidad a nivel mundial. El objetivo de este estudio es realizar una evaluación de impacto ambiental en la construcción de viviendas de MIDUVI del sector “La Soledad” en el Cantón La Maná, Ecuador. Se identificó la línea base y se describieron las actividades del proyecto. Para identificar los impactos ambientales que se pueden presentar en los componentes físicos, biótico y socioeconómico-cultural se aplicó la metodología de la matriz modificada de Leopold. Los resultados del estudio revelan que la modificación del hábitat, la remoción de cobertura vegetal y la urbanización son los impactos ambientales más significativos dentro del área de estudio. Además, se puede mencionar que el reciclaje de residuos es una de las actividades positivas dentro de la construcción, por lo tanto, se deberán formular planes de manejo ambiental amigables para dar seguimiento y control en las primeras etapas de construcción.

**Palabras clave** Calidad ambiental, estudio de impacto ambiental, factores ambientales.

**Abstract** The construction industry is one of the main causes of environmental impacts and damage to biodiversity worldwide. The objective of this study is to carry out an environmental impact assessment in the construction of MIDUVI housing in the “La Soledad” area, La Maná Canton, Ecuador. The baseline was identified, and the project activities were described. To identify the environmental impacts that may occur in the physical, biotic and socioeconomic-cultural components, the methodology of Leopold's modified matrix was applied. The study results reveal that habitat modification, vegetation cover removal and urbanization are the most significant environmental impacts within the study area. In addition, it can be mentioned that waste recycling is one of the positive activities within construction, therefore, friendly environmental management plans should be formulated to follow up and control in the early stages of construction.

**Keywords** Environmental quality, environmental impact study, environmental factors.

\* Corresponding author: karel.dieiguez.santana@gmail.com

### 1. Introducción

La industria de la construcción provoca grandes impactos en el medio ambiente y la biodiversidad a través del uso de recursos y las emisiones atmosféricas [1]. Según las estadísticas del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA en español y UNEP en inglés), la construcción de edificaciones representa el 4% del uso mundial de energía, el 30% de las emisiones de gases de efecto invernadero relacionadas con la energía, aproximadamente el 12% del uso del agua y casi el 40% de los residuos que se producen a nivel mundial [2].

Adicionalmente, el sector de la construcción es el principal consumidor de materias primas y según Dixit, et al. [3], es responsable del agotamiento del 40% de la piedra, grava y arena; 25% de madera; y 16% de agua dulce.

Las diferentes actividades que se generan en este sector pueden indicar distintos impactos ambientales, por lo que la capacidad de evaluar y comparar los impactos ambientales de diferentes actividades de construcción, pueden ayudar al proceso de minimizar las emisiones en diferentes procesos de construcción de edificaciones [4]. Además, como plantean Enshassi, et al. [5] la identificación de los impactos de los proyectos de construcción sobre el entorno es una tarea que

debe ser tratada, con el fin de poder realizar una protección eficaz bajo una evaluación de impacto ambiental.

Los estudios de impacto ambiental en el Ecuador han sido de vital importancia para la mayoría de los macro proyectos a nivel nacional y contribuyen a la reducción de los problemas ambientales, que genera todo proyecto, obra o actividad. Este proceso permite evaluar el proyecto desde el punto de vista ambiental y generar alternativas de procedimientos para alcanzar un desarrollo sustentable [6].

El Cantón La Maná, perteneciente a la provincia de Cotopaxi, se encuentra en el centro Sur del Ecuador a unos 240 km de la ciudad de Quito. Es una de las principales entradas a la costa Ecuatorial, es un punto de intercambio entre productores agrícolas tanto de la sierra como de la costa, y al tener un gran auge económico, su población ha empezado a crecer durante los últimos años [7]. Al 2021, soñamos un Ecuador donde todos tengamos vivienda digna, especialmente los más pobres, donde los niños y las niñas no sufran de desnutrición, y los jóvenes puedan acceder a la educación superior, donde no exista violencia contra las mujeres, y se garanticen los derechos de la naturaleza

Según la Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo [8] existe un déficit de vivienda a nivel nacional y es un deber gubernamental prioritario de erradicar la pobreza y promover el progreso económico, social y cultural del país, por lo que se ha diseñado un proyecto de crecimiento del área inmobiliaria, orientado a atender las necesidades de una población rural emergente que poco a poco intenta romper la frontera entre los campos y las grandes urbes.

El Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), emprendió la construcción de viviendas llamado “La Soledad” que se dedicará a la creación de 31 viviendas para 31 familias, presentes en la parroquia La Maná de origen rural que se encuentran dentro del Cantón del mismo nombre. El fin de este proyecto es reducir en un 12% el déficit de vivienda en El Cantón. Sin embargo, debido a que el lugar de implementación del presente proyecto se centra en un área donde la actividad agrícola extensiva ocupa la mayor parte de los terrenos a ser intervenidos, se ha decidido efectuar una evaluación de impacto ambiental para reducir eventualidades ambientales que se generen durante la ejecución del proyecto.

Por otra parte, las matrices de valoración se han convertido en un método sencillo, para identificar los impactos ambientales de diferentes actividades obras o proyectos. Estos criterios metodológicos han sido empleados en estudios anteriores para la identificación y valoración de impactos en actividades productivas, cultivo de la pitahaya [9], operación y funcionamiento del camales [10] o en obras constructivas, como la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales [11].

El objetivo de este estudio fue analizar los impactos ambientales de la construcción de lotes de edificaciones del MIDUVI en La Maná, y así poder identificar el grado de perturbación que puede generar hacia el medio físico y

ecológico circundante al área de influencia de la obra y de esta manera establecer medidas ambientales que permitan prevenir, controlar, minimizar y mitigar los posibles impactos generados dentro del proyecto.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1 Localización

El estudio se realizó en la provincia de Cotopaxi, parroquia La Maná, Cantón La Maná, en las coordenadas 17 M 693802.16 m E 9893557.45 m S, a una altitud de 170 msnm. Su temperatura promedio es de 22 °C y su precipitación de 2694 mm al año (Ver la figura 1).

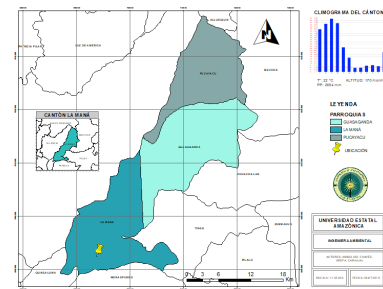


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio, Cantón y parroquias.

### 2.2 Descripción de la actividad

Se realizó el estudio de impacto ambiental, sobre la actividad de construcción de viviendas del MIDUVI (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda), con el fin de tener un panorama más específico de todos los impactos, tanto positivos como negativos, que genera este tipo de proyectos. Se detallan todos los procesos llevados a cabo dentro de la obra, fueron tomados en consideración al momento de realizar el presente estudio, haciendo énfasis en los más significativos que son: remoción de suelo, cobertura vegetal, disposición final de desechos y etapa de construcción (cimentación debido a la generación de material particulado y polvorines que afectarían directamente a la salud de los trabajadores) (figura 2).

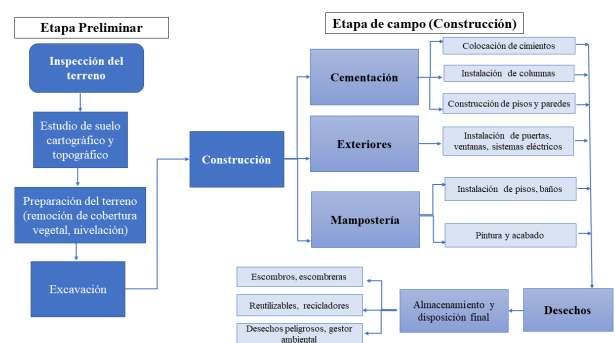


Figura 2. Diagrama de flujo de las operaciones y actividades de la construcción.



### 2.3 Levantamiento de información de la línea base

En esta etapa se realizaron varias visitas de campo y una búsqueda exhaustiva en medios bibliográficos, con el objetivo de obtener información confiable que nos permita caracterizar el medio en el cual se desarrollan las actividades de construcción. En el caso de las visitas de campo, estas fueron para examinar mediante observación directa, los diferentes componentes, físico, biótico y socioeconómico cultural, mientras que en los casos donde no fue posible obtener información directa, se consultaron fuentes bibliográficas primarias y secundarias, reportes, informe ambiental y estadístico del cantón, INEC, MAG, entre otros.

### 2.4 Métodos de evaluación

En la actualidad existen un gran número de métodos de evaluación de impactos ambientales, teniendo en consideración que varios han sido creados para un tema específico y que difícilmente se lograrían acoplar a temas generales [10]. Los sistemas de matrices son ampliamente conocidos. Para el presente estudio se empleó la matriz de Leopold modificada. Esta es una matriz de valoración en la cual se cuantifican los impactos a partir de la magnitud e importancia. Este método permite unir los factores ambientales a ser afectados y las acciones humanas que producen esa afectación, con el fin de medir las interacciones, tanto negativas como positivas y de esta manera valorar cuantitativamente la magnitud y el impacto que generan las actividades. Los resultados de la aplicación de esta metodología permiten formular recomendaciones de mejora o establecer un plan de manejo ambiental, en caso de ser necesario [11].

El valor del impacto se obtuvo a partir de la ecuación 1, que está en dependencia de la magnitud e importancia. De esta ecuación, los resultados positivos, significa que el impacto será positivo, y si el valor del impacto fuese negativo, el impacto final será negativo.

$$\text{Impacto} = \text{Importancia} \times \text{Magnitud} \quad (1)$$

En el caso de la magnitud, describe el grado de afección que podría tener un factor ambiental. Se empleó un rango de 1, para bajas hasta 10 para muy altas, mientras que el caso de la importancia, se consideraron seis tipos distintos de variables con relevancia específica:

Naturaleza: Define si un impacto es positivo o negativo.

Probabilidad: Define cual es la probabilidad de ocurrencia de un impacto.

Duración: Define la línea temporal de un impacto ambiental.

Reversibilidad: Define si el impacto se podrá remediar a corto o largo plazo.

Intensidad: Define el grado de afectación que posiblemente tendrá un impacto ambiental.

Extensión: Define el grado de diseminación del impacto ambiental.

En este caso, se obtuvo a partir de la ecuación 2, y los valores de las variables se seleccionaron basado en los criterios de la tabla 1.

$$\text{Magnitud} = \text{Naturaleza} \times \text{Probabilidad} \times (\text{Duración} + \text{Reversibilidad} + \text{Intensidad} = \text{Extensión}) \quad (2)$$

**Tabla 1.** Rangos numéricos utilizados para las variables Naturaleza, Probabilidad, Duración, Reversibilidad, Intensidad y Extensión

Naturaleza	Probabilidad	Duración	Reversibilidad	Intensidad	Extensión
Positiva = +1	Poco Probable = 0,1	Temporal=1	Acorto plazo=1	Baja = 1	Puntual=1
Negativa = -1	Probable = 0,5	Permanente = 2	A largo plazo=2	Media = 2	Local = 2
-	Cierto = 1	-	-	Alta = 3	Regional = 3

Finalmente, los valores de impacto obtenidos se categorizaron empleando los criterios de la tabla 2.

**Tabla 2.** Rangos numéricos utilizados para la caracterización del impacto ambiental

Rango	Característica	Significancia
80 a 100	E+	Muy significativo positivo
60 a 80	D+	Significativo positivo
41 a 60	C+	Medianamente significativo positivo
21 a 40	B+	Poco significativo positivo
0 a 20	A+	No significativo positivo
0 a - 20	a-	No significativo negativo
-21 a - 40	b-	Poco significativo negativo
-41 a - 60	c-	Medianamente significativo negativo
-61 a - 80	d-	Significativo negativo
-81 a - 100	e-	Muy significativo negativo

### 2.5 Plan de manejo ambiental

Una vez identificados los impactos ambientales es necesario proponer medidas que permitan mitigar y gestionar los efectos ambientales de la actividad, obra o proyecto [10]. En Ecuador, el Reglamento al Código Orgánico del Ambiente (Decreto Ejecutivo N° 752, Registro Oficial Suplemento N° 507 del 19 de junio de 2019), en el artículo 435, menciona cuales son los sub-planes de manejo ambiental a considerar los aspectos ambientales, impactos y riesgos identificados en proyecto, obra o actividad en análisis. La tabla 3, muestra una descripción breve de cada uno de los planes seleccionados y

las debidas justificaciones de los planes no considerados en este estudio.

**Tabla 3.** Descripción de planes de manejo ambiental utilizados

Plan de manejo	Descripción
Plan de prevención y mitigación de impactos	Plan incluido para la mitigación de daños ocasionados por el área de influencia del presente proyecto.
Plan de contingencias	Plan no incluido debido a que la mayor parte de las contingencias y recomendaciones se encuentran presentes en el plan de seguridad y salud ocupacional.
Plan de manejo de desechos	Plan incluido para controlar la generación y eliminación de residuos generados en el momento de la operación, cierre y abandono.
Plan de relaciones comunitarias	Plan no incluido, debido a que las relaciones comunitarias estuvieron a cargo del MIDUVI.
Plan de rehabilitación de áreas afectadas	Plan implementado, para la recuperación del suelo, factor ambiental importante en el presente proyecto
Plan de rescate de vida silvestre, de ser aplicable	Plan no aplicable debido a que la mayor parte del área de influencia es utilizado para la agricultura.
Plan de seguridad y salud ocupacional	Plan incluido, dada las circunstancias a la que los trabajadores del ámbito de la construcción están expuestos. Nota: Este plan actualmente no se encuentra estipulado por el Art. 435, sin embargo, es de vital importancia para el presente proyecto y, por ende, es utilizado en esta metodología.
Plan de cierre y abandono	Plan incluido en el proyecto dado la naturaleza de la actividad es esencial para un abandono sin desconformidades.
	Paisajismo, suelo, aspectos culturales

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1 Diagnóstico ambiental (línea base)

La construcción de viviendas ubicada en la parroquia La Maná, Cantón La Maná, provincia de Cotopaxi, lugar de estudio es una zona rural en la cual la presencia de caseríos es escasa porque los suelos en su mayor parte se encuentran ocupados por fincas agrícolas y ganaderas, razón por la cual la presencia de vegetación nativa es escasa y se limita a sitios de difícil acceso, factores que inciden para la baja presencia

de fauna silvestre. La tabla 4, muestra los principales resultados de la descripción de la línea base.

**Tabla 4.** Descripción de la línea base utilizados actualmente

Componente ambiental	Estado actual
<b>Medio Físico</b>	
<b>Clima</b>	El sitio en estudio tiene un clima Tropical Megatérmico Húmedo que abarca 1880,56 hectáreas, que equivalen al 31,3% de la superficie.
<b>Temperatura</b>	Las temperaturas fluctúan entre 17-32 °C, promedio de 24°C, durante el periodo 2003-2012.
<b>Hidrología</b>	Los caudales en los últimos 10 años varían entre 92,4 m <sup>3</sup> /s hasta 308,5 m <sup>3</sup> /s.
<b>Tipo de suelo</b>	El área de estudio se ubica en el grupo de suelos inceptisoles, los cuales ocupan una superficie de 400,031 que corresponde al 66,5 %.
<b>Medio biótico</b>	
<b>Flora</b>	Se identificaron especies arbustivas, herbáceas espontáneas y pioneras que se han desarrollado por procesos dinámicos del ambiente y por procesos de realce natural.
<b>Fauna</b>	Ausencia total de especies faunísticas nativas del lugar de estudio, debido a la sobreexplotación en la zona.
<b>Socioeconómico-Cultural</b>	
<b>Cultivos</b>	La mayor parte los suelos han sido ocupados por especies como banano ( <i>Musa sapiens</i> ), yuca ( <i>Manihot esculenta</i> ), café ( <i>Coffea arábica</i> ), cacao ( <i>Theobroma cacao</i> ) y una variedad de cítricos (naranja y mandarina).
<b>Población económicamente activa</b>	(PEA) en el Cantón es del 51,9%, la principal actividad es la agricultura con el 55,1%, seguida por el comercio con un 12,5%.
<b>Acceso y usos del agua</b>	El cantón cuenta con el 84% de servicio de agua mediante red pública y el 16% mediante el abastecimiento por vertientes o pozos.
<b>Escolaridad</b>	El nivel de escolaridad en la población es de 7.5 años para las mujeres y 7.6 años para los hombres.

#### 3.2 Resultados de los instrumentos de valoración

La tabla 5, muestra los principales impactos identificados entre las actividades y los componentes ambientales del área de estudio directa del proyecto.

**Tabla 5.** Identificación de impactos según la matriz de Leopold modificada

Componentes ambientales	Actividades									
	a. Modificación de hábitat	b. Remoción de la cobertura vegetal del suelo	c. Compactación y desertificación	a. Construcción de vías	b. Urbanización y viviendas	c. Paisajismo	a. Reciclaje de residuos	b. Eliminación de basura	Salud	a. Vertidos y filtraciones
Suelo	x	x	x	x		x	x			x
Agua	x				x		x		x	x
Atmósfera	x	x		x			x		x	
Flora	x	x	x	x	x		x			
Fauna	x	x	x	x	x		x			
Interés económico y humano		x		x	x		x	x	x	
Aspectos culturales		x			x	x				
Relaciones ecológicas	x	x	x	x			x			

Por su parte, la tabla 6, muestra las valorizaciones de los impactos identificados. En los componentes ambientales, se puede apreciar que el medio físico se muestra muy afectado, principalmente el suelo (6 impactos negativos), atmósfera y agua (4 impactos cada uno). También, el medio biótico con flora y fauna, con 5 impactos negativos cada uno de ellos, respectivamente. Por otro lado, los principales impactos positivos se ubican en el componente socioeconómico, interés económico y humano (5 impactos positivos), pues la construcción de estas viviendas significa en mejora de las condiciones de vida de la población beneficiaria.

La construcción de viviendas genera un impacto negativo al ambiente, como lo es el deterioro de las características del suelo, aire y agua superficial que afecta directamente a la pérdida de especies nativas del lugar, mayor emisión de material particulado hacia la atmósfera, incluso llegando a generar la migración de especies, haciendo que abandonen su hábitat natural. Podemos observar que estas actividades que generan afecciones al ambiente están generando un aumento en las actividades económicas del lugar, de manera que existe mayor cantidad de fuentes de empleo, debido a que, para llevar a cabo las diferentes actividades dentro de la construcción, se necesita recurso humano para ejecutarlas y estas son remuneradas.

**Tabla 6.** Valoración de los impactos ambientales

Componentes ambientales	Actividades									
	a. Modificación	b. Remoción de la cobertura	c. Compactación	a. Construcción	b. Urbanización	c. Paisajismo	a. Reciclaje de residuos	b. Eliminación de basura	c. Salud	a. Vertidos y filtraciones
Suelo	-48	-32	-20	-72		-32	32			-3,2
Agua	-21				-24		24		-2,4	-2,4
Atmósfera	-54	-54		-27			21		-42	
Flora	-28	-28	-36	-28	-28		20			
Fauna	-21	-21	-27	-21	-21		15			
Interés económico y humano		63		36	81		4,5	22,5	-3,6	
Aspectos culturales		-32			72	-36				
Relaciones ecológicas	-20	-17,5	-17,5		-20		12,5			

### 3.3 Actividades y afección al medio

La figura 3, muestra las principales actividades e impactos del proyecto. En resumen, se puede apreciar que entre los impactos positivos sobresalen los poco significativos positivos y no significativos positivos, que agrupan el 77% (10 de los 13 impactos positivos identificados). En el caso de los impactos negativos, se muestran un total de 29 impactos de ellos 25 (86%), se encuentran entre las categorías no significativo negativo y poco significativo negativo. Existen 3 impactos negativos medianamente significativos y uno significativo negativo. En análisis de las actividades negativas, la modificación de hábitat muestra 6 impactos, 5 la remoción de cobertura y 4 la construcción y compactación.

Mediante el análisis de la matriz de Leopold, se identificaron los impactos negativos y positivos de mayor relevancia. A continuación, se destacan los impactos negativos más importantes:

Modificación de hábitat: Como se puede observar en la figura 3 y tabla 6, la modificación del hábitat es un impacto negativo, con un grado de afectación considerable, específicamente, la fragmentación de hábitats ha sido uno de

los principales impactos identificados en la construcción de carreteras Samjang - Sanchung en Korea, donde la evaluación de impacto ecológico permitió identificar los impactos sobre la conservación de la biodiversidad en ecosistemas frágiles.

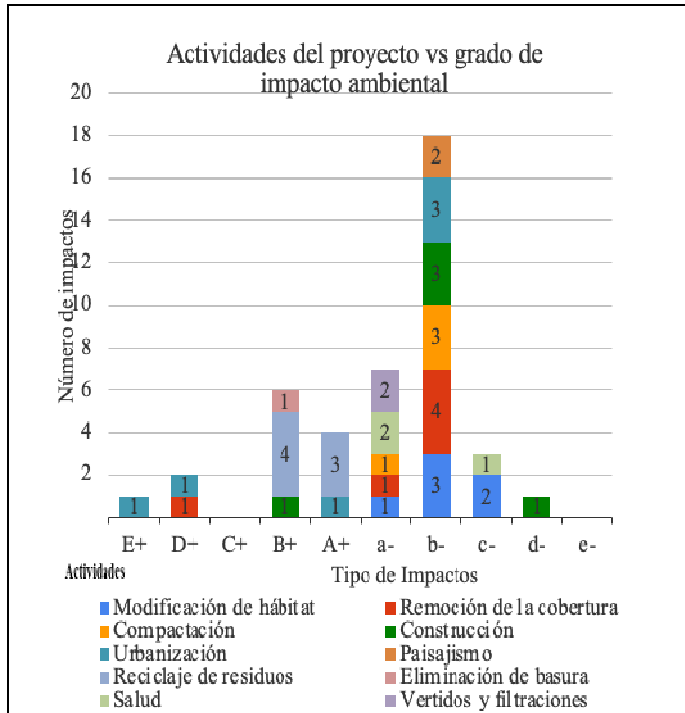


Figura 3. Categorización de los impactos ambientales en cuanto a afectación por actividad.

Remoción de la cobertura vegetal del suelo: De igual manera en la figura 3, la remoción de cobertura vegetal del suelo tiene impactos con valores de impacto negativo medianamente significativos. Este valor es comparable con un estudio realizado en Nigeria, donde obtuvieron un valor similar de remoción vegetal, y es frecuente que este tipo de impactos contiene una relevancia moderada en este tipo de proyectos [12]. Según FAO [13] la remoción de la cobertura vegetal es causada por un cambio importante en el uso del suelo a largo plazo. En la zona de estudio se pudo identificar que la remoción de cobertura vegetal provocó pérdidas de ecosistemas y hábitats, especies animales y vegetales, como también la compactación de suelos provocada por la implementación de maquinaria pesada en el momento de la construcción.

Compactación y desertificación del suelo: La compactación es provocada por la maquinaria de construcción que consiste en un proceso artificial en el cual se consigue lograr un aumento de densidad de un suelo natural o relleno [14], provocando así una desertificación debido a que altera la estructura del suelo. En un estudio de impacto ambiental realizado en Nigeria, se obtuvo un impacto poco significativo de la compactación de suelos [12], lo cual generó erosión,

pérdida de vegetación y degradación hídrica, de la misma manera que puede afectar la zona de estudio.

Construcción de vías: Como se puede observar en la figura 3, la construcción de vías es un impacto negativo, en este caso es un impacto negativo no significativo. En un estudio de impacto ambiental realizado en Bogotá, obtuvieron un valor similar al del presente estudio. La construcción de vías provoca el levantamiento de polvo y material particulado, afectando la salud de la población con enfermedades respiratorias como son: la bronquitis, neumonía y otras [14]. Dentro de la zona de estudio, las construcciones de vías fueron utilizadas para el transporte de materia prima, escombros, transporte de maquinaria, transporte de vehículos medianos y pequeños, etc.; provocando así el impacto ya mencionado.

Urbanización y viviendas: Como se puede visualizar en la figura 3, este aspecto tiene categoría de impacto negativo no significativo al igual que el estudio realizado en Bogotá, donde el valor de afectación fue de - 9,5% [14], tomando en cuenta este valor se analizó y está dentro del rango de valoración del proyecto. Esto quiere decir que una urbanización provoca un impacto relevante por la pérdida de cobertura vegetal, modificación de hábitat y la compactación de suelos.

Salud: En esta actividad que es de gran importancia se obtuvo un porcentaje de -7% como se puede observar en la figura 3, que fue comparado con un estudio Enshassi, et al. [5], obtuvieron un valor de -7,2%, abarcando temas importantes para la salud, como es el polvo de cemento, que este contiene metales pesados como el níquel, cobalto, cromo y plomo que pueden provocar enfermedades respiratorias, colocándolo en la categoría de los impactos no significativos negativos, haciendo que este sea un punto muy importante a remediar dentro de los planes de manejo ambiental. Adicionalmente, el polvo generado por las actividades de construcción afecta profundamente la calidad del aire ambiental y podría afectar negativamente la salud de las personas que viven cerca de los sitios de construcción [15]. Por tanto, es necesario considerar para la toma de decisiones el impacto del polvo de la construcción en el medio ambiente circundante.

Paisajismo: Este criterio es un elemento fundamental de las obras o proyectos constructivos, pues los elementos visuales no solo presentan valores estéticos, sino que equilibran las relaciones mutuas entre los valores culturales, económicos y biológicos [16]. Existe una interacción importante entre los seres humanos y la naturaleza, por lo que la evaluación de la calidad visual es importante en la planificación y gestión ambiental. Viloria Villegas, et al. [17] plantea que el medio humano está compuesto por dos sistemas: perceptual, que se refiere a la relación del hombre y su entorno a través del paisaje natural y construido (componente paisaje); y antrópico, que se refiere al hombre en comunidad (componentes políticas, economía y cultura).

En la evaluación del impacto ambiental (Ver la tabla 6), la modificación o alteración del paisaje puede incidir en el suelo (impacto negativo de -32) y las relaciones culturales (-36). En este último caso, esto está influenciado por la modificación de la calidad visual del paisaje que es producto de características particulares (visibles) del paisaje y como plantea [18] interactúa con procesos psicológicos (perceptuales, cognitivos y emocionales) que son relevantes en el observador humano, por lo que el levantamiento de las viviendas modificará el paisaje y por ende alterará la calidad visual natural del área de estudio. Para compensar estas afectaciones se propone que existan variados espacios verdes, jardines, que puedan integrar los componentes físicos (suelo, agua, aire), y bióticos (la vegetación y la fauna, aunque sean especies menores como aves, insectos). De igual manera, contribuiría a mejorar el aire, reducir el ruido, la erosión y generaría un efecto que regula la humedad y la temperatura.

Vertidos y filtraciones: Se considera como un tipo de impacto negativo no significativo (figura 3), provocado por la maquinaria que se encuentra antes, durante y después de la construcción; tiene que ver con el derrame de aceites y lubricantes que se usan para su funcionamiento. Este tipo de impacto es mitigable, dándole un control y mantenimiento apropiado a la maquinaria [14]. La contaminación a las aguas principalmente por la presencia de orgánicos ha sido discutida en [19, 20] y puede aumentar los potenciales de acidificación/eutroficación de cursos de aguas superficiales.

Dentro de los impactos positivos analizados los de mayor relevancia son:

Reciclaje de residuos: Es un impacto positivo no significativo, como se puede apreciar en la figura 3, que disminuye la probabilidad de contaminación por la recuperación de los residuos del proceso. El reciclaje/aprovechamiento de los residuos, puede ser empleado en la obra [21], en otras actividades similares o puede revalorizarse según sea su composición [22], incluso térmicamente como los restos de madera [23].

### 3.4 Descripción de los impactos y medidas propuestas más importantes del PMA

Dentro del proyecto de construcción de viviendas en el Cantón La Maná, parroquia La Maná, se han detectado gran variedad de impactos que de alguna manera u otra afectan a los diferentes tipos de medio que se encuentran cercanos a la construcción. Para poder mitigarlos de una forma adecuada, se hizo énfasis en los principales impactos detectados de cada uno de los planes y cada uno de ellos con su medida correctiva correspondiente, que se detalla más a profundidad en la tabla 7.

**Tabla 7.** Descripción de los impactos y medidas propuestas más importantes del PMA

Plan	Impactos detectados	Explicación	Medidas Propuestas
Plan de prevención y mitigación de impactos	Pérdida de cobertura vegetal.	Debido a la remoción vegetal y la limpieza del lugar para la construcción.	Revegetar en un lugar cercano o darle un segundo uso a la cobertura vegetal.
	Compactación en el uso de los suelos y desertificación del suelo.	Debido al tránsito de la maquinaria utilizada en la construcción.	Realizar el mantenimiento de las vías de acceso interno por las cuales transiten las volquetas con el trazado de rutas.
	Emisiones de polvo y material particulado	El movimiento de tierra y el transporte del material pétreo, cemento y escombros.	Colocar cobertores de lona sobre el material transportado para evitar el esparcimiento. Regular el volumen máximo de llenado de volquetas hasta 95%. Humedecer diariamente la vía de ingreso a la obra.
Plan de Manejo de Desechos	Daños en la salud del personal.	Esto es generado debido una mala disposición de los desechos comunes.	Los desechos comunes que se genere por las actividades deberán ser enviados en el sistema de recolección de municipio de La Maná.
	Cambio en la calidad de los suelos.	Esto es generado por la incorporación de materiales ajenos a la composición natural del	Llevar un registro adecuado de todos los desechos generados, en el lugar de construcción.



		suelo.	
Plan de Seguridad Ocupacion al y Seguridad Industrial	Accidentes laborales	Debido a que el personal no presenta el EPP adecuado.	Dotar de EPP's de acuerdo con las actividades que realicen los trabajadores durante la ejecución del proyecto.
	Daños en la salud del personal.	Accidentes producidos dentro del espacio laboral.	Disponer de botiquines de primeros auxilios, y estar preparada para actuar en casos de presentarse emergencias
Plan de Rehabilitación de áreas afectadas	Modificación de caudales.	Se presenta porque no hay un adecuado control de todos los materiales de construcción.	En caso de alteración de los cauces de agua estos deberán ser dejados en condiciones similares a las iniciales.
Plan de abandono y entrega	Cambios en el uso de los suelos.	Mala disposición de materiales de construcción.	Notificación al MAE indicando que se va a proceder con el cierre y abandono del área.
Plan de monitoreo	Cambios en la calidad de los suelos.	Mala disposición de materiales de construcción.	Retirar todo el equipo y maquinaria de los frentes de trabajo.
	Contaminación del agua y del aire.	Evaluar la eficacia y validez de las medidas ambientales propuestas.	Realizar monitoreos de ruido y material particulado cada tres meses.

Para poder mitigar y dar solución a los impactos negativos se planteó una serie de subplanes de manejo ambiental entre ellos están:

**Plan de Prevención y Mitigación de Impactos:** Es aplicable, pues como menciona Montero-Vega, et al. [11] ayuda a recuperar la cobertura vegetal mediante de la revegetación de áreas afectadas, como se identificaron en la zona de estudio.

**Plan de Manejo de Desechos:** Es aplicable, debido a que es un impacto positivo, es decir, la mitigación de este será a corto plazo y ayudará a la disminución de desechos provocados por las actividades comunes de la construcción. Sin embargo, en la práctica con la gestión de residuos, solo se enfocan unas pocas medidas, y el manejo de los desechos por parte de las empresas constructoras genera dificultades y plantea desafíos ambientales [1].

**Plan de Seguridad Ocupacional y Seguridad Industrial:** Este plan es aplicable, tanto en la fase de construcción como en la fase de cierre y abandono, debido a que es necesario en caso de riesgos laborales como lo menciona Galindo Ruiz and Silva Nuñez [14], es esencial para controlar posibles afectaciones a las poblaciones cercanas al área de influencia del proyecto.

**Plan de Rehabilitación de Áreas Afectadas:** Este plan es aplicable y de gran importancia, ya que va de la mano con el plan de prevención y mitigación para así recuperar las áreas intervenidas y los cauces de agua como lo menciona [11]. En relación con los cauces de agua, deberán ser entregados en condiciones ambientales similares antes del inicio de las operaciones del proyecto, dentro de este plan están las notificaciones respectivas al MAE para dar aviso del cierre y abandono del Proyecto [10].

#### 4. Conclusiones

La evaluación del impacto ambiental en todas las fases de un proyecto u obra constructiva es un proceso de gran importancia. Los resultados de este documento revelaron que los principales impactos ambientales son: la contaminación, el uso de los recursos, la destrucción del hábitat y la salud ocupacional, dando como resultado la destrucción de la vegetación, la desertificación de los suelos, la generación de residuos sean estos sólidos o líquidos y la afectación a la salud de los trabajadores. Para mitigar estos impactos, se implementaron planes de manejo ambiental acorde con sus necesidades.

Las distintas acciones del proyecto muestran 25 impactos negativos, poco significativos y no significativos, en cuanto la presencia de los impactos positivos en el componente de interés económico y humano compensa de una forma u otra la aparición de los impactos negativos. El componente ambiental que sufre la mayor parte de afectación es el recurso suelo, por los cambios irreversibles en la extracción de la cobertura vegetal. La modificación o alteración del paisaje muestra dos impactos negativos en el suelo y en las relaciones culturales, por la modificación de la calidad visual del paisaje, lo que denota que la evaluación de la calidad visual es importante en la planificación y gestión ambiental de proyectos de construcción. Se debe llevar un registro de salud y seguridad, como del manejo adecuado de los desechos, para tener un mayor control de los niveles de cumplimiento. Finalmente, se propusieron medidas en los planes de manejo ambiental hacia el entorno físico, biótico y socioeconómico;

enfocadas a un desarrollo sostenible, que puede contribuir a promover el uso racional de los recursos naturales en los proyectos de desarrollo, especialmente en el sector de la construcción.

## REFERENCIAS

- [1] A. Isaksson and H. Linderoth, "Environmental considerations in the Swedish building and construction industry: the role of costs, institutional setting, and information," *Journal of Housing and the Built Environment*, vol. 33, no. 4, pp. 615-632, 2018/12/01 2018.
- [2] UNEP. (2016, diciembre/15). *The 10YFP programme on sustainable buildings and construction*. Available: <http://www.unep.org/10yfp/Programmes/ProgrammeConsultationandCurrentStatus/Sustainablebuildingsandconstruction/tabid/106268/Default.aspx>
- [3] M. K. Dixit, J. L. Fernández-Solís, S. Lavy, and C. H. Culp, "Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review," *Energy and Buildings*, vol. 42, no. 8, pp. 1238-1247, 2010/08/01/ 2010.
- [4] M. Sandanayake, G. Zhang, and S. Setunge, "A comparative method of air emission impact assessment for building construction activities," *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 68, pp. 1-9, 2018/01/01/ 2018.
- [5] A. Enshassi, B. Kochendoerfer, and E. Rizq, "Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción," *Revista ingeniería de construcción*, vol. 29, pp. 234-254, 2014.
- [6] E. E. V. Aspiazu and L. E. C. Espinoza, "Impactos ambientales producidos por la construcción de vivienda a gran escala en la ciudad de Guayaquil," *Dominio de las Ciencias*, vol. 3, no. 3, pp. 1066-1085, 2017.
- [7] INEC, "Fascículo provincial Cotopaxi," 2010, Available: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/cotopaxi.pdf>.
- [8] Senplades, "Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida," Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, Quito - Ecuador 2017, Available: [https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL\\_0K.compressed1.pdf](https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf).
- [9] N. G. Guallo-Aguinda, L. B. Sarduy-Pereira, E. Orozco-Crespo, and K. Diéguez-Santana, "Las producciones más limpias en el sector textil manufacturero. Un caso de estudio en Tena, Napo, Ecuador," *Mikarimin. Revista Científica Multidisciplinaria*, vol. 6, pp. 201-218, 2020.
- [10] A. I. Soto-Cabrera, A. P. Panimboza-Ojeda, C. G. Ilibay-Granda, C. R. Valverde-Lara, and K. Diéguez-Santana, "Impacto ambiental de la operación del Centro de faenamiento de la ciudad de Puyo, Pastaza, Ecuador," *Prospectiva*, vol. 18, no. 1, pp. 60-68, 2020.
- [11] F. S. Montero-Vega, C. S. Molina-Cedeño, B. M. Pillco-Herrera, L. B. Sarduy-Pereira, and K. Diéguez-Santana, "Evaluación del impacto ambiental de la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales. Caso río Pindo Chico, Puyo, Pastaza, Ecuador," *Ciencia, Ambiente y Clima*, vol. 3, no. 1, 07/06 2020.
- [12] E. A. Ijigah, R. A. Jimoh, B. O. Aruleba, and A. B. Ade, "An assessment of environmental impacts of building construction projects," *Civil Environmental Research*, vol. 3, no. 1, pp. 93-105, 2013.
- [13] FAO, "Evaluación del impacto ambiental. Directrices para los proyectos de campo de la FAO," Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura, Roma, Italia 2011, Available: <http://www.fao.org/3/a-i2802s.pdf>.
- [14] J. S. Galindo Ruiz and H. D. Silva Nuñez, "Impactos ambientales producidos por el uso de maquinaria en el sector de la construcción," Trabajo de grado del programa de ingeniería civil, Facultad de ingeniería, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia, 2016.
- [15] H. Yan *et al.*, "Systematic evaluation framework and empirical study of the impacts of building construction dust on the surrounding environment," *Journal of Cleaner Production*, p. 122767, 2020/07/18/ 2020.
- [16] Z. Bulut and H. Yilmaz, "Determination of landscape beauties through visual quality assessment method: a case study for Kemaliye (Erzincan/Turkey)," *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 141, no. 1, pp. 121-129, 2008/06/01 2008.
- [17] M. I. Viloría Villegas, L. Cadavid, and G. Awad, "Metodología para evaluación de impacto ambiental de proyectos de infraestructura en Colombia," *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 28, no. 2, pp. 121-156, 06/01 2018.
- [18] Y. Yao *et al.*, "Assessing the visual quality of green landscaping in rural residential areas: the case of Changzhou, China," *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 184, no. 2, pp. 951-967, 2012/02/01 2012.
- [19] K. Diéguez-Santana, Y. Casas-Ledón, J. A. Loureiro-Salabarría, A. Pérez-Martínez, and L. E. Arteaga-Pérez, "A life cycle assessment of bread production: A Cuban case study," *Journal of Environmental Accounting and Management*, vol. 8, no. 2, pp. 125-137, 2020.
- [20] K. Diéguez-Santana, L. E. Arteaga-Pérez, Y. Casas Ledon, and I. L. Rodríguez Rico, "Análisis de ciclo de vida y caracterización ambiental en una industria alimenticia," *Revista Centro Azúcar*, vol. 40, no. 52-58, 2013.
- [21] K. Diéguez-Santana, L. B. Sarduy-Pereira, Y. Casas-Ledón, and L. E. Arteaga-Pérez, "Cleaner Production Implementation in a Cacao Paste Production Plant in Ecuadorian Amazon," *Journal of Environmental Accounting and Management*, vol. 9, no. 2, pp. 173-188, 2021.
- [22] K. Diéguez-Santana, L. B. Sarduy-Pereira, and M. Decker, "Characterization and Quantification of Municipal Solid Waste in Fátima, Ecuadorian Amazon Parish " *Journal of Environmental Treatment Techniques*, vol. 9, no. 2, pp. 392-401, 2021.
- [23] L. E. Arteaga-Pérez, C. Segura, and K. D. Santana, "Procesos de torrefacción para valorización de residuos lignocelulósicos. Análisis de posibles tecnologías de aplicación en Sudamérica," *Afinidad*, vol. 73, no. 573, pp. 60-68, 2016.

# Estrategias colaborativas de aprendizajes de estudiantes durante la COVID-19. Caso: Curso de Teoría de Control

## Collaborative student learning strategies during COVID-19. Case: Control Theory Course

Eugenio Navarro Zeballos<sup>1</sup>, Ignacio Chang<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería Electromecánica, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Eléctrica, Grupo SCIII, Universidad Tecnológica de Panamá

**Resumen** Gracias al amplio desarrollo y popularización de las redes informáticas, el conocimiento se encuentra al alcance de prácticamente de cualquier persona al instante. La educación actual continúa con métodos del siglo XIX y XX. Por esta razón, los métodos de enseñanza en la educación superior deben ser actualizados a la realidad que se vive para tratar de potenciar las capacidades del estudiante. Este documento presenta un caso de estudio donde se busca determinar cualitativamente la influencia de la utilización de métodos de aprendizaje que incentivan el trabajo colaborativo en los estudiantes. Por lo que, se le asignó a cada grupo de estudiantes la tarea de resolver un problema de aplicación sobre el curso dado, y adicional se introdujo un reto extra, en el cual se podía utilizar cualquier herramienta libre. El objetivo principal era explicar de manera didáctica cómo se resolvería el problema, con la finalidad de reforzar los conocimientos previos del curso, así como desarrollar habilidades blandas como el trabajo en equipo y la creatividad. Los resultados obtenidos sugieren que utilizar el método colaborativo estimula el interés de los estudiantes y en participar; facilita organizar su tiempo para la solución; permite coordinar con los demás miembros del grupo y ser autodidacta.

**Palabras clave** Ambiente de aprendizaje, aprendizaje colaborativo, estudio de casos, herramientas de aprendizaje y metodología.

**Abstract** Thanks to the extensive development and popularization of computer networks, knowledge is available to virtually anyone at any time, however, today's education continues with 19th and 20th century methods. For this reason, the teaching methods in higher education must be updated to the reality that exists to try to enhance the student's abilities. This document presents a case study where it seeks to qualitatively determine the influence of the use of learning methods that encourage collaborative work in students. For this, each group of students was assigned the task of solving an application problem on the given course, and an additional challenge was introduced, in which any free tool could be used. The main objective was to explain in a didactic way how the problem would be solved, in order to reinforce the previous knowledge of the course, as well as develop soft skills such as teamwork and creativity. The results obtained suggest that using the collaborative method stimulates students' interest in participating, makes it easier to organize their time for the solution, allows them to coordinate with the other members of the group and be self-taught.

**Keywords** Case studies, collaborative learning, learning environment, learning tools, methodology.

---

\* Corresponding author: ignacio.chang@utp.ac.pa

## 1. Introducción

En el sistema educativo panameño aún prevalece el método de educación tradicional desde hace varias décadas. Este método se caracteriza por la presencia del profesor en el aula para explicar el tema de la clase y desarrollar ejemplos. Los estudiantes reciben la información, quizás tomando apuntes o tomando fotografías del tablero y prepararse para una prueba sumativa y unos meses después ya no recuerdan nada del tema. Para Roger C. Schank, uno de los factores por lo que sucede esto es porque no se aprende lo que nos dicen, se aprende lo que hacemos [1].

Esto lleva a la conclusión que el sistema educativo actual está planteado como una pirámide, de arriba hacia abajo, pero es preciso cambiar este método propio del siglo XIX y XX por un modelo asociativo: “alumnos y profesores tenemos que establecer alianzas, escucharnos unos a otros” [2].

Gracias a la internet, el conocimiento ya no es exclusivo de los profesionales universitarios que tuvieron acceso a las literaturas de sus profesores, sino que todos tenemos acceso a aprender lo que nos interesa. Muchas veces los estudiantes pierden el interés en la clase porque saben que pueden buscar

lo que necesitan en internet y no están a expensas de lo que aprendieron con el profesor o no.

Estudios realizados sugieren que la utilización de técnicas o métodos de enseñanza como la gamificación [3], [4], el aprendizaje basado en juegos [5], el aprendizaje afectivo [6], el aula invertida o el aprendizaje móvil [7] llegan a incidir de manera positiva en la mayoría de los estudiantes a la hora de generarles mayor iniciativa por el desarrollo de un tema, manteniendo el interés en seguir recibiendo la información y que a la larga se ve reflejado en altos índices de aprobación en las asignaturas.

Por la situación actual de pandemia por la COVID-19, en la Educación Superior en Panamá, así como en muchos países, tuvo que hacer la transición de las clases presenciales a no presenciales [8], este cambio brinda la oportunidad perfecta para que profesores implementen algunas de las características positivas de los métodos mencionados para tratar de mantener la iniciativa en los estudiantes que muchas veces pueden verse afectados por falta de concentración en las actividades educativas o desinterés debido a que, al darse las clases en las casas y muchas veces en el propio dormitorio, el entorno no propicia la seriedad necesaria que brinda un aula de clases.

Todos estos factores inciden para que los métodos de enseñanza en la Educación Superior sean replanteados y actualizados a la realidad que vivimos, para tratar de potenciar las capacidades del estudiante, no solo del conocimiento técnico-científico, sino más integral como el desarrollo de nuevas habilidades blandas [9], desarrollando investigaciones autodidactas y trabajos colaborativos con compañeros de clases para lograr objetivos o competencias planteadas por el docente o el plan de estudio.

El desarrollo de este trabajo se presenta todo lo relacionado con la problemática a resolver en la sección dos (2), la metodología de solución, las herramientas empleadas por los estudiantes y los aprendizajes obtenidos que se plantea en la sección tres (3), las conclusiones y recomendaciones en la cuatro (4), por último, lo que se considera como trabajo futuro.

## 2. Problema por resolver

El hecho que las Instituciones de Educación Superior (IES) se hayan visto en la necesidad de aceptar a la modalidad no presencial para dar las clases virtuales por la COVID-19, las llevó a un nuevo reto ¿Cómo lograr que los estudiantes aprendan, desaprendan y reaprendan?

Esta dificultad era de esperar, porque no se puede seguir dando las clases a distancia como si fueran presenciales, no es lo mismo ni se aprende igual, porque el ambiente de aprendizaje cambia y tanto el docente como el estudiante tienen que aprender, desaprender y reaprender.

Si esto es así ¿Cómo despertar el interés en los alumnos con las condiciones actuales? A pesar de la situación actual, este cambio brinda la oportunidad perfecta para que profesores

implementen elementos o ítems de métodos educativos que se ajusten mejor a esta nueva realidad.

Por otro lado, el amplio desarrollo y popularización de las redes informáticas, como internet, ha propiciado que gran cantidad de información esté a disposición prácticamente de cualquier persona en el mundo. Esto, sin duda, ha conllevado a que se plantee en más de una ocasión la modernización de los métodos de enseñanza, tanto en escuelas y colegios, como en las IES.

La premisa principal es que el docente debe convertirse, más que en la fuente de conocimiento, en el facilitador que oriente al estudiante a alcanzar a través de las investigaciones propias de los diferentes temas que conciernen al desarrollo de una asignatura en particular las competencias requeridas para la formación de un profesional competente.

Le corresponde al docente verificar que los estudiantes hayan comprendido los temas, abordando en el aula virtual las temáticas, para ofrecer la oportunidad a que los alumnos puedan expresar sus inquietudes, ofreciendo respuestas y alternativas para que amplíen su búsqueda de soluciones con otras fuentes externas.

Nos planteamos introducir una técnica colaborativa para que los estudiantes del Curso de Teoría de Control I en la Facultad de Ingeniería Eléctrica (FIE) de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) consoliden los conocimientos adquiridos y propongan herramientas que contribuyan en el aprendizaje de otros estudiantes en cursos posteriores y adquieran más compromisos con su aprendizaje y lo compartan con aquellos que le es posible transferir información.

## 3. Técnica colaborativa

El caso de estudio se implementó en el Curso de Teoría de Control I, en un salón de cuarenta estudiantes de cuarto año en la carrera de Licenciatura en Ingeniería Electromecánica en la FIE de la UTP, Campus Víctor Levi Sasso.

Para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje, se introdujo el componente participativo y colaborativo de los estudiantes, donde ya no eran simplemente los receptores de la información, sino que debían investigar en la web, y complementar ambos conocimientos para crear una manera didáctica de aprender la asignatura por medio de diferentes herramientas informáticas y facilitarla a otros estudiantes.

Con la técnica se persigue los siguientes objetivos:

- Formular desafíos que generen el interés del estudiante en ofrecer respuestas.
- Buscar repuestas a dichos desafíos a través del trabajo grupal o en equipo, permitiendo las posibilidades de comparación y retroalimentación de conocimientos entre ellos.
- Reforzar los conceptos de aprendizajes, para su examen semestral y para su formación holística a largo plazo.
- Plasmar material didáctico que contribuya al proceso de aprendizaje de otros estudiantes.



Como método de aprendizaje en el aula, se dividió el salón de clases en ocho (8) equipos de cinco (5) personas cada uno. A cada dos equipos se le asignó un problema diferente para resolver, relacionado con casos reales o estudios de caso, donde era necesario utilizar el conocimiento aprendido a lo largo del semestre y los conocimientos adquiridos a través de la búsqueda en internet. Se incluyó un desafío adicional que consistía en desarrollar voluntariamente la manera didáctica de aprender a resolver el problema mediante alguna técnica o herramienta informática o digital que fomentara una actividad educativa interactiva sencilla.

Los problemas consistieron en la obtención de un controlador que garantizase que el sistema propuesto cumple con las especificaciones requeridas. El método a utilizar para la resolución fue libre, por lo que resultó igual de válido utilizar métodos estudiados en clase u otros con la consideración que se debían explicar los procedimientos.

Los estudiantes trabajaron las cuatro últimas semanas del curso, porque ya contaban con el conocimiento previo que requerían y para que, a su vez, pudieran prepararse para el examen semestral como un repaso.

El trabajo fue supervisado por el docente, quien daba seguimiento del proceso y verificaba los avances de los estudiantes periódicamente para garantizar la solución correcta, y el alcance de los objetivos planteados.

Es importante resaltar que el reto adicional de formular la manera didáctica de aprender a resolver un problema no era obligatorio para los estudiantes, pero el puntaje asignado al desarrollo de esta, tampoco tenía una ponderación significativa para la evaluación final del curso, pues se habían asignado tres que representaban el 15% de la nota semestral y esta tarea era una de tres asignaciones del curso. Todos los estudiantes asumieron el reto de ofrecer su aporte para los estudiantes que realizarán el curso posteriormente.

En la figura 1, se muestran las herramientas que los estudiantes escogieron para enfrentar el reto. La selección de la herramienta realizada por los estudiantes se hizo previa verificación que los estudiantes habían resuelto correctamente el problema asignado.

En las tablas 1, 2 y 3, se presentan las características de las herramientas utilizadas por los estudiantes para lograr hacerlas interactivas, es decir, Matlab [10], Power Point y Kahoot [11].

A los estudiantes se les suministró un conjunto de herramientas a su consideración y fue importante indicar que se les ofreció la opción de elegir la que ellos consideraban más apropiadas para desarrollar su trabajo, como efectivamente hicieron algunos equipos.

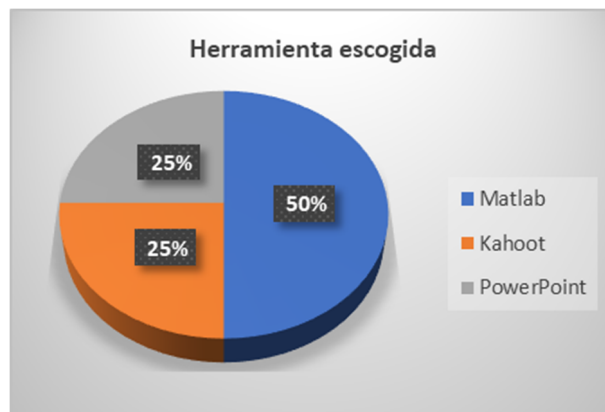


Figura 1. Herramientas para la interactividad

Se observa solo tres programas seleccionados para realizar el trabajo, porque se requería su dominio para aprender el manejo de nuevas herramientas que no era posible en el tiempo disponible de desarrollo.

Gracias a que el trabajo era en equipo, fue posible la realimentación entre compañeros; se verificaron los resultados; se discutió el método a utilizar para el diseño; se consensuó con el docente la mejor manera de presentar el problema a los demás estudiantes.

Tabla 1. Herramienta Matlab

Aplicación o herramienta	Características principales
Matlab	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lenguaje de alto nivel para cálculos científicos y de ingeniería.</li> <li>• Entorno de escritorio optimizado para la exploración iterativa, el diseño y la solución de problemas.</li> <li>• Gráficas para visualizar datos y herramientas para crear diagramas personalizados.</li> <li>• Aplicaciones para ajustar curvas, clasificar datos, analizar señales, ajustar sistemas de control y muchas otras tareas.</li> <li>• Toolboxes complementarias para una amplia variedad de aplicaciones científicas y de ingeniería.</li> <li>• Herramientas para crear aplicaciones con interfaces de usuario personalizadas.</li> <li>• Interfaces para C/C++, Java®, .NET, Python, SQL, Hadoop y Microsoft® Excel®.</li> <li>• Opciones de implementación libres de derechos para compartir programas de MATLAB con los usuarios finales.</li> </ul>



En general, cada equipo de trabajo se decidió por la creación de una especie de juego diferente, donde los participantes pudieran escoger la mejor respuesta y obtener una puntuación o estímulo. Se le diseñó un mecanismo de ayuda, y de retroalimentación para que el estudiante pudiera conocer la respuesta correcta en caso de cometer algún error.

A diferencia de otras ocasiones, donde era posible trabajar las asignaciones grupales reunidos de forma presencial para emitir de manera inmediata los aportes, por tratarse de clases a distancia, las aportaciones se hacían a manera de realimentaciones mutuas por medio de la utilización de plataformas de videollamadas y de aplicaciones de mensajería instantáneas.

Tabla 2. Herramienta Power Point

Aplicación o herramienta	Características principales
PowerPoint	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite variar el texto en tamaño, color, fuente, diseño y otros.</li> <li>• Se pueden insertar imágenes, videos, audios, formas, entre otras.</li> <li>• Se puede trabajar con las Macros de Visual Basic para Aplicaciones para programar la presentación y volverla interactiva.</li> <li>• Se pueden añadir hipervínculos hacia otra diapositiva, otro archivo o a direcciones web.</li> <li>• Posee herramientas de animación para cada parte de la diapositiva.</li> <li>• Permite realizar gráficas y tablas.</li> </ul>

Por los resultados obtenidos, como hubo pocos desaprobados, la percepción del profesor es que la implementación de este reto logró consolidar y fortalecer los conocimientos adquiridos a lo largo del semestre.

Esto es así, porque era necesario la adición del diseño de un controlador para asegurar el correcto funcionamiento del sistema dado. Para este estudio las condiciones requeridas eran imprescindible la base dada durante el semestre o simplemente repararla.

Un aspecto importante que evidencia las estrategias para cumplir con la asignación por parte de los estudiantes es que, para compaginar la realización de este proyecto con el resto de las clases en el semestre, se le asignaron roles dentro del equipo, mientras unos eran los encargados de la resolución del problema con la herramienta seleccionada, para obtener las gráficas y demás resultados, otros se encargaban de la creación del juego tanto en la parte estética como funcional.

Todos trabajaron juntos, pero en actividades diferentes para lograr el objetivo común de presentar el producto final para la fecha indicada por el profesor. En otras palabras, acondicionaron su ambiente de aprendizaje [12].

Obsérvese que las tres tablas de las herramientas escogidas por los estudiantes fueron fácilmente utilizables por su sencillez, porque las dominaban, por la facilidad de agregarles animación y de diseñar.

Tabla 3. Herramienta Kahoot

Aplicación o herramienta	Características principales
Kahoot	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es flexible: Se ajusta a cualquier temática de las diferentes asignaturas del proceso de enseñanza aprendizaje, que funciona como una herramienta de evaluación.</li> <li>• Motiva el aprendizaje: Despierta el interés del educando, porque se generan procesos de interacción activos, donde reflexionan para acertar en la respuesta correcta.</li> <li>• Es de uso sencillo: Es una de las plataformas educativas que no son complejas al momento de utilizar.</li> <li>• Es global: Permite conectarnos a las diferentes temáticas para poder jugar, hasta encontrar distintos Kahoots en los diferentes idiomas.</li> <li>• Es de Software gratuito: Es un servicio web que ofrece acceso con la parte gratuita que facilita para crear y hacer uso de los cuestionarios, tiene su parte Premium, con costo.</li> </ul>

Quedan muchas interrogantes en el camino:

¿Podrá ser probada esta técnica con un nuevo grupo? ¿Se podrán generar estadísticas en el tiempo? ¿Será considerado este aporte estudiantil por la facultad para introducirlo en los cursos una vez probada la técnica? Estas preguntas y otras que salgan requieren de la continuidad de la investigación.

Aunque quedaron preguntas por responder, con el método utilizado se lograron diferentes objetivos, tales como:

- Reforzar los conocimientos previos, que implicó la búsqueda adicional de ejemplos y métodos por parte de los estudiantes.
- Desarrollar habilidades blandas como el trabajo en equipo, práctica de redacción de informes y creatividad. Esto fue así porque debieron sustentar sus propuestas.

- Manejar conflictos, porque el equipo de trabajo se convirtió en una fuente de aprendizaje para el manejo de conflictos.
- Despertar el interés de los estudiantes en mejorar las técnicas y métodos de aprendizaje por ellos.
- Proponer herramientas de aprendizaje mediante la solución de problemas lo más cercano a la realidad.

#### 4. Conclusiones y recomendaciones

El caso de estudio desarrolla acciones para el beneficio de los estudiantes, brindándoles facilidades para adquirir experiencias, profundizar los conceptos y reforzar los conocimientos.

El método utilizado, el aprendizaje colaborativo y con base a resolver problemas, estimula el interés de los estudiantes en participar, principalmente porque ponen en práctica lo aprendido.

Con el método utilizado se logra que el estudiante domine mejor la técnica de resolución de problemas, pueda demostrar detalladamente los procedimientos utilizados para resolver la problemática que se les asignó, y a la vez le facilita un modelo de trabajo a otros estudiantes que pueden aprender siguiendo estos procedimientos.

El método le facilita al estudiante organizar su tiempo para la solución del problema, coordinar con los demás miembros del grupo y ser autodidacta.

Formamos parte del estudio de caso, por este motivo recomiendo el uso de nuevas técnicas didácticas que estimulen al estudiante a poner en práctica sus conocimientos previos, a utilizar los recursos que nos ofrece la Web y proponernos un objetivo como: Propiciar material didáctico a los estudiantes que están en otros niveles.

Recomendamos que en el período post COVID-19, la cultura académica permita que los ambientes de aprendizaje faciliten que las tecnologías educativas sean herramientas facilitadoras del aprendizaje, donde el docente sea guía del aprendizaje y un gestor de los tiempos que compartirá, ya sea en las modalidades presenciales, a distancia o semipresencial.

#### 5. Trabajo futuro

Uno de los aspectos importantes en este tipo de trabajo es la verificación de las estrategias de aprendizaje diseñadas por estudiantes para otros grupos de clases que tengan los resultados deseados para darle continuidad.

Por ello, planteamos para el futuro:

- Realizar algún tipo de comparación con otro grupo que no sea presencial y que no emplee este método, porque fue la primera vez que se impartió el curso en esta modalidad.
- Que el profesor implemente el método en el siguiente año académico para que se generen otros grupos del curso.

- Que otro grupo no presencial realice algún tipo de evaluación de los problemas diseñados por los nuevos estudiantes.
- Verificar con otro grupo no presencial si los trabajos hechos por los estudiantes del curso de Teoría de Control anterior son lo suficientemente motivadores para ellos.
- Sería interesante introducir nuevas técnicas y sean evaluadas por los estudiantes.

#### REFERENCIAS

- [1] M. López Blanco, "Los colegios no deberían existir," *Kindsein Magazine*, 2007. [Online]. Available: <http://www.kindsein.com/es/21/1/485/>. [Accessed: 01-Nov-2020].
- [2] R. Calleja, "Un nuevo modelo educativo para el siglo XXI," *Comunidad Esc. periódico Digit. Inf. Educ.*, vol. 880, pp. 65–134, 2010.
- [3] M. C. Sierra Daza and M. R. Fernández-Sánchez, "Gamificando el aula universitaria. Análisis de una experiencia de Escape Room en educación superior," *Rev. Estud. y Exp. en Educ.*, vol. 18, no. 36, pp. 105–115, Apr. 2019.
- [4] I. A. Hernández-Horta, A. Monroy-Reza, and M. Jiménez-García, "Aprendizaje mediante Juegos basados en Principios de Gamificación en Instituciones de Educación Superior," *Form. Univ.*, vol. 11, no. 5, p. 31, 2018.
- [5] J. L. Gómez Contreras, "Gamificación en contextos educativos: análisis de aplicación en un programa de contaduría pública a distancia," *Rev. Univ. y Empres.*, vol. 22, no. 38, 2020.
- [6] D. S. Melo-Solarte and P. A. Díaz, "El Aprendizaje Afectivo y la Gamificación en Escenarios de Educación Virtual," *Inf. Tecnol.*, vol. 29, no. 3, Jun. 2018.
- [7] E. Fernández and A. Arcos, "Objetos de aprendizaje, aula invertida, gamificación y m-learning para la enseñanza de medicina en la Universidad UNIANDES," *Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Sede Ambato. Repositorio PUCESA*. 2017.
- [8] N. Archer Svenson and G. De Gracia, "Educación Superior Y Covid-19 En La República De Panamá," *ESAL - Rev. Educ. Super. en América Lat.*, pp. 15–19, 2020.
- [9] M. Espinoza M. and D. del P. Gallegos B., "Habilidades blandas y su importancia de aplicación en el entorno laboral: perspectiva de alumnos . de una universidad privada en Ecuador," 2020.
- [10] MATLAB & Simulink, "Descripción del producto MATLAB - MATLAB & Simulink - MathWorks América Latina." 2020.
- [11] P. S. Yugcha Lincango, "Kahoot en el proceso de enseñanza aprendizaje en la asignatura de Biología en los Primeros de Bachillerato General Unificado de la Unidad Educativa Municipal del Milenio 'Bicentenario', período 2019-2020," *Universidad Central del Ecuador, Quito*, 2020.
- [12] Pastor, A. y Chiappe, A. "Papel de los Mundos Metaversos como alternativa de generación de condiciones clave en la construcción de Ambientes Personales de Aprendizaje," *Universidad de la Sabana*. 2014. Colombia.

# Propuesta de materiales reciclables para la fabricación de placas vehiculares en la República de Panamá

## Proposal of recyclable materials for the manufacture of license plates in the Republic of Panama

María Serrano<sup>1</sup>, Alexander Jaén<sup>1</sup>, Nacari Marín<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería Electromecánica, Centro Regional de Azuero, Universidad Tecnológica de Panamá, <sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Mecánica, Centro Regional de Azuero, Universidad Tecnológica de Panamá.

**Resumen** Con base al último registro realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) en el año 2018, se registraron 1 847 547 vehículos, los cuales deben tener sus placas en regla para poder circular libremente. En Panamá, la renovación de las placas vehiculares es realizada cada año. Anteriormente, no se tenía un control absoluto sobre las placas de años pasados, con una cantidad exorbitante de aluminio desperdiciado por año. Se le suma la producción de basura con un aproximado de 2.00 toneladas diarias, que en conjunto aumenta la contaminación ambiental. El objetivo principal de este artículo es presentar una propuesta para el aprovechamiento de materiales reciclables en la fabricación de placas vehiculares en la República de Panamá. En este documento se evalúan las propiedades mecánicas de dos materiales: aluminio reciclado y rPET, para llegar a la conclusión que, con la implementación de distintos procesos para su adecuación en láminas, pueden ser fácilmente utilizables para el proceso, reduciendo así la cantidad de desechos que se posee.

**Palabras clave** Aluminio, ambiente, contaminación, PET, placas, reciclaje, vehículos.

**Abstract** Based on the latest registration carried out by the National Institute of Statistics and Census (INEC) in 2018, 1,847,547 vehicles were registered, which must have their license plates in order to be able to circulate freely. In Panama, the renewal of vehicle plates is carried out every year, however, there is no absolute control over the plates of previous years, thus having an exorbitant amount of aluminum wasted per year. To this is added the production of garbage with an approximate of 2.00 tons per day, which together increases environmental pollution. The main objective of this article is to present a proposal for the use of recyclable materials in the manufacture of license plates in the Republic of Panama. In this document, the mechanical properties of two materials are evaluated: recycled aluminum and rPET, reaching the conclusion that with the implementation of different processes for their adaptation in sheets, they can be easily usable for the process, thus reducing the amount of waste that is has.

**Keywords** Aluminum, environment, pollution, PET, plates, recycling, vehicles.

\* Corresponding author: nacari.marin@utp.ac.pa

### 1. Introducción

Se calcula que en Panamá son producidas aproximadamente 2.00 toneladas de basura al día, de las que un 60% se encuentra constituida por plásticos, latas, entre otros materiales o elementos con potencial para ser reciclados.

La contaminación, está afectando no solo a Panamá, sino a todas las partes del mundo. Hasta el 2018, existían más de un millón de automóviles registrados en la Autoridad de Tránsito y Transporte Terrestre (ATTT) de Panamá. Esta cantidad se atribuye al crecimiento de la población y a las deficiencias en el transporte público [1].

Cada automóvil debe contar con una placa de registro vehicular, para poder circular por las vías terrestres del país y se confeccionan en la Escuela Vocacional de Chapala, Panamá.

Se ha comprobado que reciclar tiene un sin número de beneficios, como: La reducción de la contaminación por desechos o desperdicios y la conservación de la vida del medioambiente. Con base en esta premisa, se propone un proyecto que busca concientizar a la población sobre el tema de reutilización de materiales con potencial para ser reciclados, en la confección de las placas vehiculares.

Actualmente, se considera el estudio del reciclaje en las placas vehiculares, que deben ser actualizadas cada año, lo que representa un gasto, tanto de factor monetario como en la materia prima que queda, contribuyendo al incremento de los desechos municipales y en la contaminación ambiental.

El objetivo de este estudio es realizar una revisión del estado del arte que permita plantear las ventajas y desventajas

de la utilización de materiales reciclados, en la fabricación de placas vehiculares.

## 2. Antecedentes

En base a los datos más actualizados del Instituto Nacional de Estadística y Censo en Panamá (INEC), en el año 2018, se registraron 953 261 vehículos, los que incluyen automóviles, bicicletas y motocicletas y 894 286 autos comerciales [2]. Aunque es una cantidad bastante elevada, existen indicios en la disminución de la compra de vehículos cero kilómetros en un 15% durante los tres últimos años [3]; la compra de vehículos de segunda mano ha ido en aumento.

Todos estos vehículos y los que se adquirieron en el periodo 2019-2020, requieren de la actualización de su placa cada año, lo que conlleva para el estado un gasto en materia prima y en su confección.

Los encargados de confeccionar las placas son los miembros de la Escuela Vocacional de Chapala, ubicada en Arraiján quienes cobran 5.00 balboas por cada placa realizada. En el año 2019, 3.5 millones de balboas fueron destinados a la fabricación de placas, solo en el Municipio de Panamá [4] [5].

Una forma útil de reducir los costos y ayudar al ambiente es considerar la utilización de materiales reciclables, en este caso, para la confección de placas vehiculares.

La figura 1, muestra la placa vehicular correspondiente al año 2020, a modo de ilustración.



Figura 1. Placas vehiculares de Panamá.

Fuente: Telemetro.com [6].

El pasado 7 de octubre del 2020, se aprobó en tercer debate, el Proyecto de Ley 434, el cual establece el uso de la placa vehicular por un periodo de 5 años. Con este proyecto se estima que se ayude a mitigar el daño ecológico causado por el aluminio calibre 24 que se utiliza en el proceso de fabricación de las placas [7]. Esta iniciativa de ley representa sin duda alguna, una disminución en la contaminación y si se evalúa la utilización de materiales reciclables los beneficios serían aún mayores.

## 3. Metodología

En esta sección se detallan las distintas consideraciones tomadas en cuenta para el desarrollo de esta revisión literaria.

### 3.1 Planteamiento de la problemática

Según los datos de [8] solo el 5% de los desechos que se vierten en Panamá son reciclados, lo que lleva a la conclusión que la población del país no sabe reciclar, que puede ser una de las mayores limitantes de la propuesta que se presentará en este estudio. No obstante, se basa en la investigación de materiales reciclados que pueden ser sometidos a procesos térmicos y mecánicos y que aun así sigan manteniendo sus propiedades.

Es importante destacar que las placas vehiculares cuentan con especificaciones de alta seguridad y cumplen ciertas normas que deben ser consideradas. Algunas de estas normas se detallan en la figura 2 [9]:

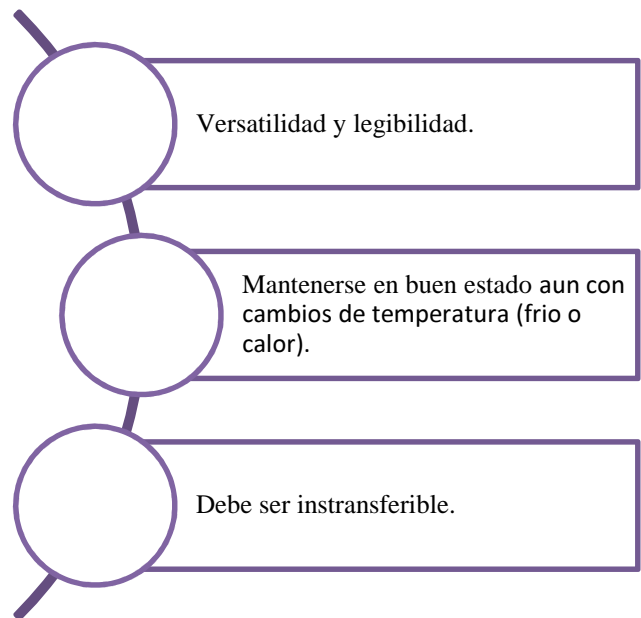


Figura 2. Especificaciones que deben cumplir las placas vehiculares en la República de Panamá.

Las distintas especificaciones que se muestran en la figura 2 son la base para la obtención de los materiales que pueden ser utilizables para tales fines.

A continuación, se presenta información sobre los distintos materiales que son propuestos como una alternativa al uso de aluminio calibre 24 en las placas vehiculares seguido de su proceso de reciclaje y finalmente la propuesta de utilización.

### 3.2 Evaluación de materiales reciclables

Existen diversos tipos de materiales que pueden ser reciclados, pero no todos pueden ser utilizados para realizar las placas vehiculares. A continuación, presentamos una lista de



los materiales más resistentes y óptimos para tal fin, identificados a través de la revisión bibliográfica consultada.

### 3.2.1 Aluminio

El aluminio es considerado parte de los “metales ligeros”, caracterizados por tener una baja densidad y por sustituir a materiales como el acero en estructuras y componentes, debido a su bajo peso [10].

Ahora bien, las latas de aluminio tardan aproximadamente diez años en degradarse y, su utilización en forma masiva provoca problemas de diversa índole [11]. Según los autores de [12] solo el 42 % de los envases de lata provenientes de escuelas y domicilios son reciclados.

En la actualidad, el aluminio es utilizado para la elaboración de las placas vehiculares, pues es un material resistente y anticorrosivo, cualidades necesarias, que continuamente están expuestas a cambios bruscos de temperatura y humedad.

El aluminio reciclado es uno de los materiales más utilizados. En [13] se presentan propuestas de reciclado de latas de aluminio y se concluye considerando que el aluminio reciclado mantiene propiedades mecánicas similares al aluminio virgen.

Por otra parte, el escrito presentado por [14], se revela que el 95% del aluminio recuperado únicamente en latas de bebidas es utilizado para la confección de láminas de aluminio, de las cuales resultan nuevas latas, con un proceso que es realizado fuera de país.

### 3.2.2 PET

Los plásticos se diferencian de otros materiales por su relación entre resistencia y calidad, que poseen cualidades para un buen aislamiento térmico y eléctrico [15].

Por su parte, el polietileno de tereftalato (PET) es considerado un polímero de condensación termoplástico, utilizado en la producción de envases de bebidas como refrescos y fibras textiles. Está constituido por petróleo crudo, gas y aire. [15]

Las bolsas de plástico tardan aproximadamente 150 años en degradarse completamente, mientras que las botellas, platos y vasos de plástico tardan 450 años y 50 años respectivamente [16].

Desde el 20 de julio del año 2019, se implementó la prohibición del uso de bolsas de plástico para el transporte de productos y mercancías; aún se siguen fabricando innumerables productos a base de este material.

El tereftalato de polietileno o PET, es otra propuesta a considerar por la gran demanda que existe sobre las botellas hechas a base de PET, poniendo su reciclaje como un punto a favor. En la actualidad se ha buscado el reciclaje de este material y se ha visto en aplicaciones como material para impresoras 3D, confección de envases, uso en zapatillas, como refuerzo en construcciones, entre otros [17].

Se ha comprobado que el rPET (tereftalato de polietileno reciclado) se puede reactivar para conseguir las mismas funcionalidades del PET virgen, mejorando así algunas propiedades como: Resistencia al impacto, brillo, color, entre otras [18].

En [19] se presentan los procesos que se requieren para el reciclaje del PET, los que permiten adecuarlo para su utilización. Y se propone un sistema de reciclaje de este material, como punto clave para reducir la cantidad de desechos existente.

Luego se proponer los materiales anteriores, se expondrá el proceso de reciclaje para cada uno, incluyendo los tratamientos que debe recibir para convertirse en una materia prima utilizable.

### 3.3 Proceso de reciclaje del aluminio

El aluminio reciclado mantiene las propiedades iniciales, variando en aproximadamente un 5%. En [10] se indica que el material puede reciclarse varias veces, pero se logra mediante una serie de procesos que permitan trabajarlo de manera eficiente, para obtener las propiedades requeridas. Un ejemplo de cómo se da este proceso es mediante el reciclaje de latas de refrescos, cuyo desarrollo se muestra a continuación [10]:

- Recolectar los desechos metálicos y clasificarlos, pues varía dependiendo de su aplicación.
- Posterior a su separación, este pasa a un proceso de rectificación donde se evalúa nuevamente el material para que no se encuentren impurezas o materiales no deseables como por ejemplo otros metales.
- Ulteriormente, se compactan las latas someténdolas a presión para aplastarlas creando pacas.
- En este punto se descompactan y se introducen al horno para fundirse y luego crear bloques de aluminio.
- En este punto, en el caso de las latas, se utiliza el proceso de laminado donde se disminuye el diámetro al tamaño requerido. El laminado permite disminuir el tamaño de los bloques y a su vez se le da un tratamiento en frío, para mejorar la resistencia de los elementos.

Basados en este caso, la forma de replicar este sistema de reciclado, permitiría la manufactura de la materia prima y a su vez la reducción de las latas como desechos. Los autores de [9] detallan que una forma de mejorar las propiedades del aluminio reciclado es añadiendo un pequeño porcentaje de silicio en el proceso de fundición para generar propiedades de moldeo, soldabilidad y resistencia a la corrosión [20].

### 3.4 Proceso de reciclaje del PET

En [21] se describen dos métodos para realizar el proceso de reciclaje del PET, los que dependen de la utilidad que vaya a recibir el material después de ser reciclado. De esta forma, se cuenta con una opción de proceso de reciclaje, en donde el material se transforma sin necesidad que sea limpiado y otro



en el cual el material es pasado por un proceso de limpieza en donde se eliminan bacterias y factores que no sean propios del material.

Seguidamente, detallamos los procesos presentados en [21]:

### 3.4.1 Reciclaje químico

Este proceso se basa en elevar la temperatura del polímero hasta llegar a separar las partículas. Este polímero previamente reciclado es sometido a un proceso de descomposición hasta que sus partículas sean transformadas en monómeros (molécula simple) y así puedan ser transformados en nuevos polímeros que son utilizados en industrias.

### 3.4.2 Reciclaje mecánico

Es el método más común, el cual se basa en triturar el plástico en pequeños trozos para posteriormente colocarlo en una máquina extrusora, que le dará una mejora a sus propiedades y a la vez lo moldeará según la forma deseada, en este caso una lámina lo suficientemente resistente.

Cabe destacar, que este proceso es realizado en los polímeros que se utilizan para envasar productos de consumo y posee ciertas condiciones que deben cumplirse, entre ellas:

- Los plásticos utilizados deben ser homogéneos, es decir, que deben pasar por un proceso de clasificación previo a la trituración.
- No deben contener ninguna partícula externa al material base, ya que podría dañar la extrusora.

En [15] se incluye, en la clasificación sobre los tipos de reciclaje para el PET, el reciclaje energético. Este reciclaje es utilizado para producir energía calorífica.

El proceso que conlleva recolectar el plástico para su adecuación será la clave para poder llegar a utilizarlo de una manera que beneficie al medio ambiente.

## 4. Propuesta de fabricación de láminas para utilización en placas vehiculares

Una vez analizados los procesos para el reciclaje de ambos materiales se procederá a mostrar la propuesta desarrollada para el proceso de fabricación de las láminas.

### 4.1 Aluminio

La tabla 1, muestra el proceso que se propone para la realización de las láminas de aluminio reciclado basado en un desarrollo mecánico.

**Tabla 1.** Proceso propuesto para la fabricación de láminas para la utilización en placas vehiculares

Nombre del proceso	Descripción del proceso
Recolección	El proceso de reciclaje de materiales comienza con la recolección de latas utilizadas en buen estado y limpias, que garantizará el cumplimiento de los objetivos.
Clasificación	Las latas deben ser clasificadas verificando que no existan residuos de otros elementos en ellas.
Compactación	El proceso de compactación consiste en la formación de grandes bloques para obtener un mejor manejo.
Fundición: Formación de bloques	El proceso de fundición consiste en llenar un molde con la cantidad de aluminio fundido requerido con la finalidad de extraer, una vez el líquido haya solidificado, una pieza con la medida y forma del molde utilizado [22]. El autor de [23] estudia mezclas de modelo óptimas para fundición de aluminio considerando distintos parámetros.
Laminación de los bloques	La laminación consiste en la producción de una deformación permanente en el material, aprovechando su ductilidad [24]. Una vez que se haya realizado la formación de bloques, estos pasarán por un proceso de laminado en donde se reducirá su espesor y a su vez se mejorarán sus propiedades mecánicas, entregándose la materia prima para el proceso de fabricación de las placas vehiculares.
Creación de placas vehiculares	

Inmediatamente de realizar todo el proceso mostrado en la tabla 1, se debe disponer de láminas con el mismo espesor y proporción de las utilizadas para la fabricación de las placas vehiculares.

#### 4.2 PET

La figura 3, detalla el diagrama de flujo del proceso propuesto para la realización de láminas a base de tereftalato de polietileno reciclado [25].

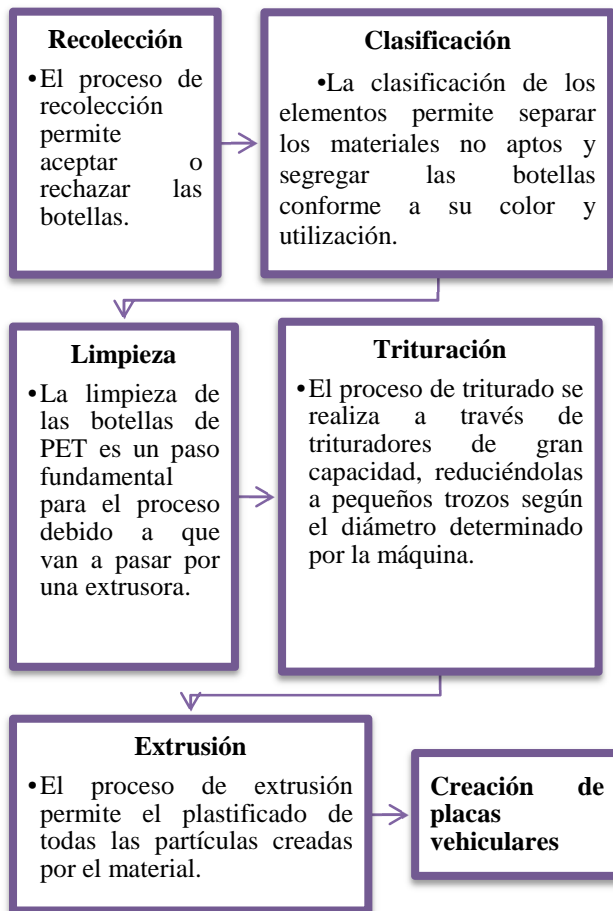


Figura 3. Diagrama de flujo de la propuesta de fabricación de láminas a base de PET.

A diferencia del proceso planteado para el aluminio (ver tabla 1) la figura 3, muestra diferentes pasos que deben seguirse, como: El proceso de limpieza puede realizarse antes o después de la trituración de las botellas; un punto importante a tratar cuando consideramos la utilización de botellas de plástico recicladas es la coloración debido a que la mayoría de las botellas de PET son transparentes. Este proceso se realiza junto con la extrusión y se logra con la utilización de distintos pigmentos y master o colorantes, los cuales son seleccionados

dependiendo del tipo de características necesarias en el producto final [25].

### 5. Trabajos futuros

A futuro se plantea la realización de un prototipo de las placas vehiculares, con la utilización de los materiales estudiados en este artículo, aplicando los procesos de reciclaje existentes y exponiéndolas a las condiciones sujetas para su transformación a láminas. De igual manera, este prototipo tendrá características distintas, así como las referidas en este documento con respecto al diseño de las placas vehiculares que no puede ser transferible.

Pretendemos que el material reciclado sea proveniente de los hogares y comercios panameños; para lograrlo debemos concientizar a la población sobre el correcto uso que debemos darles a los desechos.

### 6. Conclusiones

La contaminación va en aumento en todo el mundo y Panamá, no es la excepción. Para poder disminuirla debemos buscar alternativas que contemplen la reutilización de los desechos. A continuación, presentamos las conclusiones obtenidas con el desarrollo del estudio:

- Los materiales como el PET y el aluminio proveniente de las botellas y latas de bebidas fueron las opciones estudiadas que poseen una gran demanda en el mercado, con mayor materia prima.
- El impacto que puede tener la elaboración de placas vehiculares a base de materiales reciclables deberá ser favorable en la reducción de desechos y por ende en la reducción de la contaminación.
- Con la cantidad de vehículos en circulación por el país actualmente, como una de las ventajas de esta propuesta es la minimización los gastos en láminas de aluminio de primera mano utilizadas para la confección de las placas vehiculares, que por el momento deben ser modificadas cada año.
- De acuerdo a los estudios citados en este artículo, se revela que tanto el aluminio, como el PET mantienen sus propiedades mecánicas, aún después de ser reciclados.
- Para poder obtener resultados favorables, se deben seguir correctamente los procesos para el reciclaje de ambos materiales debido a que esto garantizará que sus propiedades perduren.

### REFERENCIAS

[1] Redacción Digital La Estrella, «Incorporarán letras a las placas vehiculares,» La Estrella de Panamá, Panamá, 2011.  
 [2] Instituto Nacional de Estadística y Censo - Panamá, 17 Octubre 2020. [En línea]. Available:

- <https://www.inec.gob.pa/archivos/P0705547520200113125921Cuadro%201.pdf>.
- [3] I. Gordón, «Sector automotriz, con caída del 57% en el primer semestre intentará encender motores,» *La estrella de Panamá*, 16 Agosto 2020.
- [4] G. Pineda, «Ejecutivo realizó compra directa para aluminio de las placas de enero 2020,» *Mi Diario*, Panamá, 2020.
- [5] J. Simmons, «Más de dos mil jóvenes en riesgo social ha graduado la Escuela Vocacional de Chapala,» Editora Panamá América S.A, Panamá, 2019.
- [6] N. González, «Alcaldía de Panamá ofrece servicio de entrega de placas a domicilio,» Panamá, 2020.
- [7] G. Aparicio, «Aprueban en tercer debate proyecto de ley que dará vigencia de cinco años a la placa vehicular,» *La Estrella de Panamá*, Panamá, 2020.
- [8] J. Torrijos Legazpi, «¿Es el reciclaje la solución a todo el problema ambiental?,» *Panamá América*, Panamá, 2019.
- [9] Autoridad de Transito y Transporte Terrestre de Panamá, «Vehículos deben llevar la placa visible y en buen estado,» 8 Marzo 2016. [En línea]. Available: <http://www.transito.gob.pa/noticia/vehiculos-deben-llevar-la-placa-visible-y-en-buen-estado>. [Último acceso: 12 Marzo 2021].
- [10] F. Millán Delgado, D. P. Sánchez García y J. J. Olaya Flórez, «Reciclaje de aluminio: oportunidades de desarrollo en Bogotá (Colombia),» *Gestión y Ambiente*, vol. 18, n° 2, pp. 135-152, 2015.
- [11] División de industria, Ciencias para metalmeccánica, Servicio nacional de operaciones SENA.
- [12] C. Martínez, L. Marín y X. Socorro, «Contaminación de basura,» Juigalpa, 2017.
- [13] F. Millán Delgado, Fabricación y caracterización de la aleación de aluminio reciclado con adición de silicio particulado, Bogotá, 2016.
- [14] A. Samaniego, «Panamá tiene mucha basura, pero vende pocos desechos,» *La Estrella de Panamá*, Panamá, 2020.
- [15] J. J. Bolaños, «Reciclado de Plástico PET,» Diciembre 2019. [En línea]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/250640335.pdf>. [Último acceso: 18 Octubre 2020].
- [16] Aquae Fundación, «¿Cuál es el tiempo de degradación de los residuos inorgánicos?,» [En línea]. Available: <https://www.fundacionaquae.org/cuanto-tiempo-tardan-degradarse-desechos/>. [Último acceso: 14 Marzo 2021].
- [17] M. D, «Tecnología de los Plásticos,» 30 Mayo 2011. [En línea]. Available: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/pet.html#:~:text=Debido%20a%20su%20resistencia%2C%20el,para%20inturas%20y%20cepillos%20industriales..> [Último acceso: 14 Marzo 2021].
- [18] A. Valera, F. Juanes, J. Míguez y M. González, «Aleaciones de polipropileno (pp) y polietilentereftalato (pet) reciclados y estudios de sus propiedades,» *Anales de mecánica de la fractura*, vol. II, n° 25, pp. 748-752, 2008.
- [19] R. Rivera Távara, *Propuesta de reciclaje mecánico de plásticos en la ciudad de Piura*, Piura, 2004. -
- [20] J. M. Bayo, «Propiedades de la Aleación Al-Si: Resistencia y Expansión Térmica,» 29 Julio 2009. [En línea]. Available: <https://ingenieriademateriales.wordpress.com/2009/07/29/propiedades-de-la-aleacion-al-si-rsistencia-y-expansion-termica/>. [Último acceso: 14 Marzo 2021].
- [21] C. Vargas y J. Cabezas, «Automatización de un proceso mecánico de reciclaje de bajo,» 2019. [En línea]. Available: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23500/1/Trabajo%20de%20Grado%20%28Botellas%20PET%29.pdf>. [Último acceso: 18 Octubre 2020].
- [22] Recam Láser, «¿Qué es la fundición de aluminio?,» [En línea]. Available: <https://recamlaser.com/es/que-es-la-fundicion-de-aluminio/>. [Último acceso: 14 Marzo 2021].
- [23] F. Revelo, «Selección de la mezcla de moldeo óptima para fundición de aluminio con el uso de modelos gasificables,» Quito, 2011.
- [24] J. Enríquez, E. Tremps, S. De Elío, Fernández y Daniel, «Laminación,» Madrid, 2010.
- [25] La red de reciclados de plástico, «El proceso de reciclaje de plástico» [En línea]. Available: <http://www.recicladoslared.es/proceso-de-reciclaje-de-plasticos/>. [Último acceso: 15 Marzo 2021].

# Propuesta de proceso para la fabricación de probetas a base de caucho reciclado granulado

## Process proposal for the manufacture of test tubes based on granulated recycled rubber

Jorge Fadul<sup>1</sup>, Ana Bernal<sup>2</sup>, Javier Batista<sup>1</sup>, Nacarí Marín<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Licenciatura en Ingeniería Electromecánica, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Panamá, Sede Azuero

<sup>2</sup> Licenciatura en Ingeniería Aeronáutica, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Panamá, Sede Azuero

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Panamá, Sede Azuero

**Resumen** El caucho es un material utilizado en diferentes aplicaciones debido a sus propiedades mecánicas, particularmente, las elásticas. Los niveles de contaminación a causa del elastómero son altos y van en aumento, de un 10% a un 28% durante la última década. La elaboración de productos a base de caucho reciclado representa una alternativa a la reducción de esta contaminación. Previo a la evaluación del potencial de reutilización del nuevo material a base de caucho, se requiere de la definición de probetas con formas y dimensiones específicas, basadas en normas estandarizadas. En este documento se presenta una propuesta de proceso para la elaboración de probetas cilíndricas y en forma de placas, a base de caucho reciclado granulado CRG y 7 aglomerantes comerciales seleccionados. Como resultado de esta investigación, las probetas obtenidas con sellador elastomérico de poliuretano y con adhesivo de poliuretano mantuvieron la forma al retirar la compresión y el molde. En un trabajo posterior, estas probetas serán sometidas a pruebas mecánicas que permitan determinar las propiedades mecánicas correspondientes.

**Palabras clave** Aglomerantes, caucho, propiedades químicas, propiedades térmicas, reciclaje.

**Abstract** Rubber is a material used in different applications due to its mechanical properties, particularly elastic ones. Pollution levels from this elastomer are high and, on the rise, from 10% to 28% over the last decade. The production of products based on recycled rubber represents an alternative to reducing such pollution. Prior to evaluating the reuse potential of the new rubber-based material, it is required to define specimens with specific shapes and dimensions, based on standardized norms. This document presents a process proposal for the elaboration of cylindrical and plate-shaped specimens, based on CRG granulated recycled rubber and 7 selected commercial binders. As a result of this investigation, the specimens obtained with polyurethane elastomeric sealant and polyurethane adhesive maintained their shape when the compression and the mould were removed. In a subsequent work, these specimens will be subjected to mechanical tests to determine the corresponding mechanical properties.

**Keywords** Binders, rubber, chemical properties, thermal properties, recycling.

\* Corresponding author: nacari.marin@utp.ac.pa

### 1. Introducción

El dominio y la utilización de los materiales elastómeros, conocidos como hule o caucho, ha sido objeto de disputa e interés desde hace mucho tiempo, inclusive en la Segunda Guerra Mundial cuando este recurso tuvo implicaciones en el movimiento de fuerzas beligerantes en todo el mundo [1]. Sin embargo, su productividad representa un problema, debido a los niveles de contaminación que produce cuando el componente a base de caucho termina su vida útil.

Los neumáticos representan el 10% de los desechos microplásticos que se localizan en los océanos de todo el

planeta. Según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), el porcentaje de neumáticos aumentó en un 28% durante el 2017 [2]. Según el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) del 2010 al 2018 el desecho de caucho en Panamá, tuvo un incremento del 10.91%, lo cual se traduce en 305, 285,130 kg de caucho desechado en 10 años, de los cuales 188, 872,604 kg provienen de los neumáticos. Los gobiernos se han visto involucrados en la necesidad de implementar regulaciones para disminuir la contaminación producida a través del uso de caucho reciclado en sus procesos industriales [3].

Para aprovechar los residuos del caucho, existen diferentes tipos de procesos como: Mecánicos, criomecánicos, termomecánicos, químico-mecánicos, y químicos, entre otros [4]. El proceso de trituración empleado dentro de los procesos mecánicos es el más utilizado debido a que el producto que se obtiene es fácil de aprovechar. Sus elevados costos y la contaminación que producen hacen de este proceso una opción poco viable para reciclar objetos de caucho; tal es el caso de los neumáticos [8].

Por lo antes expuesto, el reciclaje de caucho se ha incrementado en diferentes aplicaciones: fabricación de piezas y materiales de construcción ingenieriles como asfaltos, pavimentos y concretos, aisladores sísmicos y acústicos hasta implementos deportivos, calzado, pisos para áreas recreativas, pistas de juego y pisos de piscina [9].

Las probetas que se fabrican para ensayos de materiales no metálicos se preparan por arranque de viruta, por inyección y utilizando la técnica del prensado. De esta forma, el caucho se ha evaluado por diferentes técnicas que han permitido la definición de sus propiedades mecánicas y térmicas [5]. De allí que, para evaluar el caucho se requieran de probetas con formas y dimensiones específicas, basadas en normas estandarizadas.

El objetivo principal de este trabajo es presentar el proceso de fabricación de probetas de un material a base de caucho y aglomerantes comerciales, con el fin de obtener probetas cilíndricas y en forma de placas, para su posterior evaluación mediante pruebas mecánicas.

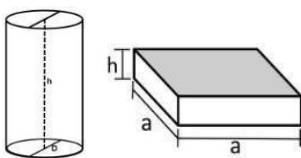
## 2. Metodología

La ejecución de este proyecto tomó en cuenta las probetas como aproximaciones a volúmenes definidos de cilindro y paralelepípedo, para las probetas cilíndricas y de placa respectivamente. Con ello, se obtienen los valores de masa de los productos que se necesitan para obtener una mezcla con unos porcentajes de volumen fijo.

$$V_{\text{cil}} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot h}{4} \quad (1)$$

$$V_{\text{placa}} = a^2 \cdot h \quad (2)$$

En las ecuaciones 1 y 2, D es el diámetro de la probeta, h es la altura, tanto para la probeta cilíndrica como para la probeta en forma de placa y es la medida de los lados en la probeta en forma de placa y se puede apreciar en la figura 1.



**Figura 1.** Volúmenes definidos de cilindro (izquierda) y paralelepípedo (derecha).

Se define el volumen total de la mezcla, mediante la siguiente relación:

$$V_T = \sum V_{\text{componentes}}$$

$$V_{\text{componente}} = X_i \cdot V_T$$

$$V_T = X_1 \cdot V_T + X_2 \cdot V_T + \dots + X_n \cdot V_T \quad (3)$$

Donde  $V_T$  es el volumen de la mezcla dentro de la probeta (cilindro o de placa),  $X_i$  son los porcentajes de los componentes de la mezcla, concerniente al volumen total de la mezcla. Después se utiliza la relación entre densidad, masa y volumen para despejar la masa de las ecuaciones:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (4)$$

$$X_i \cdot V_T = V_{\text{comp}}$$

$$X_i \cdot V_T = \frac{m_{\text{comp}}}{\rho_{\text{comp}}}$$

$$m_{\text{comp}} = X_i \cdot V_T \cdot \rho_{\text{comp}} \quad (5)$$

Ya se conoce M como el valor de la masa y V el volumen obtenido con las ecuaciones 1 o 2, depende de la probeta que se vaya a realizar. De esta manera, con la ecuación (5), se obtienen las cantidades de masa ( $m_{\text{comp}}$ ) necesarias para obtener una mezcla heterogénea volumétrica, con cualquier aglomerante en cualquier proporción.  $X_i$  corresponde a la variable que determina el porcentaje de aglomerante,  $V_T$  el volumen final de la mezcla dentro de la probeta y  $\rho_{\text{comp}}$  la densidad del aglomerante.

### 2.1 Materiales

El caucho es un componente con propiedades elásticas y es resistente a ácidos y sustancias alcalinas. Repele el agua, aísla la temperatura y la electricidad, resiste al estiramiento y conserva su propiedad de flexibilidad, incluso en condiciones de frío. Es capaz de disolverse ante la presencia del benceno y algunos hidrocarburos [6].

El proceso de fabricación de las probetas cilíndricas y en forma de placas, se utilizó como materia prima caucho reciclado granulado (CRG). Este material se suele utilizar como base para las canchas de fútbol sintéticas. Se utilizaron diferentes tipos de aglomerantes, que se mencionan a continuación: LANCO SiliconFlex Elastomérico Acrílico Siliconizado, LANCO PolyFlex Sellador Elastomérico de Poliuretano, LANCO Siliconizer Ultra White Elastomeric Crack Filler, LANCO Masilla Acrílica Multiusos, Adhesivo de



Poliuretano PLASTIPOL 444, LANCO Urethane-WB, LANCO Grip Bond 2 y resina de fibra de vidrio.

En la selección de estos materiales se partió de la premisa que el producto final debía tener propiedades elastoméricas. Por ende, se seleccionaron distintos selladores, adhesivos y masillas comerciales, que entre sus aplicaciones se encuentra la adhesión y reparación de superficies. El aglomerante debía ser capaz de solidificarse a temperatura ambiente.

A través de los experimentos que se llevaron a cabo se buscó comprobar si al utilizar estos materiales como aglomerantes, mantenían propiedades de resistencia y elasticidad. En las referencias consultadas, el caucho se ha mezclado con: concreto [10], asfalto [11], betún asfáltico [12] y no se ha encontrado un material que se constituya en una mezcla de caucho y selladores, adhesivos o masillas comerciales. Se utilizó arena de sílice tamizada por un filtro de 3 mm como un componente añadido al aglomerante, para reducir la cantidad de aglomerante industrial en la mezcla y aportar mayor densidad en la mezcla.

### 2.2 Métodos

Como parte de este trabajo, se confeccionaron dos tipos de moldes. Para las probetas cilíndricas, se utilizó un tubo de PVC de diámetro interno de 2" y 4" de largo, un tapón de madera removible de 2.0" de diámetro y aproximadamente 1.0" de espesor y, por último, un tapón de PVC de 2.0" de diámetro (ver Figura 2). Cada molde solo puede ser utilizado una vez. Y las probetas en forma de placas se construyeron con tablas siguiendo las normas ASTM-C177, que es un método de prueba para medir la conductividad térmica de los materiales utilizando una configuración de placa con las siguientes medidas: 300 mm de ancho, 300 mm de largo y 15 mm de espesor [7].

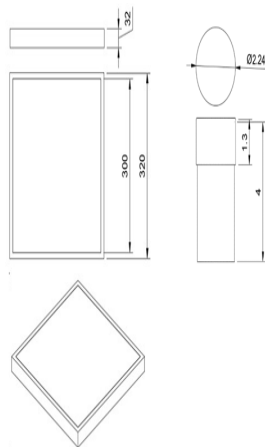


Figura 2. Moldes para las probetas.

A continuación, se detalla la metodología utilizada para la fabricación de las probetas cilíndricas y en forma de placas:

- Se calcularon las cantidades de CRG y de aglomerante por peso con respecto a su porcentaje del volumen total. Para ello, se utilizó la fórmula (5) con lo que se confeccionó la tabla 1.

Tabla 1. Datos de densidades y masas de aglomerante utilizado en cada probeta

Caucho		Arena		
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )			
957	1682			
Probeta Cilíndrica				
Aglomerante	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Proporción de la Composición	Masa (g)	Ref
LANCO SiliconFlex	1270.77	60%-40%	111.22	[13]
LANCO PolyFlex	1014.86	75%-25%	55.540	[13]
LANCO Siliconizer	1015.38	60%-40%	88.86	[13]
Resina de Fibra de Vidrio	2580	75%-25%	141.12	[14]
Resina de Fibra de Vidrio	2580	60%-40%	225.79	[14]
Adhesivo de Poliuretano	930.6	60%-40%	81.44	*
LANCO Urethane-WB	1301.1	60%-40%	113.87	[13]
LANCO Grip Bond 2	881.32	60%-40%	77.13	[13]
Probeta de Placa				
Aglomerante	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Proporción de la composición	Masa (g)	Ref
Fibra de Vidrio	2580	50%-50%	2322	[14]
LANCO SiliconFlex	1270.77	60%-40%	912.95	[13]
LANCO PolyFlex Sellador	1014.86	60%-40%	730.69	[13]

\*Datos medidos experimentalmente

- Las cantidades calculadas se virtieron en un recipiente, para luego realizar la mezcla hasta conseguir que fuera heterogénea y uniforme.

- Después se procedió a colocar la mezcla en moldes y se comprimió. En este caso se utilizó una prensa hidráulica y una estructura de hierro. También se puede utilizar una prensa sargento para lograr la compresión. Es importante que todas las probetas reciban una compresión lo más cercana posible entre ellas. En este caso, se determinó un número de compresión por palanca, el cual fue de 5 veces.
- Se dejó secar cada mezcla el tiempo estipulado en las instrucciones del fabricante de cada aglomerante. En la tabla 2, se detallan los tiempos de secado de cada aglomerante:

**Tabla 2.** Tiempos de secado de los aglomerantes

Aglomerante	Tiempo de secado	Ref.
LANCO SiliconFlex	24 horas	[13]
LANCO PolyFlex	6 horas	[13]
LANCO Siliconizer	24 horas	[13]
Resina de Fibra de Vidrio	+48 horas	[14]
Adhesivo de Poliuretano	3 horas	*
LANCO Urethane-WB	24 horas	[13]
LANCO Grip Bond 2	30 minutos	[13]

\*Dato obtenido en la etiqueta del producto.







- Se procedió a extraer el compuesto resultante. En el caso de las probetas cilíndricas, se debe retirar el tapón de madera y cortar el tubo de PVC. Para las probetas en forma de placa, solo se tiene que retirar el plástico.
- Se inspeccionó si el aglomerante se había secado por completo o si se debe proporcionar más tiempo de secado.





### 3. Resultados

Si bien es cierto que el compuesto principal de la probeta es el CRG, la selección del aglomerante tiene un efecto en las propiedades del producto final. Por esta razón, a pesar que el proceso fue el mismo para todos los casos, los resultados fueron diferentes. En las siguientes secciones, se muestran los resultados cualitativos obtenidos durante la elaboración de las probetas cilíndricas y las probetas en forma de placas.

En la tabla 3, se presentan los detalles de cada una de las probetas cilíndricas, acompañados de una imagen y de observaciones generales en cada caso. En general, se puede comentar la falta de adhesión completa entre el CRG y el aglomerante en la mayoría de los casos.



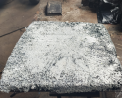
**Tabla 3.** Probetas cilíndricas, según porcentaje de compuestos mezclados

Materiales	Proporción de la composición	Imagen	Observación
CRG-Resina de Fibra de Vidrio	75%-25%		No se presentó adhesión entre el CRG y el aglomerante. No mantuvo la forma cilíndrica al retirar el molde.
CRG-Resina de Fibra de Vidrio	60%-40%		No se presentó adhesión entre el CRG y el aglomerante. No mantuvo la forma cilíndrica al retirar el molde.
CRG-Siliconflex	60%-40%		El CRG se adhirió al aglomerante. No mantuvo la forma cilíndrica al retirar el molde.
CRG-PolyFlex	75%-25%		Se presentó adhesión entre el CRG y el aglomerante. Mantuvo la forma cilíndrica al retirar el molde.
CRG-Plastipol 444	60%-40%		Se presentó adhesión entre el CRG y el aglomerante. El aglomerante se expandió al retirar el molde, con lo que se obtuvo una forma irregular.
CRG-Urethane-WB	60%-40%		La mezcla no se secó por completo, transcurrido el tiempo de secado sugerido por el fabricante.

CRG-Arena-PolyFlex	75%-10%-15%		Se presentó adhesión entre los componentes y se observa poca compactación. Mantiene su forma cilíndrica al retirar el molde. Se observan propiedades elásticas.
CRG-Arena-PolyFlex	60%-20%-20%		Se mostró adhesión entre los componentes. Mantiene su forma cilíndrica al retirar el molde. Se observan propiedades elásticas.
CRG-Arena-Plastipol 444	60%-20%-20%		Se demostró adhesión entre los componentes y mantuvo su forma cilíndrica al retirar el molde. Al tacto parece ser muy duro y resistente.
CRG-Grip Bond	60%-40%		No se presentó adhesión entre el CRG y el aglomerante. No mantuvo la forma cilíndrica al retirar el molde. La mezcla no se seca por completo, transcurrido el tiempo de secado sugerido por el fabricante.

Se fabricaron probetas en forma de placas, las cuales arrojaron resultados muy similares a las probetas cilíndricas. En la tabla 4, se presentan los detalles de las 3 placas fabricadas.

**Tabla 4.** Probetas en forma de placa, según porcentaje de compuestos

Materiales	Cantidades	Imágen	Observación
CRG-Resina de Fibra de Vidrio	50%-50%		No hubo adhesión y la forma se deshacía con facilidad.
CRG-SILICONFLEX	60%-40%		Se adherió con el CRG, pero al sacarla del molde, perdía la forma.
CRG-Polyflex	60%-40%		Hubo adhesión con el CRG y mantuvo su forma, luego de sacarla del molde.

#### 4. Discusión

Los resultados obtenidos corresponden a observaciones y análisis cualitativos. Este estudio ha permitido definir una metodología de fabricación de probetas cilíndricas y en forma de placas a base de caucho granulado y dos selladores comerciales. A su vez, ha permitido identificar los selladores que, al combinarse con el caucho granulado, mantienen la forma cilíndrica o de placa, según el caso.

Entre los resultados obtenidos se debe destacar que los únicos aglomerantes que mantuvieron la forma del molde, resultando en un material compacto, tanto en forma cilíndrica como de placa, fueron los aglomerantes LANCO Polyflex Sellador Elastomérico de Poliuretano y Adhesivo de Poliuretano PLASTIPOL 444 (ambos a base de poliuretano). Al inspeccionar estos materiales, se puede apreciar la presencia del CRG en la mezcla, así como una superficie medianamente áspera al tacto. Sobre la superficie de la probeta del aglomerante LANCO PolyFlex se observaron propiedades elásticas, mientras que en el caso del Adhesivo de Poliuretano PLASTIPOL 444 se observó una mezcla con una dureza mayor. Entonces, para poder demostrar esta premisa se debe someter a las respectivas pruebas mecánicas.

Cuando se añadió la arena en la mezcla se obtuvieron probetas más densas al tacto con ambos aglomerantes a simple vista.

En el caso de las placas, al flexionarlas ligeramente (ver figura 3) y liberarlas, recuperan su posición original sin deformarse permanentemente. Cabe señalar, que la placa

presenta diferentes espesores, debido a una distribución no controlada de la mezcla en el molde correspondiente.

Bajo estos resultados se puede suponer que el poliuretano y la arena tienen un efecto positivo en la mezcla, pues ambos componentes en las proporciones ensayadas se obtuvieron probetas con mejor compactación y aglomeración con el caucho. Aunque los resultados presentados son cualitativos, este estudio muestra un material que presenta propiedades elásticas que deben ser evaluadas, con el fin de identificar las aplicaciones potenciales del material. En este sentido, y de acuerdo a referencias consultadas, el caucho puede ser mezclado con otros materiales [10][11][12], en la búsqueda de soluciones para aplicaciones en donde la recuperación elástica es un tema importante.

El poliuretano es un compuesto que se utiliza como adhesivo, capaz de unir materiales, aportando tenacidad y resistencia a un material al secarse. En Paredes et Urquiza, 2021, se presenta un estudio de caracterización del comportamiento mecánico de un material compuesto a partir de matriz de poliuretano, reforzado con gránulos de caucho reciclado y fibras, demostrando la mejora en las propiedades al combinar estos materiales [15].

La experimentación realizada ayuda a verificar que el poliuretano logra una adhesión con el caucho, permitiendo la obtención de formas, de acuerdo al molde empleado, que permitió descartar aglomerantes que por sus características y antecedentes en la industria se consideró que podían cumplir con los requerimientos para llevar a cabo la fabricación del nuevo material. En Fernández, 1991, se presentó el proceso de unión de un adhesivo poliuretano y caucho, lo que apoya los resultados obtenidos en la presente investigación [16].

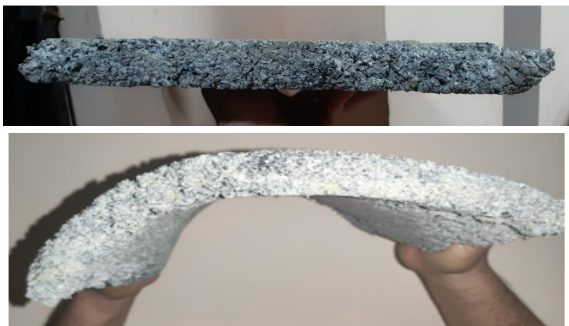


Figura 3. Placa a base de caucho SBR y PolyFlex recta y flexionada.

El resto de las probetas no lograron una adhesión y compactación entre el CRG y el aglomerante correspondiente, durante su proceso de elaboración, por lo que durante la extracción del molde se separaban los materiales. En algunos casos, los gránulos de CGR se despegaban entre ellos, aun cuando se encontraban inmersos en el aglomerante. Esto puede deberse principalmente a los componentes del aglomerante

comercial, a diferencia de los aglomerantes que contienen poliuretano que si lograron mantener la forma al ser retirados del molde.

Las probetas en forma de placa que se confeccionaron utilizando masilla acrílica y resina de fibra de vidrio como aglomerante, no presentaron una adhesión entre el CRG y los aglomerantes mencionados (ver imágenes presentadas en las tablas 3 y 4). En estos casos, se puede comentar que no resistieron el proceso de desmolde sin romperse o agrietarse. La placa con resina de fibra de vidrio no logró unir los granos de forma satisfactoria. La masilla acrílica logró unirse con el caucho granulado y la mezcla se mantuvo poco compacta, lo que ocasionó su separación.

En este trabajo se evitó agregar mayor cantidad de aglomerante con respecto a las cantidades de CRG, debido a que esta investigación se centra en el proceso de elaboración de un material a base de caucho reciclado como su principal componente, así como la verificación del proceso de fabricación planteado para la elaboración de un nuevo material a base de un material que normalmente es considerado como desecho y su potencial reutilización en aplicaciones de ingeniería.

## 5. Conclusiones

El caucho es un material útil y con propiedades físicas muy ventajosas. El principal problema de utilizar caucho es que se torna un contaminante a nivel visual y a nivel de microplásticos, afectando gravemente los ecosistemas acuáticos.

En esta investigación se presentó una metodología para la elaboración de probetas cilíndricas y placas a base de caucho reciclado granulado y aglomerantes (selladores) comerciales. De los siete aglomerantes estudiados, solo los aglomerantes LANCO Polyflex Sellador Elastomérico de Poliuretano y Adhesivo de Poliuretano PLASTIPOL 444, presumiblemente, presentan adhesión y compactación con los gránulos de caucho reciclado, por lo que en la etapa siguiente de esta investigación se espera realizar pruebas mecánicas que permitan determinar las propiedades de forma cuantitativa.

La indagación sienta las bases para el estudio de nuevos materiales a base de caucho reciclado. La fabricación de probetas a partir de caucho reciclado es el primer paso en el proceso de medir y probar las distintas propiedades que estos materiales pueden presentar, con el objetivo de identificar aplicaciones potenciales futuras.

Se recomienda caracterizar el producto final realizándole pruebas mecánicas y de conductividad térmica y eléctrica. Por lo que, se recomienda automatizar el proceso de mezclado o utilizar una herramienta que permita mezclar los dos compuestos, evitando así el contacto directo con la piel.



Así mismo, se sugiere confeccionar un nuevo molde que se pueda reutilizar y obtener más resultados con menor costo y residuos sólidos.

En investigaciones futuras se recomienda examinar la relación entre caucho, arena y aglomerante para determinar cuál es la proporción óptima de cada uno de estos tres componentes, con el fin de obtener mejores resultados.

## AGRADECIMIENTOS

Reconocemos al Taller de Mecánica Biker Solution by Benza, por prestar su instalación y herramientas para la fabricación de las probetas.

## REFERENCIAS

- [1] C. Domínguez, “Geografía política del caucho durante la Segunda Guerra Mundial” 1995. [Online]. Available: <file:///C:/Users/anabe/Downloads/Dialnet-GeografiaPoliticaDelCauchoDuranteLaSegundaGuerraMu-6581681.pdf> [Feb. 7, 2021]
- [2] T. Root, “National Geographic” Sept. 2019. [Online]. Available: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2019/09/neumaticos-gran-fuente-contaminacion-plastico> [Feb. 7, 2021]
- [3] G. Peláez, S. Velásquez y D. Giraldo, “Aplicaciones del Caucho Reciclado: una revisión de la literatura.” Ciencia e Ingeniería Neogranadina, vol 27, num. 2, 2017. [Online]. Available: [https://www.redalyc.org/jatsRepo/911/91150559002/html/index.html#redalyc\\_91150559002\\_ref69](https://www.redalyc.org/jatsRepo/911/91150559002/html/index.html#redalyc_91150559002_ref69) [Feb. 7, 2021]
- [4] E. Abraham, B. Cherian, P. Elbi, L. Pothen y S. Thomas, “Recent Advances in the Recycling of Rubber Waste.” 2011. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/282235405\\_Recent\\_advances\\_in\\_the\\_recycling\\_of\\_rubber\\_waste](https://www.researchgate.net/publication/282235405_Recent_advances_in_the_recycling_of_rubber_waste) [Feb. 7, 2021]
- [5] “Ensayo de tracción-Práctica 2.” Bloque 2, pp. 1-2.
- [6] C. Iglesias, “Materiales: El Caucho.” monografías.com, [Online]. Available: <https://www.monografias.com/trabajos72/materiales-caucho/materiales-caucho.shtml> [Feb. 7, 2021]
- [7] R. Ruiz, R. Canto y L. Lira, “Equipo para la medición de la conductividad térmica de materiales homogéneos y heterogéneos.” Simposio de Metrología, pp. 6-10, 2014.
- [8] M. Forrest, “Recycling and Re-use of Waste Rubber.” Shropshire: Smithers Information, 2014.
- [9] M. Recycling, “Micor Recycling.” [Online]. Available: [http://www.micorreycling.com/knowledge.php.karin.fq.uh.cu/acc/2016/CIENCIAS\\_TECNICAS/032/New/.../Parte%20V.pdf](http://www.micorreycling.com/knowledge.php.karin.fq.uh.cu/acc/2016/CIENCIAS_TECNICAS/032/New/.../Parte%20V.pdf). [Jan. 31, 2021]
- [10] George B. Way, Han Zhu, Kamil E. Kaloush, “Properties of Crumb Rubber Concrete.” The 2005 Annual Meeting of the Transportation Research Board, 2004.
- [11] Omprakash, V. Chandraleaga, V. Suganpriya, “Study of Behaviour of Bitumen Modified with Crumb Rubber.” International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), vol. 5, N° 05, 2016.
- [12] Ahmed R. Suleiman, Moncef L. Nehdi, Saud A. Alfayez, “Recycling Tire Rubber in Asphalt Pavements: State of Art.” MDPI, vol. 12, 2020.
- [13] Anónimo, “Wikipedia” [Online]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Fibra\\_de\\_vidrio](https://es.wikipedia.org/wiki/Fibra_de_vidrio) [Feb. 7, 2021]
- [14] LANCO, “LANCO Paints.” [Online]. Available: <https://www.lancopaints.com/america-central/es/> [Feb. 7, 2021]
- [15] J. Paredes, G. Urquiza, “Caracterización del comportamiento mecánico de un material compuesto a partir de matriz de poliuretano monocompente, reforzado con gránulo de caucho reciclado y fibra de abacá como material alternativo, para aplicaciones industriales.” 2021. [Online]. Available: <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/32149> [Feb. 7, 2021]
- [16] J. C. Fernández García, “Análisis del proceso de adhesión en el sistema caucho sintético-adhesivo de poliuretano.” 1991. [Online]. Available: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/3492> [Feb. 7, 2021]



# Fabricación y caracterización de conductividad térmica de materiales aislantes a base de fibras naturales

## Manufacture and characterization of thermal conductivity of insulating materials based on natural fibers

Rolando Carvajal<sup>1</sup>, Angélica Chung<sup>2</sup>, Abdiel Pérez<sup>3</sup>, José Solís<sup>1</sup>, Nacarí Marín<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería Electromecánica, Centro Regional de Azuero, Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>2</sup>Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Centro Regional de Azuero, Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>3</sup>Licenciatura en Ingeniería de Energía y Ambiente, Centro Regional de Azuero, Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>4</sup>Facultad Mecánica, Centro Regional de Azuero, Universidad Tecnológica de Panamá

**Resumen** La eficiencia energética de una edificación puede mejorarse cuando se consideran durante su diseño y construcción materiales con propiedades de aislamiento térmico. En este trabajo se realizó un estudio de fabricación y de caracterización térmica de 3 materiales naturales, aglomerados con almidón de yuca. Las fibras utilizadas son catalogadas como desechos agroindustriales. Los materiales han sido estudiados mediante un prototipo de medidor de conductividad térmica, basado en la norma ASTM-C177 y en la Ley de Fourier de transferencia de calor por conducción.

**Palabras clave** Aislamiento térmico, conductividad térmica y materiales naturales.

**Abstract** The energy efficiency of a building can be improved when materials with thermal insulation properties are considered during its design and construction. In this work, a manufacturing and thermal characterization study of 3 natural materials, agglomerated with cassava starch, was carried out. The fibers used are classified as agro-industrial waste. The materials have been studied using a prototype thermal conductivity meter, based on the ASTM-C177 standard and the Fourier law of conduction heat transfer.

**Keywords** Thermal insulation, thermal conductivity, natural materials.

\* Corresponding author: nacari.marin@utp.ac.pa

### 1. Introducción

En el estudio de la eficiencia energética de una edificación se requiere considerar diferentes aspectos como la instalación de equipos, la orientación de la edificación, la temperatura exterior y los materiales de construcción, por mencionar algunos. Durante los últimos años este tema ha cobrado interés, considerando el alto consumo de energía eléctrica en Panamá [1]. En la Estrategia Nacional de Cambio Climático de Panamá (ENCCP), se expone la importancia del desarrollo de estrategias y el desarrollo de capacidades para mitigar el cambio climático [2], considerando que el uso inadecuado de la energía repercute directamente en el ambiente. La temperatura exterior e interior en un recinto son datos que pueden ser utilizados para conocer la situación actual y reacondicionar un recinto, para un mejor aprovechamiento de la energía [3], [4]. Los materiales con buenas propiedades como aislamiento térmico se incluyen como una alternativa, gracias a la capacidad que tienen estos de reducir la transferencia de calor por conducción de un punto a otro,

evitando así las pérdidas de energía [5], [6] y un menor consumo de la energía eléctrica.

El objetivo principal de este artículo es evaluar y analizar el desempeño de materiales naturales a partir de la medición de su conductividad térmica, mediante su estudio a nivel teórico y de ensayos prácticos para la identificación del potencial de aislamiento térmico de un recinto [7]. En este proyecto se utilizó como materiales naturales la paja de arroz, tusas de maíz, estopa de coco y bagazo de caña. Para cada uno de estos casos se empleó el almidón de yuca por su alto contenido de amilosa y amilopectina, moléculas que dan como resultado la propiedad de adhesividad [6].

### 2. Fabricación de paneles de materiales naturales

La reutilización de materiales para el aprovechamiento de recursos que normalmente son considerados como desechos, justifica el estudio desde el punto de vista de búsqueda del valor agregado de materiales que normalmente son

considerados como desechos de procesos industriales y agroindustriales. En este proyecto se identificaron los materiales como la paja de arroz, bagazo de caña y fibra de coco, utilizando como aglomerante el almidón de yuca, debido a su buena propiedad de cohesión y adhesión con otros materiales.

Las placas de materiales son realizadas en un molde de madera que cumple con la medida mínima de la norma ASTM-177 (30 cm de ancho, 30 cm de largo y 1.5 cm de espesor) [1]. Detallamos el proceso de fabricación de los paneles a base de material natural estudiados.

### 2.1 Paja de Arroz y almidón de yuca

La obtención de este material fue a partir de la paja de arroz, que puede clasificarse como desecho, que no se utiliza; una vez cosechado el arroz. Se procedió a recolectar suficiente material para la obtención de una placa de este material, mezclándolo con almidón de yuca [2]. El proceso de mezcla de este material fue netamente artesanal. Utilizamos 405 g de paja de arroz y 210 g de almidón de yuca para obtener la placa de este material. Es decir, se utilizó 66% de paja de arroz y 34% de almidón de yuca. Una vez mezclados ambos materiales, y puestos en un molde de madera, la placa se expuso al sol durante 2 semanas, como parte del proceso de secado.

### 2.2 Bagazo de caña y almidón de yuca

El bagazo de caña es producido a partir de la fabricación del azúcar, y se puede decir que es un subproducto que se puede utilizar como combustible natural para generar vapor en las fábricas donde se produce azúcar [3]. Al igual que la paja de arroz, el bagazo de caña puede considerarse un desecho agroindustrial. La elaboración de la placa de este material, se tomó 300 g de bagazo de caña y 165 g de almidón de yuca. En términos de porcentaje, se utilizó 65% de bagazo y 35% de almidón de yuca como aglomerante para compactar el molde de este. El proceso de mezclado fue artesanal al igual que el de paja de arroz, por lo que se procedió a mezclarlo hasta obtener la masa necesaria para colocarla en el molde. Una vez puesto, se dejó secando al sol aproximadamente una semana y media.

### 2.3 Estopa de coco y almidón de yuca

Es un sustrato que se obtiene de los residuos que produce el coco. Estas fibras tienen componentes como la celulosa y el leño, que le dan una buena rigidez y dureza [4]. Tiene como características principales la baja conductividad al calor, resistencia al impacto y a las bacterias, entre otras. Para la obtención de la placa de prueba para la medición de conductividad térmica, se tomó 300 g de estopa de coco y 153 g de almidón de yuca como aglomerante. En otras palabras, se usó 65% de fibra de coco y 35% de almidón de yuca. Una vez realizado, se colocó en el molde y se cumplieron los pasos para el proceso de mezclado y secado de este.

## 3. Medidor de conductividad térmica

El estudio de la conductividad térmica, se diseñó un prototipo basado en un método experimental para la medición de la conductividad térmica de los paneles fabricados. El equipo de medición de conductividad térmica consiste en un Arduino con un sensor DHT22, una cámara termográfica y una caja de madera de 30 cm de ancho por cara, 30 cm de largo por cara y 1.5 cm de espesor con 2 mm de recubrimiento interior de fibra de vidrio. El tamaño de la muestra debe ser del tamaño de una cara de la caja de medición, es decir, de 30 cm de ancho por 30 cm de largo, y 1.5 cm de espesor, aproximadamente. El prototipo se basa en Ley de Fourier de transferencia de calor por conducción [5] y en la norma ASTM-C177 [1].



Figura 1. Medidor experimental de conductividad térmica.

En esta norma se establecen una placa con superficie caliente y dos placas frías. En la superficie caliente se tiene la zona de medida y su protección correspondiente y se pueden poseer uno o más calentadores. El objetivo principal del método es medir el gradiente de temperatura que hay dentro de la muestra. La temperatura superficial del método se mide con termopares montados en las placas superficiales. Se recomienda colocar un sensor de temperatura en el centro de la sección medida previamente. La medición de potencia, se utiliza un vatímetro o mediciones de voltaje y corriente.

En cuanto al equilibrio térmico, es necesario darle al sistema el tiempo necesario para alcanzar la estabilización de la temperatura. Una vez colocada la muestra, se procede a alimentar el equipo y encender las fuentes de calor, la cual debe ser, para este caso, un bombillo incandescente de cualquier valor de potencia que se encuentre disponible, como por ejemplo de 60 W, 75W, entre otros. Para la adquisición de los datos se debe considerar el inicio de la prueba y todas las mediciones de los sensores instalados en el equipo. Luego, se

debe esperar el tiempo necesario para el equilibrio térmico en tiempo real, el gradiente de temperatura. En estas pruebas es necesario esperar alrededor de cuarenta y cinco minutos para lograr la estabilidad de la temperatura establecida. Se debe tomar en consideración la medición de espesor del equipo de prueba y aislar toda la zona de trabajo del equipo para disminuir la pérdida de calor.

### 3.1 Arduino Genuino UNO y sensor DHT22

El Arduino empleado durante el estudio consiste en una placa electrónica basada en el microcontrolador ATmega328, que cuenta con 14 entradas/salidas digitales, de las cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM (modulación por ancho de pulsos) y otras 6 son entradas análogas. La placa incluye todo lo necesario para que el microcontrolador haga su trabajo, basta conectarla a un ordenador con un cable USB o con una fuente de alimentación externa [6]. El DHT22 es un sensor digital de temperatura y humedad relativa de buen rendimiento y bajo costo. Integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no posee salida analógica). Este sensor ha sido empleado en aplicaciones de control automático de temperatura, aire acondicionado y monitoreo ambiental en agricultura.

A nivel de software se dispone de librerías para Arduino con soporte para el protocolo "Single bus". En cuanto al hardware, solo es necesario conectar el pin VCC de alimentación a 3-5V, el pin GND a Tierra (0V) y el pin de datos a un pin digital en nuestro Arduino. Con este sensor se pueden obtener nuevos datos cada 2 segundos. Cada sensor es calibrado en fábrica para obtener unos coeficientes de calibración grabados en su memoria OTP, asegurando alta estabilidad y fiabilidad a lo largo del tiempo.

### 3.2 Cámara termográfica

Se utilizó una cámara de imagen térmica marca Fluke Ti110, la cual posee un sistema de enfoque exclusivo IR-OptiFlex™, el cual garantiza un enfoque correcto de las imágenes a partir de una distancia de 1.2 metros (4 pies) para obtener una claridad de la imagen óptima y comodidad en la exploración.

Utilizamos la IR Fusión, en donde una ventana de imagen IR aparece rodeada por un marco fino y visible, que sirve como referencia con el entorno. Esta cámara posee otras funciones como el SmartView el cual permite ver imágenes en forma de retrato, AutoBlend, que combina imágenes visuales e infrarrojas para generar una sola imagen para localizar los puntos de alta temperatura. Este aparato se utilizó para conocer la temperatura de la superficie exterior de las muestras ensayadas.

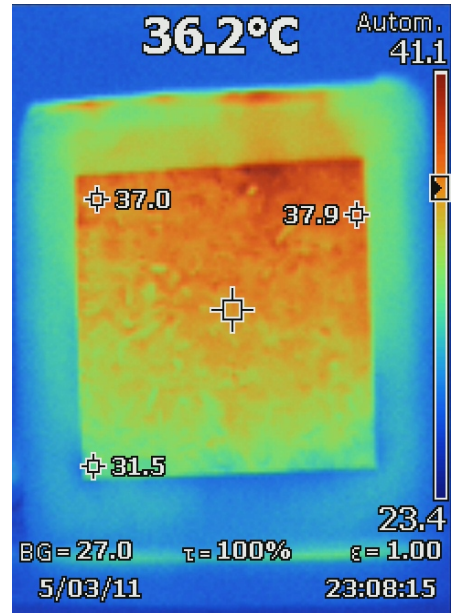


Figura 2. Fotografía térmica de la superficie exterior de una placa ensayada en la caja de Conductividad Térmica.

## 4. Resultados

Obtener el valor de la conductividad térmica se utilizó la ecuación de Fourier para conducción de calor [5]:

$$\dot{Q} = -KA \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad (1)$$

$$\Delta T = T_{int} - T_{ext} \quad (2)$$

En donde  $\dot{Q}$  representa el calor transmitido por unidad de tiempo (W),  $K$  es el coeficiente de conductividad térmica del material (W/mK),  $A$  es el área de la superficie en contacto en metros,  $\Delta T$  la diferencia de temperatura (°C) y  $\Delta X$  el espesor del material en metros. El calor como forma de la energía que se puede extraer de un lado a otro, es el resultado de la diferencia de temperatura, tal y como se expresa en la ecuación (2), donde el calor se transfiere de la zona de alta temperatura a la zona de temperatura menor. En este caso de estudio, la temperatura interior ( $T_{int}$ ) representa la temperatura de la bombilla medida en el interior de la caja y  $T_{ext}$  es la temperatura en el exterior. Las variables estudiadas son las temperaturas interior y exterior, mientras se consideran constantes el calor transmitido, el área y el espesor. De la ecuación (1) se despeja el coeficiente de conductividad térmica del material ( $K$ ), para la definición de su potencial de aislamiento.

En la tabla 1, se muestran los valores de conductividad térmica obtenidos para los materiales ensayados.

**Tabla 1.** Conductividades térmicas obtenidas a partir del medidor de conductividad térmica

Material Ensayado	Temperatura interior promedio $T_{int}$ (°C)	Temperatura exterior promedio $T_{ext}$ (°C)	Conductividad térmica $K$ (W/mK)
Paja de arroz con almidón de yuca	252.82	34.58	0.050
Fibra de coco con almidón de yuca	194.68	29.62	0.065
Bagazo de caña con almidón de yuca	224.1	28.54	0.055

## 5. Discusión de Resultados

Durante la fabricación de los 3 paneles a base de paja de arroz, estopa de coco y bagazo de caña, aglomeradas con almidón de yuca, en donde se tuvo inconvenientes a la hora del proceso de fabricación, por ejemplo a la hora de mezclar el aglomerante con el material, no se conocía la composición necesaria para que el material quedara compacto. Al investigar y conocer el porcentaje de composición para lograr la compactación, se procedió a realizar la mezcla de estos materiales [8]. Como ventaja, podemos mencionar el molde para la fabricación de los paneles. A partir de este molde sencillo, se pueden hacer los paneles con cualquier material natural.

El secado de las láminas se hizo de forma natural, de la experiencia realizada se puede explorar alternativas de procedimiento para el secado del material, y de esta forma asegurar un material que no se degrade tan fácilmente. Se puede comentar que las tres pruebas que presentaron densidades bajas y facilidad de moldeo.

Se realizaron pruebas de conductividad térmica para 3 tipos de materiales distintos, aglomerados con almidón de yuca. De acuerdo con las referencias consultadas, para materiales aislantes se requieren valores de conductividad térmica menores de 0.085 W/m K [8-9]. En este sentido los tres materiales ensayados pueden ser considerados como materiales aislantes [9-11].

## 6. Conclusiones

Del análisis de los resultados obtenidos, se puede decir que los materiales naturales utilizados demostraron conductividad térmica baja, y que se consideran como valores adecuados para aislar térmicamente. Los valores de conductividad térmica

entran en el rango de aislamiento térmico que va desde 0.020  $\frac{W}{m \cdot K}$  hasta 0.085  $\frac{W}{m \cdot K}$  según la bibliografía consultada.

La realización de estos materiales contribuye con el medio ambiente, y a su vez con el aprovechamiento de residuos agroindustriales, dando cabida al reciclaje y reutilización de residuos que normalmente son considerados como desecho, dándoles un valor agregado.

La temática de materiales naturales como aislantes térmicos se constituye en una línea de investigación de oportunidad, desde el punto de vista de sus propiedades competitivas.

## AGRADECIMIENTO

Este proyecto forma parte del proyecto ITE18-R2-016: "Carbonización de biomasa: aprovechamiento de residuos agrícolas para el mejoramiento de las propiedades fisicoquímicas del suelo en el área de cultivo", el que es financiado por la Secretaria Nacional de Ciencias, Tecnología e Innovación (SENACYT).

## REFERENCIAS

- [1] "Importancia del análisis de transferencia de calor dependiente del tiempo en la evaluación del desempeño térmico de la envolvente de una edificación," México, 2009.
- [2] M. AMBIENTE, "Estrategia Nacional de Cambio Climático de Panamá," Mi Ambiente, 12 junio 2015. [En línea]. Available: [http://www.miambiente.gob.pa/images/stories/documentos\\_CC/Esp\\_Info\\_V.1\\_ENCCP\\_15.12.2015.pdf](http://www.miambiente.gob.pa/images/stories/documentos_CC/Esp_Info_V.1_ENCCP_15.12.2015.pdf). [Jun.1,2019].
- [3] A. García, "Diseño de sistema multidimensional de captura y análisis de datos muestreados basado en sistemas embebidos de bajo costo y código abierto," UTP, Panamá, 2016.
- [4] R. Carvajal, J. Robles, J. Solís, y J. Vargas, "Sistema de análisis energético y de temperatura de las ventanas de un aula de clase con y sin aislamiento térmico", Rev-RIC, vol. 4, n° 2, pp. 26-30, abr. 2019.
- [5] J. Gutiérrez and C. Cadena, "Aislamiento térmico producido a partir de cascarilla de arroz aglomerada utilizando almidón producido con *saccharomyces cerevisiae*." 2013, pp. 139-143.
- [6] A. Canto, "Aislante Térmico a base de materiales orgánicos" Revista de iniciación Científica, vol. 4, pp. 48-51, 2018.
- [7] ASTM C177-19, Método de prueba estándar para mediciones de flujo de calor en estado estacionario y propiedades de transmisión térmica por medio del aparato de placa de protección en caliente, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, [www.astm.org](http://www.astm.org).
- [8] P. e. Universal, "El almidón de yuca funciona como sustituto de la harina de trigo," 5 septiembre 2016. [En línea]. Available: [http://www.eluniversal.com/noticias/estilo-vida/almidon-yuca-funciona-como-sustituto-harina-trigo\\_504559](http://www.eluniversal.com/noticias/estilo-vida/almidon-yuca-funciona-como-sustituto-harina-trigo_504559).
- [9] O. A. d. Olmo, "El bagazo de la caña de azúcar," [En línea]. Available: [karin.fq.uh.cu/acc/2016/CIENCIAS\\_TECNICAS/032/New/.../Parte%20V.pdf](http://karin.fq.uh.cu/acc/2016/CIENCIAS_TECNICAS/032/New/.../Parte%20V.pdf).
- [10] Barnacork, "Rollos de fibra de coco," [En línea]. Available: <http://www.barnacork.com/aislamientos/aislamientos/rollos-de-fibra-de-coco.html>.
- [11] Y. A. Cengel, Transferencia de calor y masa, McGraw hill.



# Evaluación del uso de larvas de Mosca doméstica (*Musca domestica* L.) como tratamiento biológico de residuos orgánicos municipales

## Evaluation of the use of house fly larvae (*Musca domestica* L.) as a biological treatment of municipal organic wastes

Reynaldo Salas Sucaticona<sup>1</sup>, Yuly Mercedes Apaza Gómez<sup>1</sup>, Ebed David Paredes Rodríguez<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal, Universidad Nacional de Juliaca, Perú.

**Resumen** Se determinó la eficacia del tratamiento biológico de residuos orgánicos municipales usando larvas de mosca doméstica (*Musca domestica* L.). Se colectaron aleatoriamente 48 kg de residuos orgánicos, divididos en 9 unidades experimentales, distribuidas en grupos de 3 unidades; cada uno sometido a tres (3) tratamientos, el T1: residuos de mercado (RM), T2: residuos de restaurante (RR) y T3: residuos domiciliarios (RD); consecutivamente se estimó el índice de reducción y tasas de crecimiento. Por medio del Software SPSS versión 25.0 y Minitab versión 18.1.0 se aplicó un Análisis de varianza (ANOVA), con un diseño completo al azar (DCA). Se reportó índices de reducción (WRI) significativamente diferentes en todos los tratamientos ( $p < 0.05$ ), que son los residuos domiciliarios (RD) los que presentaron un mayor índice de reducción de 1.167%/día. Con respecto a la eficiencia de conversión de alimentos ingeridos (ECI), no se observaron entre tratamientos diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). No obstante, con respecto al incremento de longitud y peso de larvas, se observaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las tasas de crecimiento absoluta (TAC), relativa (TRC) y específica (TEC) que son en peso y talla significativamente diferentes en todos los tratamientos, con un máximo aumento en residuos domiciliarios (RD) con 0.333 mm/día y 2.254 mg/día respectivamente. Finalmente, se demostró que las larvas de mosca doméstica son eficaces en la degradación de residuos orgánicos, observándose que, a mayor grado de reducción de residuos orgánicos, mayores son las tasas de crecimiento de las larvas (TAC), (TRC) y (TEC), y mayor es el índice de reducción de residuos.

**Palabras clave** Índice de reducción, larva, *Musca domestica* L., residuo orgánico municipal y tratamiento biológico.

**Abstract** The efficacy of the biological treatment of municipal organic wastes using house fly larvae (*Musca domestica* L.) was determined. 48 kg of organic waste were randomly collected, divided into 9 experimental units, distributed in groups of 3 units; each one subjected to three (3) treatments, T1: market waste (MR), T2: restaurant waste (RR) and T3: household waste (RD); consecutively, the reduction index and growth rates were estimated. Using the SPSS Software version 25.0 and Minitab version 18.1.0, an analysis of variance (ANOVA) was applied, with a complete randomized design (CRD). Reduction rates (WRI) were reported significantly different in all treatments ( $p < 0.05$ ), being household waste (RD) showing the highest rate of reduction of 1.167%/day. However, regarding the ingested food conversion efficiency (ECI) no significant differences were observed among treatments ( $p < 0.05$ ). On the other hand, with respect to the increase in length and weight of larvae, significant differences ( $p < 0.05$ ) were observed between the absolute (TAC), relative (TRC) and specific (TEC) growth rates, being significantly different in weight and length in all treatments, with a maximum increase in household waste (RD) with 0.333 mm/day and 2.254 mg/day respectively. Finally, it was demonstrated that house fly larvae are effective in the degradation of organic waste, observing that the higher the reduction of organic waste, the higher the growth rates of the larvae (TAC), (TRC) and (TEC), and the higher the rate of waste reduction.

**Keywords** Reduction rate, larvae, *Musca domestica* L., municipal organic waste, biological treatment

\* Corresponding author: reynaldosalassucaticona@gmail.com

### 1. Introducción

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), los residuos de

alimentos incluyen cualquier sustancia sana o comestible que se desperdicia, se pierde o se degrada en cada etapa de la cadena de suministro de alimentos, donde se observa que



anualmente se pierden entre 1.300 y 1.600 millones de toneladas de alimentos, como verduras frescas, frutas y productos cárnicos, de panadería y lácteos, lo que supone un tercio de los alimentos producidos mundialmente para el consumo humano, afectando varios recursos naturales. Los residuos sólidos y su gestión a nivel mundial son considerados uno de los problemas más peligrosos y difíciles de manejar, por lo que representan uno de los más graves e inmediatos problemas ambientales que deben enfrentar los países del tercer mundo [1].

Según informe presentado por el Banco Mundial, se estima que a nivel mundial se generan actualmente 1.3 mil millones de toneladas de residuo, con proyecciones para el 2025 de un incremento por año a 2.2 mil millones de toneladas. De estos, alrededor del 19% se somete a la recuperación de materiales mediante el reciclaje, el 4% por medio del compostaje y un 11% se trata mediante la incineración con medios modernos. La eliminación de los desechos sólidos en terrenos abiertos o en vertederos diseñados incorrectamente puede generar efectos adversos al medio ambiente y a la salud humana. En marco de la búsqueda de solución a tantos problemas ambientales y de salud generados por la mala disposición y manejo de este tipo de desecho mundialmente, se han establecido normas para la reutilización de residuos orgánicos diferenciados de los residuos municipales con fines agrícolas, donde es el compostaje uno de los métodos biológicos adecuados y más conocidos para transformar los desechos orgánicos en enmiendas útiles para el suelo [2].

En el caso específico de la ciudad de Juliaca, son recogidos 169.30 ton/día de residuos con una generación per cápita de 0.71 kg/hab/día, es el 40% residuos orgánicos de origen domiciliario y de mercados de abasto, residuos que son dispuestos en un botadero transitorio, que se convierten en un problema ambiental debido a la presencia de procesos biológicos de descomposición que originan agentes contaminantes, como lixiviados y biogases contaminantes de suelos, agua y aire [3].

Las prácticas de generación, transporte y eliminación de residuos son las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para las actividades de gestión de residuos. Estos son la mayor generación de lixiviados y gases de efecto invernadero, asociados a problemas altamente técnicos que actualmente no han sido resueltos. Esta situación ha producido una continua acumulación de residuos, generando niveles críticos en casi todas las regiones del mundo, que convierten a los residuos orgánicos como uno de los problemas ambientales que necesitan ser manipulados de modo sostenible y así minimizar el riesgo para la salud humana y disminuir las cargas ambientales [4].

Por consiguiente, con la intención de responder a la mencionada problemática ambiental, son muchas las

investigaciones que han planteado ciertas alternativas enfocadas en el abordaje de los problemas generados por el tratamiento de residuos orgánicos [5], los hallazgos demostraron que los residuos orgánicos cuentan con un alto potencial para ser valorizados a través de tratamientos biológicos, dado que los residuos orgánicos pueden transformarse en productos finales, como enmiendas agrícolas, energía y proteínas, que consideran a las larvas de insectos como el tratamiento biológico o de bioconversión que presentan una mayor efectividad, es capaces de digerir residuos orgánicos con una reducción de su volumen en un 50–80% [6].

El propósito de esta investigación fue realizar un estudio basado en el desarrollo de nuevas técnicas direccionadas al manejo de residuos sólidos orgánicos, generando beneficios ambientales y económicos a través de la propuesta de métodos alternativos con beneficios ambientales, mostrando a las larvas de mosca doméstica (*M. domestica* L.) como un tratamiento de residuos ideal para ser criadas y cosechadas de manera simple y económica para contribuir significativamente a la reducción del potencial contaminante del residuo.

El objetivo de esta indagación fue determinar la eficacia del tratamiento biológico de residuos orgánicos municipales usando larvas de mosca doméstica (*Musca domestica* L.) en la ciudad de Juliaca, Perú.

## 2. Antecedentes

La "bioconversión", basada en los insectos, representa un método económicamente viable, el cual tiene la capacidad de convertir grandes cantidades de residuos orgánicos de origen alimenticio en materia prima de gran valor ambiental y económico, como la elaboración de piensos como alimentos de animales, el cual presenta una elevada biomasa de insectos, alimentos para humanos, elaboración de compuestos industriales secundarios como biocombustibles, lubricantes, productos farmacéuticos, entre otros, así como el uso de los residuos alimentarios sobrantes como materia orgánica con grandes cantidades de nutrientes [7].

Una de las especies de insectos en la que más se ha estudiado la capacidad de bioconversión ha sido la mosca soldado negro *Hermetia illucens* L. Con el propósito de analizar el potencial de las larvas de la mosca de soldado negro (MSN) en el proceso de bioconversión de residuos orgánicos municipales, analizar la calidad del compost producido y el contenido nutricional de larvas de MSN (gusanos) se experimentó con larvas de unas 2 a 3 semanas, obteniendo como productos finales de la bioconversión larvas con elevado contenido nutritivo y compost. Se pudo comprobar que las larvas podían reducir los residuos orgánicos (residuos orgánicos municipales) en un 47.75%, presentando estas una capacidad para consumir 26.1508 g de residuos / g de gusano, observando en estos un contenido de proteína, grasa bruta y cenizas del 41.8%, 14.63% y 9.12%, respectivamente [8].

De igual manera ha sido aplicada en la bioconversión de residuos orgánicos de la industria del café, estudiando su eficiencia de conversión de alimentos ingeridos (ECI) y el índice de reducción de residuos (WRI, por sus siglas en inglés), reportando que las larvas que presentan una tasa de alimentación de 200 mg/larva/día se desarrollan en un tiempo más corto, demostrando que este insecto, a pesar de tener una lenta tasa de crecimiento, tiene la capacidad de convertir los restos de café molido [9].

Con la intención de un uso eficiente y factible de los desechos de alimentos y de generar beneficios económicos y ambientales, se utilizó la larva de *M. domestica* L. como agente bioconversor para obtener la proteína de gusano con un valor añadido, aceite y fertilizantes orgánicos. Se criaron moscas adultas, con el fin de cultivar larvas (gusanos) y valorizar los residuos. A partir de los resultados experimentales se demostró que de cada 1.000 g de medio de cultivo compuesto de 700 g de residuos de alimentos y 300 g de adyuvante se podrían aprovechar 1,5 g de huevos de *M. domestica* L. en condiciones de cultivo adecuadas en tan solo 4 días, con una reducción de alimentos en un  $42.95 \pm 0.25\%$ , utilizando los restos del medio de cultivo como buenos fertilizantes orgánicos. La obtención de 53.08 g de gusanos secos con  $57.06 \pm 2.19\%$  de proteínas y  $15.07 \pm 2.03\%$  de aceite, proteínas que han sido destacadas por sus actividades farmacológicas, que son una buena materia prima en el campo de la medicina y la alimentación animal. Por otro lado, el aceite de gusano representa una potencial materia prima alternativa para la producción de biodiésel, que encuentra en este estudio un 87.71% de biodiésel [10].

### 3. Marco teórico

#### 3.1 Residuos sólidos y clasificación

Según la procedencia del residuo, se clasifican como residuos urbanos; residuos industriales; residuos creados en los servicios; y residuos provenientes de construcciones, entre los urbanos se encuentran los desechos orgánicos, el vidrio, el papel entre otros [11].

#### 3.2 Características de los residuos sólidos orgánicos

Todo aquel residuo originado biológicamente, es aquel que presenta tendencia a descomponerse por la acción de organismos vivos, los cuales generan gases como el dióxido de carbono, metano, entre otros; el de lixiviados en los lugares donde finalmente se sitúan, recurso que bien tratado puede revalorizarse y mejorar los suelos a través de la producción de abono, vermicompost, compost entre otros [12].

#### 3.3 Tratamientos físicos

Los residuos generalmente, pueden separarse a través de ciertas técnicas mecánicas y/o físicas, separándolos en fracciones para posteriormente ser sometidos a adicionales tratamientos como digestión anaeróbica, reciclaje, biogas, combustión entre otros [13].

### 3.4 Tratamientos Biológicos

#### 3.4.1 Bioconversión

Es un proceso muy productivo, donde se utiliza agentes biológicos de rápida aparición, el cual es muy aplicado en tecnología de alimentos, en estudios ambientales y de salud. Es considerado un proceso de transformación de restos alimentarios y algunos subproductos. Con el fin de generar instrumentos y métodos enfocados según el interés del investigador, que se ha logrado a través del tiempo la transformación de desechos orgánicos en recursos beneficiosos para el ambiente y la economía. En el caso de la comercialización de la bioconversión basada en insectos, esta representa un cambio prometedor a la hora de ofrecer opciones alternativas para la reducción de los residuos alimentarios [14].

#### 3.4.2 Vermicompostaje

Este tratamiento consiste en la transformación rápida y efectiva de la materia orgánica en abono por medio del uso de métodos limpios y sostenibles con la intención de producir residuos aprovechables. Es apreciado como una potencial opción para la bio-oxidación, degradación y estabilización de residuos orgánicos. Para llevar a cabo este tratamiento se usan lombrices para transformar los restos orgánicos en un material análogo al humus, pero en este caso conocido como vermicompost [15].

### 3.5 Características de la Mosca doméstica *M. domestica* L.

La especie *M. domestica* L. es un insecto asociado comúnmente a los humanos, y a los animales de corral, por lo que son consideradas sinantrópicas. Estas generalmente transportan en asociación ciertos organismos que generan enfermedades, que se pueden reproducir en materia vegetal en descomposición o excreciones de animales, por lo que puede adquirir agentes patógenos [16].

#### 3.5.1 Ciclo vital de la Mosca doméstica *M. domestica* L.

Su ciclo de vida está conformado por 4 estadios conocidos como huevo, larva, pupa y adulto. Este insecto exhibe una metamorfosis completa, en el caso de la larva que posee tres fases larvianas, donde la última es la de mayor tamaño con una talla máxima de 5-13 mm [17].

### 3.6 Variables para analizar el consumo de alimentos

Entre las variables usadas para comprobar el consumo de alimentos se encuentran el índice de reducción de residuos (WRI) y el índice de eficiencia de conversión de alimentos ingeridos (ECI).

#### 3.6.1 Índice de reducción de residuos

Es primordial en la evaluación de la cantidad de alimento reducido a través del uso del índice de reducción de residuos. El tiempo en que se degradará un alimento va a variar de acuerdo con la cantidad de alimento a degradar, por lo que, se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$WRI = D/t \times 100, \text{ Donde } D = (W - R/W)/t \quad (1)$$

Donde: D = degradación global. t= número total de días en que las larvas se alimentaron. R = residuo después del tiempo t.

### 3.6.2 Eficiencia de conversión de los alimentos ingeridos (ECI)

Índice también conocido como "Eficiencia de crecimiento", viene representado por una escala de la cantidad de comida aproximada que ingiere un animal y se convierte en crecimiento a través del aumento de biomasa (talla y peso), se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$ECI = (\text{Ganancia de peso} / \text{peso del alimento ingerido}) \times 100 \quad (2)$$

### 3.7 Variables para examinar la tasa de crecimiento

Esta tasa de crecimiento se puede determinar a través de la medición de las siguientes variables propuestas por Wootton (1991):

#### 3.7.1 Tasa específica de crecimiento (TEC)

$$TEC = 100[\ln(WF) - \ln(WI)]/t \quad (3)$$

Donde: ln (WF) = logaritmo natural del peso húmedo final ln. (WI) = logaritmo natural del peso húmedo inicial. t = tiempo (días). Los resultados se representan en % . día<sup>-1</sup>.

#### 3.7.2 Tasa absoluta de crecimiento (TAC)

$$TAC = (Y2 - Y1)/(T2 - T1) \quad (4)$$

Donde: Y1 y Y2= Peso o Talla al inicio y al final del experimento. T1 Y T2= Tiempo inicial y final. Los resultados se representan en cm y mg.

#### 3.7.3 Tasa relativa de crecimiento (TRC)

$$TRC = (Y2 - Y1) / Y1(T2 - T1) \times 100 \quad (5)$$

Donde: Y1 y Y2 = Peso o Talla inicial y final. T1 Y T2= Tiempo inicial y final. Los resultados se representan cm y mg.

## 4. Materiales y métodos

El presente estudio científico siguió una orientación cuantitativa, dentro de la modalidad de diseño experimental totalmente aleatorio (DCA), esto con la finalidad de verificar si existían significativas diferencias entre los tratamientos aplicados. Se manejó la variable residuos orgánicos municipales como independiente y ver como era su influencia sobre variable dependiente.

La investigación se realizó bajo un diseño experimental [18] conformado por grupos aleatorizados y post prueba, por lo que se aplicó el siguiente diseño experimental:

$$RG1 \rightarrow X \rightarrow O1$$

$$RG2 \rightarrow X \rightarrow O2$$

$$RG3 \rightarrow X \rightarrow O3$$

Donde: R: Asignación de residuos orgánicos al azar.

G1: Grupo 1, conformado por residuos orgánicos sin tratamiento, provenientes del mercado.

G2: Grupo 2, conformado por residuos orgánicos sin tratamiento, provenientes de restaurantes.

G3: Grupo 3, conformado por residuos orgánicos sin tratamiento, provenientes de diferentes domicilios.

X: Tratamiento de bioconversión con Mosca doméstica (*M. domestica* L.).

O1: Valor del índice de reducción, tasas de crecimiento y contenido proteico posterior al tratamiento en el grupo 1.

O2: Valor del índice de reducción, tasas de crecimiento y contenido proteico posterior al tratamiento en el grupo 2.

O3: Valor del índice de reducción, tasas de crecimiento y contenido proteico posterior al tratamiento en el grupo 3.

Antes del análisis de los datos obtenidos se procedió a verificar la normalidad a través de la prueba de Shapiro-Wilk (Herrera & Fontalvo, 2011). De igual manera, se aplicó la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, con el propósito de verificar la variabilidad entre diferentes grupos con un nivel de significancia de (0.05).

Las muestras de residuos orgánicos fueron obtenidas de los mercados de abasto más importantes de la ciudad de Juliaca, los cuales se ubican en el Altiplano Peruano, distrito de Juliaca, Departamento de Puno, Perú a 3826 msnm en las coordenadas 376645.3 de latitud Sur y 8287146 de longitud Oeste. Se realizaron visitas previas para la identificación de los lugares de muestreo de residuos orgánicos más adecuados, ver tabla 1.

**Tabla 1.** Principales mercados de abasto muestreados en Juliaca y su ubicación

Mercados de abasto	Coordenadas UTM		
	Zona	Este	Norte
Santa Bárbara	19 L	378040.27	8286998.39
Túpac Amaru	19 L	379202.44	8287217.14
Las Mercedes	19 L	378009.57	8287723.06
Cerro Colorado	19 L	379090.72	8285828.45

Fuente: Elaboración propia.(GPS Garmin Map 64s).

### 4.1 Materiales y equipos

Al realizar esta investigación se necesitó una serie de equipos y materiales entre los que se puede nombrar:

- Envases de polietileno de alta densidad (20x20 cm).
- Pinzas, crisoles, luna reloj, morteros de porcelana, tamiz, envases de vidrio (Boro 3.3.5)
- Termo-hidrómetro Digital (Boeco HTC-1)
- GPS de mano (Garmin Map 64s)
- Potenciómetro (Hanna HI 98130)
- Balanza analítica (Kern modelo ABS 220-4N)
- Estufa (Selecta Modelo Conterm 2000200)
- Mufla (Select-Horn modelo TFT)

- Microscopio electrónico (DM-500/Cámara Leica modelo ICC50-W)
- Vernier digital (Tool Size modelo Premium 0 – 120 mm).

#### 4.2 Reactivos

- Agua purificada (QP)
- Etanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH al 96%)
- Hipoclorito de sodio (NaClO al 10%)
  - Solución buffer pH 4.7 y 10 (reactivos manipulados en un grado analítico).

#### 4.3 Población y muestra

##### 4.3.1 Población

Conformada por residuos orgánicos de tres (3) orígenes: de mercado, restaurantes y domiciliarios, estos provenientes de los mercados de abasto principales de la ciudad de Juliaca (Santa Bárbara, Túpac Amaru, Las Mercedes y Cerro Colorado). Se afirma que el 77.15 % de estos residuos son orgánicos, el 18.45 % inorgánicos y solo el 4.40 % mixto (residuos sanitarios, pañales, papel sanitario, entre otros.). Tomando en cuenta para este estudio la fracción orgánica compuesta por restos de alimentos, huesos, follaje y restos de cartón.

##### 4.3.2 Muestra

Aleatoriamente se tomaron muestras de residuos orgánicos de 48 kg (Casal & Mateu, 1992), conformadas por 16 kg para cada tipo de residuo orgánico (provenientes de mercado, restaurante y domiciliarios) ver tabla 2. Para el proceso de experimentación, se obtuvo una muestra representativa de 1 kg por tipo de residuo, aplicando el método de cuarteo considerando la guía metodológica para el desarrollo de EC-RSM, MINAM, 2015.

Tabla 2. Muestra de residuos orgánicos municipales

Mercados de abasto	Propios de mercado (kg)	Restaurante (kg)	Domicilio (kg)	Total (kg)
Santa Bárbara	4.02	4.02	4.01	12.05
Túpac Amaru	4.01	4.03	4.03	12.07
Las Mercedes	4.03	4.01	4.02	12.06
Cerro Colorado	4.02	4.02	4.01	12.05
<b>Total</b>				<b>48.23</b>

Fuente: Elaboración propia.

##### 4.3.3 Obtención de la información

En consecuencia, para obtener los resultados se siguió el siguiente esquema, ver figura 1.



Figura 1. Vista general de la metodología aplicada.

Fuente: Modificado de guía metodológica para el desarrollo de EC-RSM, MINAM, 2015.

#### 4.4 Determinación del índice de degradación de residuos sólidos

Se siguió el diagrama de flujo realizado en el laboratorio de Biología de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal (EPIAF), ver figura 2. Para determinar este índice se aplicó la ecuación (1)

Degradación total de sólidos:

$$D = (W - R) / W \quad (1)$$

Donde: W = cantidad total de alimento suministrado. R =

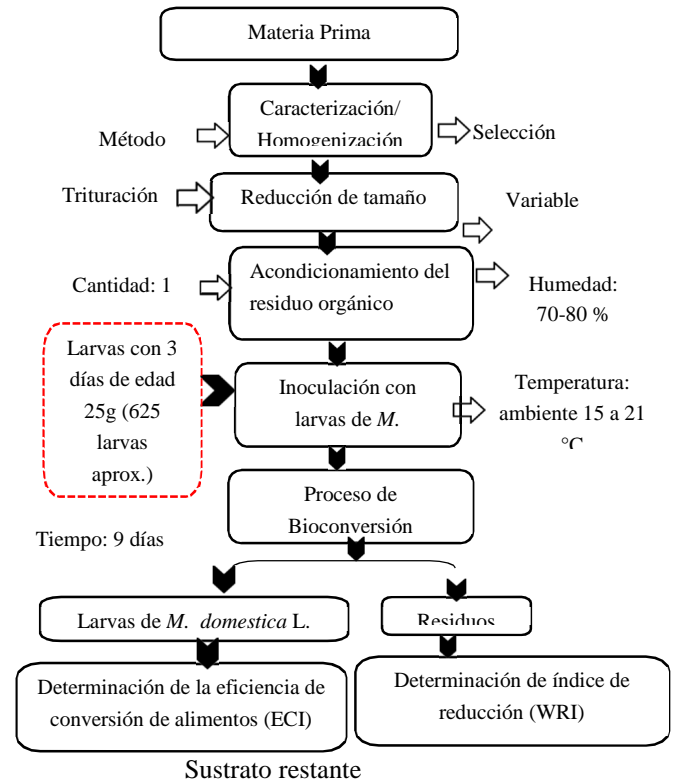


Figura 2. Diagrama de flujo para los análisis de laboratorio



#### 4.5 Condiciones de laboratorio

Al iniciar la investigación, se usó 9 bandejas de plástico con tapa y capacidad de 6 kg. A cada tapa se le realizaron agujeros para permitir circulación de aire y se colocó tela mosquitera entre las tapas y los recipientes, con el propósito de controlar otra intrusión de insectos. Para cada tipo de residuo se triplicó el tratamiento basado en metodología de Diener et al., 2009, ver figura 3.



**Figura 3.** Acondicionamiento de residuos orgánicos: **A** de mercado, **B** de restaurante **C** domiciliario para ser inoculados con larvas de *M. domestica* L.

**Fuente:** Elaboración propia.

El laboratorio contó con un aislador térmico (Tecnopor) para mantener la temperatura a 20°C y generar un crecimiento y desarrollo óptimo de las larvas de mosca; la investigación se realizó bajo las condiciones ambientales reflejadas en la tabla 3.

**Tabla 3.** Condiciones experimentales en laboratorio

Tipo de residuo	Tratamiento	Tiempo (día)	pH Pre tratamientos.	Mañana		Tarde	
				°C	Humedad Relativa (%)	°C	Humedad Relativa (%)
Mercado	T1	9	5.4	15		21	
	T1	9	5.2	a	35	a	27
	T1	9	5.3	21		25	
Restaurante	T2	9	6.0	15		21	
	T2	9	6.2	a	35	a	27
	T2	9	6.1	21		25	
Domiciliario	T3	9	6.3	15		21	
	T3	9	6.1	a	35	a	27
	T3	9	6.0	21		25	

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.6 Atracción de larva

Determinar el atrayente más efectivo, se aplicó una matriz de selección, donde se consideró como parámetros el costo, sanidad y capacidad de atracción; por lo que se comparó a la cabeza de res con la carne de res y la carne de pollo, determinando a la cabeza de res como el atrayente más idóneo y de bajo costo para atraer y generar larvas de mosca doméstica (*M. domestica* L.).

#### 4.7 Estimación del índice de reducción de residuos sólidos

Al estimar este índice se evaluó diariamente el peso de las bandejas, ver figura 2. Posteriormente se estimó el índice de reducción de residuos (WRI) (1) (2), y se evaluó la eficacia en la conversión de alimentos ingeridos (ECI) (3) basados en Scriber & Slansky, 1981, calculado a través de las ecuaciones 1 y 2 respectivamente.

Índice de reducción de residuos (%. día):

$$WRI = D/t \times 100 \quad (2)$$

Dónde: D= degradación total. t= tiempo en días

Eficiencia de conversión de los alimentos ingeridos:

$$(ECI) = [GP / AI/t \times 100 \quad (3)$$

Donde: GP = Peso ganado. AI = degradación efectiva. t = días

#### 4.8 Determinación de la tasa de crecimiento de las larvas de *Musca domestica* L.

##### 4.8.1 Evaluación de peso y talla

Llevar a cabo esta evaluación se procedió a pesar (g) y medir la longitud 5 larvas de *M. domestica* L. por bandeja durante el inicio y fin del proceso de bioconversión.

##### 4.8.2 Determinación de tasas de crecimiento

Se siguió el diagrama de flujo realizado en el laboratorio de Biología de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal (EPIAF), ver figura 4. De igual manera, través de las fórmulas planteadas por Wootton (1991), se determinaron las tasas de crecimiento absoluta (TAC) y relativa (TRC) para cada dieta o tratamiento y la tasa de crecimiento instantánea conocida también como tasa de específica de crecimiento (TCE).



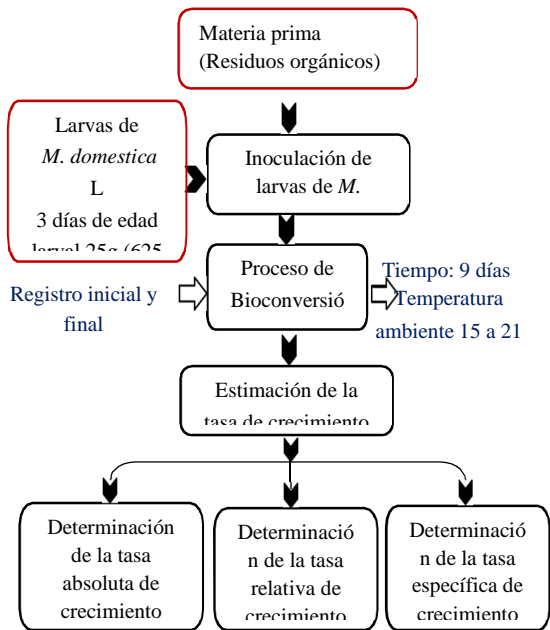


Figura 4. Diagrama de flujo para la determinación de tasas de crecimiento de larvas de *M. domestica* L.

#### 4.9 Análisis estadístico

Por medio del Software SPSS versión 25.0 y Minitab versión 18.1.0 se aplicó un Análisis de varianza (ANOVA) con un diseño completo al azar (DCA), con la intención de evidenciar las diferencias significativas entre las medias de los tratamientos. Los análisis se realizaron con un nivel de significancia de 0.05.

##### 4.9.1 Modelo estadístico asociado al diseño

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + E_{ij}$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, t$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, n$$

Donde:  $Y_{ij}$  = Variable respuesta en la  $j$ -ésima repetición del  $i$ -ésimo tratamiento.  $\mu$  = Media general.  $\tau_i$  = Efecto del tratamiento  $i$ .  $E_{ij}$  = Es el error experimental de la unidad  $ij$ .

##### 4.9.2 Transformación angular

Los datos para el análisis estadístico fueron modificados a una transformación angular o arcoseno, que es empleado en datos aproximados más a una distribución binomial, como el caso de conteos o porcentajes, con el fin de que la distribución de los datos se normalice y estabilizar las varianzas.

## 5. Resultados y discusión

### 5.1 Degradación de residuos sólidos

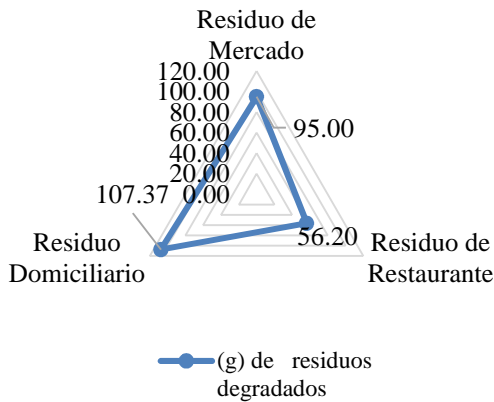
Los resultados relacionados con la degradación efectiva de residuos por parte de las larvas de mosca doméstica se pueden ver en la tabla 4. Después de nueve (9) días de

experimentación, que es el tiempo correspondientes al ciclo larval de la mosca doméstica (*M. domestica* L.) se inocularon los residuos sólidos estudiados para su degradación con aproximadamente 625 larvas de mosca doméstica, con un peso total de 25g, reportándose que los residuos domiciliarios (RD) fueron los que mayor degradación efectiva presentaron con 107.4g que se convirtieron en el mejor tratamiento, ver figura 5, seguido de los residuos de mercado (RM) con 95.0g y por último los residuos de restaurante con 56.2g. Estos resultados sugieren que las larvas en estudio presentan un nivel de degradación que difiere según el tipo de sustrato. Se reporta que los (RD) presentaron la mayor eficiencia, donde estas larvas llegaron a degradar hasta 4 veces su peso inicial durante el ciclo vital.

Tabla 4. Degradación efectiva y total de residuos sólidos

Residuo Orgánico	Tratamiento	Degradación Efectiva (g)	Promedio Degradación Efectiva (g)	Degradación Total	WRI %/día	Promedio WRI %/día
Mercado	T1	97.2	95.0	0.0948	1.1230	1.1674
	T1	98.7		0.0962	1.1664	
	T1	89.1		0.0869	1.2130	
Restaurante	T2	56.4	56.2	0.0560	0.6113	0.6092
	T2	57.4		0.0534	0.6222	
	T2	54.8		0.1001	0.5940	
Domiciliario	T3	102.6	107.4	0.1001	1.0536	1.0298
	T3	111.9		0.1091	1.0699	
	T3	107.6		0.1049	0.9658	

Fuente: Elaboración propia.



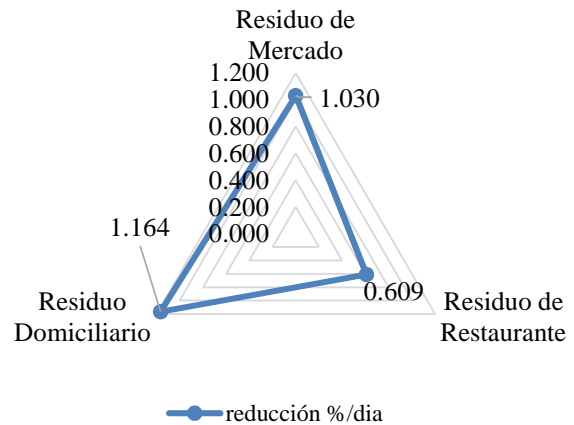
**Figura 5.** Degradación efectiva de larvas de *M. domestica* L.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Los resultados de este estudio muestran que los residuos de restaurante fueron los de menor degradación efectiva presente. En Freitas *et al.* [19], se afirma que el éxito de un organismo o una comunidad biodegradadora va a depender de un conjunto de factores limitantes, entre los que se encuentran las condiciones ambientales, la composición de la materia orgánica, el acceso limitado a los alimentos por el alto contenido de humedad y grasas, el tamaño de las partículas y el contenido de humedad, entre otros parámetros, lo que puede perturbar en el sistema la comunidad de organismos, influyendo en la degradación de residuos. Datos similares fueron reportados en la Meneguz *et al.* [20], donde se afirma que el tipo de alimento puede influir en el rendimiento de las larvas, reportando que la calidad del sustrato afecta el crecimiento de las moscas soldado negra (MSN). Por ejemplo, si la dieta alimenticia consta de harina de carne, carne de cerdo, pescado o hígado, estas por ser demasiado gruesas, el consumo de estos por parte de las larvas se ve reducido, resultados que están asociados con los resultados reportados en los residuos de restaurante en esta investigación, donde las larvas alimentadas con este tipo de residuo exhibieron el menor índice de reducción de residuos debido a la saturación de harinas y grasas.

### 5.1.2 Índice de reducción de residuos sólidos orgánicos

A través del Análisis de Varianza se pudo demostrar la presencia de diferencias significativas entre los índices de reducción de residuos (WRI). Por lo tanto, se optó por aplicar la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) para el índice de reducción de residuos orgánicos, lo que permitió realizar múltiples comparaciones asociadas a las medias de cada uno de los tratamientos, donde se muestra el % de degradación por día de residuos orgánicos para cada tratamiento, observando un 1.164 %/día en los residuos domiciliarios (RD), donde este el mejor

tratamiento, seguido por el residuos de mercado (RM) con 1.030 %/día, y por último los residuos de restaurante (RR) con el menor valor reportado de 0.609 %/día. Estos resultados evidencian que el índice de reducción de residuos orgánicos varía en relación directa al tratamiento, ver figura 6.



**Figura 6.** Índice de reducción de residuos sólidos orgánicos.  
**Fuente:** Elaboración propia.

En un estudio realizado por Ground *et al.* [9] donde se evaluó el índice de reducción de residuos (WRI) de café molido, se reportó valores entre 0.83 y 4 %/día, valores superiores a los reportados en este estudio, probablemente debido a ciertos factores como la presencia de variadas tasas de alimentación, la humedad del material o contenido de fibra, pero sobre todo por la capacidad que presenta cada especie para degradar el residuo orgánico. Esto concuerda con los expuestos en la referencia, que son quienes sostienen que una eficiente transformación de materia orgánica dependerá de la naturaleza física y química del residuo, de los organismos que intervienen durante el proceso de transformación, pero sobre todo de las condiciones físico químicas del proceso.

Por otra parte, Manurung *et al.* [21] sobre un estudio de bioconversión de residuos orgánicos a través de larvas de mosca soldado negro (*Hermetia illucens* L.) alimentada con seis cantidades de alimentos (12,5, 25, 50, 100, y 200 mg/larvas/día) hasta que estas alcanzaran el estado de prepupa, se evidenció que la eficiencia de reducción de residuos más alta fue reportada en larvas con una velocidad de alimentación de 12,5 mg/larva/día con un índice de reducción de residuos (WRI) de 0.58 %/día, valor inferior a los alcanzados en esta investigación, donde el residuo de restaurante (RR) fue el que exhibió un índice de reducción menor con un valor de 0.609 %/día. Este hallazgo permite corroborar la hipótesis de que las características de la materia orgánica y de los organismos que intervienen, así como de las condiciones físicas químicas del

proceso como humedad, aireación, temperatura y pH son condicionantes para una efectiva de residuos orgánicos.

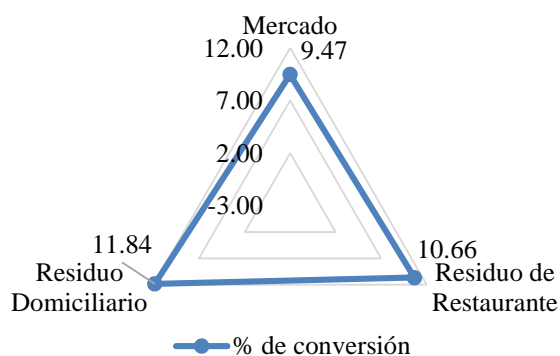
### 5.1.3 Eficiencia de conversión de los alimentos ingeridos (ECI)

Según los resultados obtenidos del análisis de varianza, se reportó que no hay diferencia significativa entre la eficiencia de conversión de alimentos ingeridos (ECI) para los diferentes tratamientos, se optó por aplicar la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) para analizar la eficiencia de conversión de alimentos ingeridos por las larvas según el tratamiento, lo que permitió realizar múltiples comparaciones, según las medias de cada tratamiento, ver tabla 6, donde se observa una eficiencia de conversión en los residuos domiciliarios (RD) de 11.840%, es este el mejor tratamiento en la conversión de alimentos ingeridos por las larvas de mosca doméstica, seguido de un 10.661% para los residuos de restaurante (RR), y por último un 9.472% para residuos de mercado (RM), es el que menor eficiencia presentó en la conversión de alimentos ingeridos, ver figura 7.

**Tabla 6.** Prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) eficiencia de conversión de alimentos ingeridos (ECI)

Prueba	Residuos Orgánicos	N	Media angular	ECI %	Grupos
Tukey	RD	3	20.060	11.840	A
	RR	3	19.057	10.661	A
	RM	3	17.922	9.472	A

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 7.** Eficiencia en la conversión de alimentos ingeridos.

Fuente: Elaboración propia.

Durante un estudio de la evaluación de la eficiencia de conversión alimenticia de residuos orgánicos de café molido

[9], obtuvieron una eficiencia de conversión entre 2.71% - 5%, resultado diferente al obtenido en el presente estudio, donde las larvas de mosca doméstica presentaron un índice de conversión de alimentos ingeridos superior con valores entre 9.47% - 11.84%, es el residuo de origen domiciliario el de mejor eficiencia, resultado que puede afirmar la anterior explicación relacionada con el balance de masa, aseverando que cuando el alimento se da en pequeñas cantidades se genera una alta cantidad de alimento que es utilizado por el metabolismo.

### 5.2 Tasas de crecimiento de larvas de *Musca domestica* L.

#### 5.2.1 Incremento en longitud de larvas de *Musca domestica* L.

Con respecto al incremento de la longitud total, se reportó para los residuos de origen domiciliario (RD) longitudes superiores en larvas alimentadas con este tipo de residuo con un ( $p < 0.05$ ). De igual manera, se pudo observar diferencias significativas entre las longitudes de las crías y el tipo de tratamiento, ver tabla 7. Se encontraron diferencias significativas con un  $p < 0.05$  entre los tratamientos y las tasas de crecimiento absoluta (TAC), relativa (TRC) y específica (TEC), ver tabla 8. Las diferencias encontradas están directamente relacionadas con una mayor cantidad de proteínas en la dieta. Es decir, cuanto mayor es la concentración de proteínas en los alimentos, mayores serán las tasas de crecimiento. Esto es corroborado a través de los resultados, donde se observó un máximo incremento diario de longitud total de 0.333 mm/día en el tratamiento con residuos domiciliarios (RD), seguido de 0.220 mm/día para residuos de restaurante (RR) y un mínimo para los residuos de mercado (RM) con un incremento en longitud de 0.160 mm/día, lo que significa un crecimiento relativo (CR) del 26%, 17% y 12% respectivamente.

**Tabla 7.** Tasa de crecimiento absoluta (TAC), relativa (TRC) y específica (TEC) absoluta en longitud total (mm) de larvas de *Musca domestica* L.

Parámetro/Promedio	Residuo de Mercado (RM)	Residuo de Restaurante (RR)	Residuo Domiciliario (RD)
Talla inicial promedio (mm)	12.055	11.659	11.721
Talla final promedio (mm)	13.499	13.637	14.715
Crecimiento absoluto (mm)	1.444	1.977	2.994

Tasa absoluta de crecimiento TAC (mm/día)	0.160	0.220	0.333
Crecimiento relativo (%)	12	17	26
Tasa relativa de crecimiento TRC (%)	1.333	1.880	2.840
Tasa específica de crecimiento TEC (%/día)	1.260	1.740	2.530
Tiempo (días)	9	9	9

Fuente: Elaboración propia.

Según Meneguz *et al.* [20], en larvas de mosca soldado negro y dietas con altas concentraciones de proteína y grasas, se generan mayores tasas de crecimiento en menor tiempo, lo que refleja posibles diferencias entre los sustratos y en el contenido de nutrientes como carbohidratos estructurales y no estructurales, aminoácidos e inclusive en términos de digestibilidad de los nutrientes. Datos similares se observaron en esta investigación con larvas de mosca doméstica, donde se observó un patrón en el crecimiento larval de rápido aumento en la longitud en larvas obtenidas en sustratos de restaurante, superior a los residuos de mercado. A pesar de tener una rápida tasa de crecimiento, fue el menor peso reportado en contraste con los obtenidos en los demás tratamientos.

Estos resultados son aseverados a través de los resultados obtenidos por Manurung *et al* [21], donde se evaluó si el tipo de sustrato de cría y su composición de macronutrientes influye en el crecimiento de *Hermetia illucens* (MSN), estudio que se realizó a través de un índice de crecimiento por tiempo, que midió el crecimiento larvario como el tiempo del desarrollo larvario. Este índice identificó a la "mejor dieta", como aquella en la que las larvas de MSN convierten la mayor biomasa en menor tiempo, el cual fue altamente diferente de manera significativa ( $F(5.30) = 19.43; p < 0.001$ ) entre los grupos experimentales, demostrando que cualquier dieta con grano gastado, ya sea solo o en combinación con fruta, arroja resultados con un valor más alto de este índice, mientras que todas las demás dietas obtuvieron los valores más bajos, lo que refleja que el tipo de sustrato y su composición afectará el tiempo del ciclo vital, lo que se ve reflejado en una mayor talla en menor tiempo.

**Tabla 8.** Análisis estadístico de las tasas de crecimiento de larvas (Prueba de Tukey) - Tasa de crecimiento absoluta (TAC), relativa (TRC) y específica (TEC) en peso y longitud

Prueba	Parámetros	Residuos Orgánicos	N	Media	TAC cm/día	Grupo
Tukey	TAC Peso	RD	3	0.3327	0.3327	A
		RR	3	0.2197	0.2197	B
		RM	3	0.1604	0.1604	C
	TAC Long.	RD	3	2.254	2.254	A
		RM	3	1.597	1.597	B
		RR	3	1.065	1.065	B
	TRC Long.	RD	3	9.6999	2.846	A
		RR	3	7.9057	1.892	B
		RM	3	6.668	1.348	C
	TRC Peso	RD	3	13.514	5.48	A
		RM	3	12.316	4.56	A
		RR	3	9.265	2.59	B
	TEC Long.	RD	3	9.139	2.528	A
		RR	3	7.582	1.741	B
		RM	3	6.439	1.258	C
	TEC peso	RD	3	12.116	4.416	A
		RM	3	12.209	3.783	A
		RR	3	8.709	2.294	B

Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.2 Incremento en peso de larvas de *Musca domestica* L.

Los mejores resultados ( $p < 0.05$ ) se presentaron en larvas alimentadas con residuos domiciliarios, los cuales presentan un mayor contenido de proteínas y de lípidos, así como una menor cantidad de carbohidratos. Asimismo, no se encontraron diferencias estadísticas significativas ( $p > 0.05$ ) entre las tasas relativas de crecimiento (TAC) y tasas específicas de crecimiento entre larvas alimentadas con residuos domiciliarios y de mercado. El incremento diario máximo en peso fue de 2.254 mg/día con residuos domiciliarios (RD), seguido de residuos de mercado (RM) con 1.597 y el menor 1.065 mg/día con residuos orgánicos de restaurante (RR), lo anterior representa una diferencia de 27.50% a favor de los primeros ( $p < 0.05$ ). Esto representa un crecimiento relativo (CR) del 49.6 %, 40.382 % y 23.3 % respectivamente, ver tabla 9.

**Tabla 9.** Tasa de crecimiento absoluta (TAC), relativa (TRC) y específica (TEC) en peso (mg) de larvas de *Musca domestica* L:

Parámetro/ Promedio	Residuo Mercado (RM)	Residuo Restaura nte (RR)	Residuo Domici liario (RD)
Peso inicial (mg)	35.593	41.093	40.907
Peso final (mg)	49.967	50.681	61.193
Ganancia en peso (mg)	14.373	9.588	20.287
Tasa absoluta de crecimiento TAC (mg/día)	1.597	1.065	2.254
Crecimiento relativo (%)	40.382	23.332	49.593
Tasa de crecimiento relativo TCR (%)	4.487	2.592	5.510
Tasa específica de crecimiento TEC (%/día)	3.783	2.294	4.416
Tiempo (días)	9	9	9

Fuente: Elaboración propia.

El peso y el rendimiento de las larvas fueron afectados por la concentración de nutrientes en las tres densidades de larvas, en donde las larvas obtenidas en el sustrato de restaurante que presentaron un menor aumento de peso debido a la sobresaturación de grasas. Según Manurung *et al.* [21] larvas alimentadas con 200 mg de paja de arroz molida al día presentan un peso seco prepupal más alto en un tiempo de desarrollo más corto, con una media de 13.64 mg y 38 días, respectivamente, lo que demuestra que la disminución de la cantidad de alimento produce un menor peso prepupal y un mayor tiempo de desarrollo.

Según Beniers & Graham [22] en el estudio sobre el efecto de diferentes dietas con una variedad de concentraciones de proteínas y carbohidratos y su efecto en el crecimiento y composición de las larvas de la mosca soldado negra (*H. illucens*), se demostró que tanto la proteína de la dieta como los carbohidratos de la dieta, afectan significativamente el peso fresco y seco de las larvas, en donde es la proteína de la dieta el indicador más fuerte del peso fresco y seco de las larvas que los carbohidratos de la dieta, por lo que la composición de las larvas se vio influenciada por el tipo de alimento, obteniendo larvas más pesadas, lo que significa más grasa que las de menor peso, mientras que la concentración de cenizas fue muy estable a lo largo de su ciclo de vida.

### 5.3 Mortalidad y supervivencia de larvas de *Musca domestica* L.

Con respecto a los resultados sobre mortalidad, supervivencia y transformación de las larvas de mosca doméstica durante su fase de crecimiento, se pudo observar una variación entre los diferentes tipos de residuos, ver tabla 10. En lo que corresponde a los resultados alcanzados por larvas alimentadas con residuos domiciliarios (RD) y residuos de restaurante (RR) estas no mostraron mortalidad alguna, en ambos tratamientos son eficaces para el crecimiento de larvas de *M. domestica* L., y los residuos de mercado (RM) el último tratamiento con un 80% de supervivencia y 20% de mortalidad, en el cual se evidenció la muerte de larvas durante los primeros días de inoculación, hecho que sea posiblemente consecuencia del proceso de selección realizada en la fase de aclimatación y de la tolerancia de los alimentos y de las características físicas y químicas del residuo orgánico [22].

En estudio con tratamientos de diferentes pH se demostró como este factor influye en el peso de las larvas el primer, tercer y quinto día, pero no al final del ensayo, en donde se observa que la actividad larvaria aumentó los valores de pH a partir del cuarto día, con valores finales de alrededor de 8,9±9,4 en todos los tratamientos, además de una variación del peso de las prepupas entre 0.094 y 0.100 g. Se observó, que el peso final de las larvas y pupas, la proporción sexual, la cantidad de alimento ingerido, la mortalidad de las larvas, y el tiempo que necesitaron para alcanzar el estadio de pupa se vieron afectados por el tipo de alimento, lo que demuestra evaluar adecuadamente el tipo de alimento con el que se alimentarán las larvas y el valor inicial del pH del sustrato son parámetros importantes para reducir el tiempo y aumentar el peso en la producción de larvas [23].

**Tabla 10.** Porcentaje de mortalidad y supervivencia de larvas de *Musca domestica* L.

Residuos Orgánicos	Tratamientos	% Mortalidad de larvas	% Supervivencia	% Transformación	pH pre	pH post
					tratamientos	tratamientos
Mercado	T1	25.60	74.40	3.2	5.4	6.1
	T1	25.28	74.72	4.0	5.2	6.0
	T1	27.52	72.48	3.2	5.3	6.0
Restaurante	T2	0.0	100.0	0.0	6.0	5.2
	T2	0.0	100.0	0.0	6.2	5.1
	T2	0.0	100.0	0.0	6.1	5.0
Domiciliar	T3	0.0	100.0	16.0	6.3	7.2
	T3	0.0	100.0	16.8	6.1	7.1
	T3	0.0	100.0	15.2	6.0	7.0

Fuente: Elaboración propia.



Según datos reportados en Arroyave Sierra *et al.* [24], durante un estudio sobre el crecimiento de larvas de mosca soldado con diferentes alimentos y durante cuatro semanas, se observó que la alimentación con porcínaza produce larvas con menor desempeño en peso, largo y ancho, comparado con las alimentadas con gallinaza y alimento para ponedoras, los cuales no presentan diferencias significativas, lo que indica que la gallinaza y el alimento para ponedoras son más eficientes en términos de crecimiento, por su composición presentan un excelente valor nutricional y de elevada digestibilidad, con un adecuado contenido de proteína y carbohidratos para la alimentación de las larvas y en el caso de la gallinaza por estar enriquecida microbiológicamente, lo que contribuye con las concentraciones de nutrientes de para ser consumidas por las larvas.

Con respecto a la humedad como factor limitante para la supervivencia de larvas de insectos, según Tadayyon *et al.* [15] se demostró que este es otro factor de gran importancia para la sobrevivencia de las larvas. Si esta es baja, estas larvas pueden secarse, mientras que un medio de crecimiento con demasiada humedad conduce a su ahogamiento. En relación con la transformación de larvas de mosca doméstica a pupa durante un tiempo de nueve (9) días, periodo que duró la experimentación, la mayor transformación en pupas se comprobó en residuos domiciliarios (RD) con 16% seguido de residuos de mercado (RM) con 3.3% y por último residuos de restaurante (RR), en donde las pupas estuvieron ausentes. Debido a que los residuos presentaban mayor humedad, quienes sostienen que las pupas soportan una menor humedad para su desarrollo, donde esta humedad esencial en el proceso de metamorfosis en pupas de larvas, por lo que este factor está relacionado con la duración de los estados de larva y pupa de las moscas domésticas.

Por su parte, en Gold *et al.* [25] evaluaron ciertos parámetros de rendimiento en larvas de soldado negro, tales como: la supervivencia y la tasa de bioconversión, la reducción de residuos y la eficiencia de conversión de residuos y proteínas, alimentadas con diferentes fórmulas alimenticias, reportando que en comparación con los piensos usados para alimentación de aves de corral, los residuos de origen vegetal son los que generan mejores resultados, con el peor obtenido del estiércol de vaca. Esto demuestra un mejor rendimiento y una menor variabilidad en comparación con los residuos individuales, que es una de las razones de esta variabilidad del contenido en fibra y lípidos, y así generar una orientación sobre cómo el funcionamiento sistemático de los tratamientos más adecuados a utilizar basados en el uso de biorresiduos de diferente composición y origen.

## 6. Conclusiones

- Las larvas de la mosca doméstica (*M. domestica* L.), son capaces de digerir y degradar residuos orgánicos de manera eficaz. El índice de reducción de residuos orgánicos varía en relación directa al tipo de residuo empleado y los residuos domiciliarios (RD) fueron el mejor tratamiento, con un índice de reducción de 1.167 %/día, donde las larvas degradan hasta 4 veces su peso en un periodo de vida de 9 días.
- En relación con la conversión de alimentos ingeridos por larvas de mosca doméstica, se demostró estadísticamente que no existe diferencia significativa entre los tratamientos, sin embargo, el mejor tratamiento fue el de residuos domiciliarios (RD) con 11.840 %.
- En relación con el incremento de longitud de larvas de mosca doméstica, las tasas de crecimiento absoluta (TAC), relativa (TRC) y específica (TEC) fueron significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ) en todos los tratamientos. El tipo de sustrato afectó significativamente la capacidad de las larvas para desarrollarse con respecto a la tasa de crecimiento, la mortalidad, y la transformación en pupas.
- Cuanto mayor es la tasa de crecimiento de las larvas de Mosca doméstica, más alto es el índice de reducción de residuos orgánicos.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Juliaca, Perú por las herramientas por el apoyo institucional y durante la formación profesional.

A los docentes de la Escuela Profesional Ingeniería Ambiental y Forestal, por los conocimientos impartidos que permitieron cumplir con esta investigación.

## REFERENCIAS

- [1] M. A. Vitorino de Souza, S. Montenegro, K. Faceli & V. Casadei. Technologies and decision support systems to aid solid-waste management: a systematic review. Vol. 59, pp. 567–584. 2017. [Online]. Available: Doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.045>.
- [2] M. Neugebauer & P. Sołowiej. El uso de residuos verdes para superar la dificultad del compostaje a pequeña escala de residuos orgánicos domésticos. Journal of Cleaner Production, no.156, pp. 865–875. 2017. [Online]. Available: doi: 10.1016/j.jclepro.2017.04.095.
- [3] E. Kazuva & J. Zhang. Analyzing Municipal Solid Waste Treatment Scenarios in Rapidly Urbanizing Cities in Developing Countries: The Case of Dar es Salaam, Tanzania. International Journal of Environmental Research and Public Health, vol.16, no. 11, pp.20-35. 2019. [Online]. Available: doi:10.3390/ijerph16112035.
- [4] P. S. Michel Devadoss, P. Agamuthu, S. B. Mehran, C. Santha & S. H. Fauzia. Implications of municipal solid waste management on greenhouse gas emissions in Malaysia and the

- way forward. *Waste Management*, vol. 119, pp.135-144. 2021. [Online]. Available: doi: 10.1016 / j.wasman.2020.09.038.
- [5] R. Salomone, G. Saija, G. Mondello, A. Giannetto, S. Fasulo & D. Savastano. Environmental impact of food waste bioconversion by insects: Application of Life Cycle Assessment to process using *Hermetia illucens*. *Journal of Cleaner Production*, vol. 140, pp. 890–905. 2021. [Online]. Available: doi: 10.1016 / j.jclepro.2016.06.154.
- [6] N. Fadhillah & A. Y. Bagastyo. Utilization of *Hermetia illucens* Larvae as A Bioconversion Agent to Reduce Organic Waste IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 506, 012005. 2020. [Online]. Available: doi: 10.1088 / 1755-1315 / 506/1/012005.
- [7] A. Van Huis & D. G. Oonincx. The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, vol.37, no. 5, pp. 43 .2017.
- [8] A. Kahar, M. Busyairi, S., Agus Hermanto, A. Ristanti. Bioconversion of municipal organic waste using black soldier fly larvae into compost and liquid organic fertilizer. *Konversi*, vol. 9, no. 2, pp. 35-40. 2020. [Online]. Available: Doi: 10.20527/k.v9i2.9176.
- [9] C. Ground, A. D. Permana, J. Esther & N. R. Eka. Growth of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Fed on Spent Growth of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Fed on Spent Coffee Ground. 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/https://doi.org/10.1088/1755-1315/187/1/012070>.
- [10] Y. Niu, D. Zheng, B. Yao, Z. Cai, Z. Zhao, S. Wu, ... D. Yang. A novel bioconversion for value-added products from food waste using *Musca domestica*. *Waste Management*, vol.61, pp. 455–460. 2017. [Online]. Available: doi:10.1016/j.wasman.2016.10.054)
- [11] M. Limas & J. E. Blanco. Prácticas de consumo-desecho de residuos sólidos domiciliarios en Ciudad Juárez en 2014. *Iztapalapa. Revista de ciencias sociales y humanidades*, vol.38, no.83, pp. 97-132. 2017. [Online]. Available: <https://dx.doi.org/10.28928/revistaiztapalapa/832017/atc4/blancoromeroje/limashernandez>
- [12] J. Vázquez, M. Álvarez-Vera, S. Iglesias-Abad & J. Castillo. La incorporación de enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost reduce los efectos negativos del monocultivo en suelos. *Scientia Agropecuaria*, vol.11, no.1, pp. 105-112. 2020. [Online]. Available: Doi <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.12>.
- [13] K. Paritosh, M. Yadav, S. Mathur, V. Balan & W. Liao. Organic Fraction of Municipal Solid Waste: Overview of Treatment Methodologies to Enhance Anaerobic Biodegradability, vol.6, pp. 1–17. 2018. [Online]. Available: Doi <https://doi.org/10.3389/fenrg.2018.00075>.
- [14] Y. S. Wang & M. Shelomi. Review of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as Animal Feed and Human Food. *Foods*, vol.6, no.10, pp91. 2017. [Online]. Available: 10.3390/foods6100091. PMID: 29057841; PMCID: PMC5664030.
- [15] Tadayyon, A., Naeimi, M. M., & Pessarakli, M. Effects of vermicompost and vermiwash biofertilizers on fenugreek (*Trigonella foenum*) plant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 49, no. 19, pp. 2396–2405. 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1510950>.
- [16] A. Meraz, A. López, C. A. García, J. A. Torres & M. A. García. Distribución potencial de *Musca doméstica* en el municipio de Jesús María, Aguascalientes, con el uso de escenarios de cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, pp.14–29. 2019. [Online] Available Doi: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v10i1.4241>.
- [17] H. Villegas. Mosca Domestica Biología y Control. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León. C, vol. 8, no. 2, pp.11–29. 2017. [Online]. Available: [http://artropodosysalud.com/Publicaciones/No8-Dic2017/4Mosca\\_Domestica.pdf](http://artropodosysalud.com/Publicaciones/No8-Dic2017/4Mosca_Domestica.pdf).
- [18] R. Hernández, C. Fernández & P. Baptista. Metodología de la investigación. *Journal of Chemical Information and Modeling* . Vol. 53. 2014. [Online]. Available: Doi: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- [19] A. F. Freitas, V. D. Leite, M. M. P. da Silva, R. B. Gomes, M. J. Silva, F. L. B. Farias & A. T. Barros. Aerobic treatment of organic solid waste generated in a vertical condominium as a sustainable alternative. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 9, n. 10, p. e8469109168, 2020. [Online]. Available: Doi: 10.33448/rsd-v9i10.9168.
- [20] M. Meneguz, A. Schiavone, F. Gai, A. Dama, C. Lussiana M. Renna & L. Gasco. Efecto del sustrato de cría sobre el rendimiento del crecimiento, la eficiencia de reducción de desechos y la composición química de las larvas de la mosca soldado negra (*Hermetia illucens*). *Revista de Ciencias de la Alimentación y la Agricultura*, 2018. [Online] Available: doi: 10.1002 / jsfa.9127.
- [21] R. Manurung, A. Supriatna, R. R. Eshyanthi & R. E. Putra. Optimal feed rate for biomass production. ~ 1036 ~ *Journal of Entomology and Zoology Studies*, vol.4, no. 4, pp. 1036– 1041. 2016. [Online]. Available: <http://www.entomoljournal.com/archives/2016/vol4issue4/PartK/4-3-163-796.pdf>
- [22] J.J.A. Beniers & R.I. Graham. Effect of protein and carbohydrate feed concentrations on the growth and composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Journal of Insects as Food and Feed*, vol. 5. no. 3, pp 193 – 199. 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3920/JIFF2018.0001>
- [23] Meneguz, L. Gasco & J. K. Tomberlin. Impact of pH and feeding system on black soldier fly (*Hermetia illucens*, L; Diptera: Stratiomyidae) larval development. *PLoS ONE*, vol. 13, no.8. 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202591>.
- [24] O. Arroyave Sierra, J. Chamorro Rengifo & A. Ochoa Muñoz. Crecimiento de larvas de mosca soldado alimentadas con gallinaza, porcínaza y alimento para ponedoras. *Revista Colombiana De Ciencia Animal - RECIA*, vol. 11, no.2, pp. 730. 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.24188/recia.v11.n2.2019.730>.
- [25] M. Gold, C. M. Cassar, C. Zurbrugg, M. Kreuzer, S. Boulos, S. Diener & A. Mathys. Biowaste treatment with black soldier fly larvae: Increasing performance through the formulation of biowastes based on protein and carbohydrates. *Waste Management*, vol. 102, pp. 319–329. 2019. [Online]. Available: doi:10.1016/j.wasman.2019.10.036.

# Título del artículo en español

(El título no debe ser muy extenso, tipo de fuente Times New Roman, tamaño de 18 puntos y centrado, solo la primera letra de la palabra inicial y los nombres propios en mayúscula. Se debe dejar un espacio de 12 puntos entre el título en español e inglés)

# Título del artículo en inglés

(Tipo de fuente Times New Roman, tamaño de 18 puntos y centrado)

---

*Nombre del estudiante<sup>1</sup>, Nombre del asesor<sup>2\*</sup>*

*<sup>1</sup>Unidad a la que está adscrito, grupo de investigación, entidad a la que está afiliado, <sup>2</sup>Unidad a la que está adscrito, grupo de investigación, entidad a la que está afiliado*

(Tamaño de fuente para la afiliación de 10 puntos y en cursiva)

**Resumen** Este documento proporciona instrucciones a los autores sobre el formato de los artículos para su publicación en RIC. El autor puede utilizar este documento como instrucciones y como una plantilla en la que puede escribir su propio texto. Use esta plantilla para escribir sobre ella, cada sección de la plantilla está formateada con los detalles necesarios para cumplir con los requisitos de la revista. Elimine sobre la marcha, todo material que no sea parte del manuscrito. Todo trabajo debe presentar un resumen que es la mini versión del artículo. Debe incluir brevemente: objetivo del artículo, metodología, resumen de resultados y principales conclusiones; con una extensión: entre 150 y 250 palabras. El título debe ir en negrita con fuente Times New Roman y tamaño de fuente de 12 puntos. El cuerpo del resumen con fuente Times New Roman y tamaño de fuente de 10 puntos, inmediatamente después del encabezado en el mismo párrafo.

**Palabras clave** Incluya por lo menos tres palabras clave, deben aparecer en orden alfabético, las palabras clave deben estar separadas por comas y solo la primera palabra en mayúscula, al menos sean nombres propios.

**Abstract** This section provides a sample of an abstract and keywords which conform to the formatting guidelines for RIC.

**Keywords** Abstract, guidelines for authors, keywords, RIC. (Las palabras en inglés deben tener el mismo orden que las palabras en español)

---

\* Corresponding author: [correo\\_electrónico\\_asesor@ejemplo.com](mailto:correo_electrónico_asesor@ejemplo.com) (solo el correo del autor principal en Times New Roman y tamaño de Fuente de 8 puntos).

## 1. Introducción

En esta sección el autor debe ubicar al lector en el contexto del trabajo:

- La naturaleza del problema cuya solución o información se describe en el documento.
- El estado del arte en el dominio tratado (con sus respectivas referencias bibliográficas).
- El objetivo del trabajo, su relevancia y su contribución en relación al estado del arte.
- Descripción de la estructura del artículo.

Este documento es el instructivo para estudiantes, use esta plantilla para escribir sobre ella, cada sección de la plantilla está formateada con los detalles necesarios para cumplir con los requisitos de la revista. Elimine sobre la marcha, todo material que no sea parte del manuscrito. Este instructivo es una plantilla que el autor puede modificar para preparar la versión electrónica de sus artículos, de acuerdo a su investigación. Todos los componentes de un artículo estándar han sido especificados por tres razones: 1) fácil uso al preparar

el documento, 2) cumplimiento de los requisitos electrónicos que facilitan la producción de artículos electrónicos, y 3) márgenes, columnas, espaciado interlineal y estilos de letras son incorporados. Ejemplos de estilos de letras son proporcionados a lo largo de este documento; así como algunos componentes, tales como ecuaciones, gráficas y tablas. El autor necesitará crear estos componentes incorporando los siguientes criterios: use estilos, fuentes y tamaños de letras tal como se definen en esta plantilla, no las cambie o redefina de ninguna manera para evitar alteraciones en la plantilla.

### 1.1 Diseño de la página

El contenido del documento debe limitarse a un máximo de 12 páginas, incluyendo texto, ilustraciones, gráficos y referencias. Por página se entiende una cara de papel tamaño carta o 21.59 cm x 27.94 cm (8.5" x 11"). El cuerpo del artículo es a dos columnas, cada una con 8.79 cm de ancho y 1.0 cm de espacio entre cada columna.

La configuración de los márgenes es la siguiente: superior 3 cm, inferior 2.5 cm, izquierdo 1.5 cm y derecho 1.5 cm.

## 1.2 Tipos de letra y estilos

Utilice un procesador de texto con el tipo de letra Times New Roman. Por favor, evite el uso de “bit-mapped fonts”.

Los párrafos deben iniciar con una sangría de 0.5 cm. Además, el texto debe estar completamente justificado, no debe agregar espacios en blanco entre los párrafos de cada sección y los extranjerismos (solo aplica para artículo en español) no adaptados deben escribirse en cursiva.

## 1.3 Nombres y afiliaciones de los autores

Los datos del autor no deben mostrar ningún título profesional (ejemplo. gerente o director), ningún título académico (ejemplo. Dr., Mgter u otro) o membresía de ninguna organización profesional (ejemplo. miembro de la IEEE).

Para evitar confusiones, el apellido debe ser escrito como la última parte del nombre de cada autor (por ejemplo: John A.K. Smith).

Cada afiliación debe incluir los siguientes elementos: unidad a la que está adscrito, grupo de investigación, entidad a la que está afiliado y el correo electrónico del autor principal. El último elemento es obligatorio porque facilita la comunicación entre el autor y el lector.

Los autores y coautores de la UTP deben utilizar el nombre completo de la universidad y sin traducirlo a otro idioma. En otras palabras, la entidad de afiliación es “Universidad Tecnológica de Panamá”. Esta medida contribuye positivamente en el conteo por entidad que realiza SCOPUS u otras herramientas, tales como: *Research ID1* y *WoS2*

## 1.4 Texto principal

Escriba el texto principal en Times New Roman 10 puntos a espacio sencillo.

## 1.5 Títulos de las secciones

En las secciones y subsecciones no deben utilizar más de tres niveles de títulos. Otros títulos (subsecciones) deben tener una fuente de 10 puntos excepto los títulos de primer nivel, que son de 14 puntos. Los títulos no llevan punto al final.

- Primer nivel de título: un título en el nivel uno debe estar justificado a la izquierda, fuente Times New Roman, tamaño 14 puntos y enumerado con números arábigos seguido por un punto, ejemplo: ver el título “2. Materiales y métodos” de este documento. Los títulos “Agradecimientos” y “Referencias” no deben ser enumerados.
- Segundo y tercer nivel de título: un título en el nivel dos y tres deben estar justificado a la izquierda y enumerado con números arábigos, y deben tener una fuente de 10 puntos

en negrita. Por ejemplo, ver el título “1.6 Figuras y tablas” o “1.6.1 Título de figura”.

Además, la numeración de estas cabeceras no culmina con un punto. Las viñetas deben justificarse a la izquierda y a espacio sencillo. La sangría entre la viñeta y el texto es de 0.5 cm.

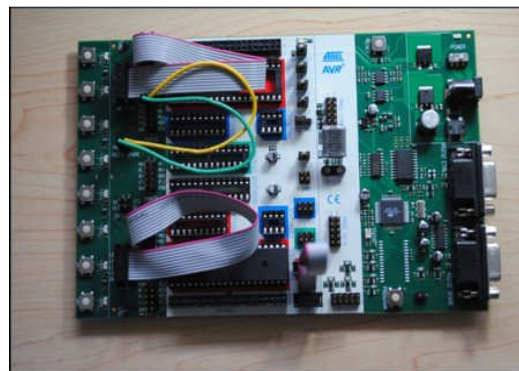
**Nota:** las secciones principales y subsecciones deben estar separadas mediante un interlineado sencillo (espacio en blanco) de tamaño 10 puntos. Además, escriba un texto entre el título de una sección y una subsección o entre subsecciones, no deje ese espacio en blanco, ver ejemplo entre las subsecciones 1.6 y 1.6.1.

## 1.6 Figuras y tablas

Las leyendas de figuras (colocadas al pie de la figura) y títulos de las tablas (colocados en el encabezado de la tabla), deben ser en Times New Roman de 8 puntos. La primera palabra de la leyenda debe iniciar con letra mayúscula. Las palabras “Figura” y “Tabla” deben ser en negrita, incluyendo el número de secuencia y el punto.

Los gráficos y otras figuras enumeradas deben aparecer en el texto tan cerca de su mención como sea posible. Las figuras no deben infringir sobre los bordes de las páginas.

Las figuras y las tablas deben estar centradas en la columna y su formato debe ser en **línea con el texto** (evitando que la figura quede flotando en el documento). Las figuras y tablas de gran tamaño pueden estar en una columna (ancho total de la página, dentro de los márgenes) con el objetivo de que puedan apreciarse con más claridad; además, deben estar posicionadas en la parte superior o inferior de la página.



**Figura 1.** Un ejemplo de un gráfico de líneas con colores que contrastan bien en pantalla como en una copia impresa en blanco y negro.

### 1.6.1 Título de la figura

Las figuras deben ser enumeradas con números arábigos y fuente regular de 8 puntos regular. Los títulos de figuras deben estar justificados y llevar punto al final (ejemplo: ver figura 1).

La mención de una figura en el texto del artículo debe realizarse antes de su aparición, tal como se aprecia con la



figura 2 y la palabra figura debe ir en minúscula dentro del párrafo.

Las fotografías e imágenes (tablas, diagramas, gráficos y ecuaciones) deben tener una resolución mínima de 300 ppp (píxeles por pulgada) o dpi (dots per inch). Procure que la resolución de las imágenes facilite el envío del artículo a través de la plataforma.

No hay un límite en cuanto a la cantidad máxima de imágenes permitidas. Sin embargo, límitese a incluir las imágenes y ecuaciones más esenciales o novedosas como se aprecia con la figura 2.



**Figura 2.** Ejemplo de una imagen con resolución aceptable.

**Fuente:** Universidad Tecnológica de Panamá.

### 1.6.2 Título de las tablas

Las tablas deben enumerarse con números arábigos. Los títulos de las tablas deben centrarse, colocarse en la parte superior, no llevan punto al final y con una fuente regular de 8 puntos. La mención de una tabla en el texto del artículo debe realizarse antes de su aparición. Dentro de las tablas los títulos deberán ir en negrita ver tabla 1.

**Tabla 1.** Ejemplo de títulos de tablas

#	Artículo	Cantidad
1	Volumen 6.0	25
2	Volumen 6.1	20
3	Volumen 6.2	15

### 1.6.3 Fuente

El autor es responsable de garantizar el cumplimiento de los requisitos establecidos para las imágenes. En caso de que la imagen, tabla o gráfica no sea de su autoría deberá colocar el autor correspondiente ver figura 2.

La palabra fuente va en negrita seguido de dos puntos, deben estar justificados y llevar punto al final.

### 1.7 Enlaces (Links) y marcadores (bookmarks)

Los enlaces y marcadores deben ser removidos del artículo durante el proceso de elaboración. Si usted necesita hacer

referencia a un URL en su artículo, usted debe escribir completamente la dirección URL con una fuente regular.

### 1.8 Ecuaciones

Si está utilizando Microsoft Word, use Microsoft Editor de Ecuaciones o el complemento MathType(www.mathtype.com) para ecuaciones en su artículo. Las variables, números y texto deben ser en Times New Roman 10 puntos.

Pasos para insertar ecuaciones:

Microsoft Editor de Ecuaciones: Insert/Insertar - Object/Objeto - Create New/Crear Nuevo - Microsoft Equation/Microsoft Editor de Ecuaciones. MathType: Insert/Insertar - Object/Objeto - MathType.

Las ecuaciones deben enumerarse secuencialmente a lo largo del artículo. El número de la ecuación debe encerrarse entre paréntesis ubicado totalmente al margen derecho como en (1).

$$C = W \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \quad (1)$$

Enumere las ecuaciones en forma consecutiva entre paréntesis. Use paréntesis para evitar ambigüedades en los denominadores. Utilice punto al final de la ecuación cuando ellas sean parte de una oración, como

$$\int_0^2 F(r, \varphi) dr d\varphi = [\sigma r_2 / (2\mu_0)] \quad (2)$$

$$\int_0^\infty \exp(-\lambda |z_j - z_i|) \lambda^{-1} J_1(\lambda r_2) J_0(\lambda r) d\lambda$$

Los símbolos de las ecuaciones deben ser definidos antes o inmediatamente después de la ecuación; utilice letra cursiva y 10 puntos. Para la definición utilice letra normal y 10 puntos. En cuanto a la referencia de la ecuación dentro del contexto del artículo deben ir en minúscula y sin punto al finalizar el texto. Por ejemplo: “En la ecuación (1) se muestra el resultado estimado”.

No se aceptan las abreviaciones de las ecuaciones como: “a ec. (1)”, “eq. #1” o “ecuación N°1”. Además, las ecuaciones extraídas de fuentes externas deberán ser citadas en el texto.

### 1.9 Política de acceso y reúso

Los artículos científicos publicados en la RIC son de exclusiva propiedad de sus autores. Todas las opiniones y contenidos expresados en la revista pertenecen a sus autores, la UTP declina de toda responsabilidad por los derechos que pudiera derivarse de la lectura, interpretación y uso del contenido de los trabajos publicados.

Los autores deben acatar el principio de libre acceso en revistas científica. Por lo tanto, todos los contenidos deben



estar disponibles gratuitamente al público, con el objetivo de fomentar un intercambio de conocimiento científico-académico internacional mediante nuestra plataforma Open Journal System (OJS).

El artículo deberá cumplir con al menos 90% de autenticidad y al momento de someter el artículo, se deberá adjuntar el reporte proveniente de la siguiente herramienta antiplagio gratuita, "Small Seo Tools Plagiarism Checker".

- <https://smallseotools.com/> Este enlace lleva a la página donde aparecen todas las aplicaciones disponibles, como se muestra en la figura 3.

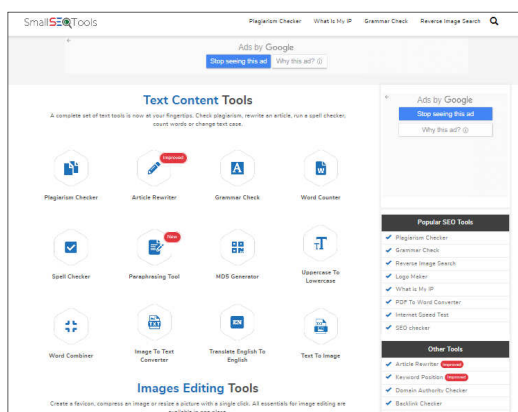


Figura 3. Ejemplo de <https://smallseotools.com/>.

## 2. Materiales y métodos

En esta sección el autor debe presentar el diseño y tipo de investigación, pasos de la investigación, materiales y métodos utilizados.

Además, el autor debe incluir los criterios de la selección del material tratado, los controles, estudios planeados y realizados.

## 3. Resultados y discusión

Los resultados deben presentarse en orden lógico acorde a la metodología planteada. Usar tablas y figuras cuando sea posible para presentar los resultados de forma clara y resumida. Además, las referencias de tablas y figuras dentro del contexto del artículo deben ir en minúscula y sin punto al finalizar el texto. Ejemplo: En la figura 2 se muestran las mediciones realizadas en el período de enero a marzo.

Tenga mucho cuidado en el texto del artículo al usar porcentajes o estadísticas con un pequeño número de muestras. **Incorrecto:** "El 60% (3/5) de las muestras de David y el 20% (1/5) de Santiago han demostrado resistencia a los medicamentos." **Correcto:** "Tres de cada cinco ejemplares de David y uno de cada cinco ejemplares de Santiago han demostrado resistencia a los medicamentos."

Cuando un número empieza una oración entonces debe escribirlo en letras. Además, utilice numerales cuando las cifras sean mayores que 10.

Posterior a la presentación de los resultados, se destacarán y discutirán los aspectos más importantes del trabajo. Toda afirmación debe estar avalada por los resultados obtenidos. Y, por último, comparar los resultados obtenidos con estudios previos.

Se recomienda extremar el poder de síntesis evitando repeticiones innecesarias. Además, las unidades numéricas con su respectiva magnitud deben estar unidas. Ejemplo: 30°C o 25%.

## 4. Conclusiones

Deben ser enunciadas con claridad y deben cubrir:

- Las contribuciones del trabajo y su grado de relevancia.
- Las ventajas y limitaciones de las propuestas presentadas.
- Referencia y aplicaciones de los resultados obtenidos.
- Recomendaciones para futuros trabajos.
- Impacto sobre la comunidad científica.

## AGRADECIMIENTOS

El título en mayúscula cerrada, fuente 14 puntos. En esta sección se podrá incorporar las personas, grupos u organizaciones que hayan colaborado o apoyado en esta investigación. ejemplo. "A Juan Pérez por su asistencia técnica" o el reconocimiento a patrocinadores por el apoyo financiero "Este trabajo fue financiado por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación bajo el acuerdo", no iniciar los agradecimientos con la misma palabra del título queda tácito. No es necesario incluir en el agradecimiento al asesor, ya que el mismo aparece como coautor del trabajo.

## REFERENCIAS

La lista de referencias debe seguir el estilo de la IEEE y debe estar en Times New Roman 9 puntos.

Deben utilizarse de 10 a 15 referencias, preferiblemente de artículos de revistas indexadas publicados en los últimos cinco años.

Las referencias se identificarán en el texto mediante números arábigos entre corchetes, alineados con la escritura. Se enumerarán por orden de aparición en el texto al final del trabajo. Por ejemplo: el número de referencias, como en [2]. No utilice "Ref. [3]" o "Referencia [3]" excepto en el comienzo de la oración, ejemplo. "La referencia [3] muestra...". Múltiples referencias deben enumerarse en corchetes separados (ej. [2], [3], [4-6]).

A continuación, ejemplos de diferentes categorías de referencias. Cabe señalar que las referencias que incluyen enlaces no debe colocarse punto porque se puede confundir con el mismo (Por ejemplo: [3], [6]:

### Citación de un artículo

- [1] G. Pevere. "Infrared Nation." The International Journal of Infrared Design, vol. 33, pp.56-99, Jan. 1979.

**Citación de un libro**

- [2] W.K. Chen. Linear Networks and Systems. Belmont, CA: Wadsworth, 1993, pp. 123-35.

**Citación de un documento electrónico**

- [3] A. Paul. (1987, Oct.). "Electrical properties of flying machines." Flying Machines. [Online]. 38(1), pp. 778-998. Available: [www.flyingmachjournal/properties/fly.edu](http://www.flyingmachjournal/properties/fly.edu) [Dec. 1, 2003]

**Otras referencias**

- [4] G. Pevere. "Infrared Nation." The International Journal of Infrared Design, vol. 33, pp.56-99, Jan. 1979.
- [5] W.K. Chen. Linear Networks and Systems. Belmont, CA: Wadsworth, 1993, pp. 123-35.
- [6] A. Paul. (1987, Oct.). "Electrical properties of flying machines." Flying Machines. [Online]. 38(1), pp. 778-998. Available: [www.flyingmachjournal/properties/fly.edu](http://www.flyingmachjournal/properties/fly.edu) [Dec. 1, 2003]

# RIC

## REVISTA DE INICIACIÓN CIENTÍFICA

JOURNAL of UNDERGRADUATE RESEARCH

Volumen 7 - N.º 1 . Enero - Junio 2021 P-ISSN 2412-0464 E-ISSN 2413-6786

### Directora de la Revista

**Dra. Casilda Saavedra**

### Editora de la Revista

**Dra. Casilda Saavedra**

### Revista Editada por la Dirección de Investigación

**Dr. Orlando A. Aguilar**

### Coeditora y coordinadora

**Mgrt. Patricia del Cid**

Dirección de Investigación, UTP

### Comité Editorial

**Dr. Ignacio Chang**

Facultad de Ingeniería Eléctrica

**Dr. Humberto Álvarez**

Facultad de Ingeniería Industrial

**Dr. José Rangel**

Facultad de Ingeniería en Sistemas Computacionales

**Prof. Tatiana Salgado**

Facultad de Ciencia y Tecnología

**Dr. Arthur James**

Facultad de Ingeniería Mecánica

**Ing. Matías Carrera**

Facultad de Ingeniería Civil

**Mgrt. Danny Murillo**

Repositorio Institucional de Documentos Digitales de Acceso Abierto

### Equipo técnico y proyección internacional - UTP

**Ing. Danny Murillo**

**Ing. Dalys Saavedra**

### Dirección de Comunicación Estratégica

**Mgrt. Danilo Toro**  
**Director**

**Dra. Libia Batista de Muñoz**  
**Editorial Universitaria**

Diseño y diagramación  
**Sección de Diseño Gráfico**

**Lcda. Shirley Cedeño**  
**Imprenta**

### Autoridades

**Ing. Héctor Montemayor Á.**  
Rector

**Lcda. Alma Urriola de Muñoz**

Vicerrectora Académica

**Dr. Alexis Tejedor de León**

Vicerrector de Investigación, Postgrado y Extensión

**Mgrt. Mauro Desto Stimamiglio**

Vicerrector Administrativo

**Mgrt. Ricardo Reyes**

Secretario General

**Ing. Brenda Serracín de Álvarez**

Coordinadora General de los Centros Regionales

### Decanos

**Dr. Martín Candanedo**

Facultad de Ingeniería Civil

**Dr. Edilberto Hall Mitre**

Facultad de Ingeniería Eléctrica

**Dr. Israel Ruiz**

Facultad de Ingeniería Industrial

**Dr. Julio A. Rodríguez B.**

Facultad de Ingeniería Mecánica

**Dr. Clifton E. Clunie B.**

Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales

**Mgrt. Juan González**

Facultad de Ciencias y Tecnología

### Directores de Centros de Investigación

**Ing. Javier Navarro**

Centro Experimental de Ingeniería - Encargado

**Dr. José Fábrega**

Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas

**Dr. Félix Henríquez**

Centro de Investigación e Innovación Eléctrica

Mecánica y de la Industria

**Dr. Wedleys Tejedor**

Centro de Producción e Investigaciones Agroindustriales

**Lic. Norman Rangel**

Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones - Encargado

RIC: Revista de Iniciación Científica = Journal of undergraduate Research.  
Vol. 7, No.1 (Enero - Junio 2021) – Panamá: Editorial Tecnológica, 2021

V.; 27 cm  
Semestral  
P-ISSN-2412-0464  
E-ISSN-2413-6786

1. Universidad Tecnológica de Panamá
2. Investigaciones – Publicaciones seriadas
3. Investigación y desarrollo.



Universidad Tecnológica de Panamá

## Portal de REVISTAS ACADÉMICAS UTP

Bienvenido al Portal de Revistas Académicas (Investigación, Académica, Cultural, Congresos Nacionales e internacionales) de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP).

Este sitio nace como una iniciativa del proyecto UTP-Ridda<sup>2</sup> para mostrar la producción científica e investigativa desarrollado por los docentes, investigadores y estudiantes de la UTP. Este proyecto es desarrollado por la Vicerrectoría de Investigación, Postgrado y Extensión, Editorial Universitaria y la Dirección de Comunicación Estratégica, con el apoyo de las principales autoridades de nuestra Universidad.

El objetivo de esta plataforma es visibilizar la producción científica en las revistas científicas en vías de mejorar el alcance de las publicaciones a nivel nacional e internacional a través de la integración en directorios, bases de datos, catálogos e indexaciones.

A partir del 2018 las publicaciones de los volúmenes de las revistas I+D Tecnológico, Prisma Tecnológico y la Revista de Iniciación Científica (RIC) se les asignará un DOI (Digital Object Identifier).



I+D Tecnológico

ISSN: 1680-8894  
E-ISSN: 2219-6714



Prisma Tecnológico

ISSN: 2076-8133  
E-ISSN: 2312-637X



Revista de Iniciación Científica

ISSN: 2412-0464  
E-ISSN: 2413-6786



Revista RETOS XXI

ISSN: 2524-1125  
E-ISSN: 2524-1133



El Tecnológico

ISSN: 1819-9623  
E-ISSN: 1819-9623

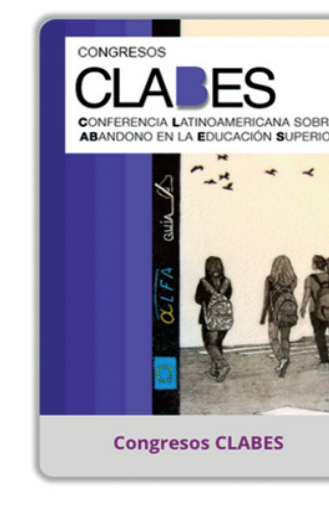


Cultural Maga

ISSN: 1018-1563  
E-ISSN: 1018-1563



Memorias de Congresos UTP



Congresos CLABES

Visítenos en:

<http://www.revistas.utp.ac.pa>

No es necesario registrarse para tener acceso a los contenidos de las revistas