

InGeni



Revista Científica y Tecnológica

| Revista de Ciencias de la Ingeniería



eISSN: 2697-3642

Volumen 6, Número 2
Julio 2023

Índice de contenido

Revisión de la literatura sobre el uso del aprendizaje profundo enfocado en sistemas de inspección ópticos automatizados para la detección de defectos superficiales en el sector de la manufactura <i>(Literature review on the use of deep learning focused on automated optical inspection systems for surface defect detection in the manufacturing sector)</i>	1
Jonathan Sanchez-Romero, Joe Llerena-Izquierdo.	
Efecto de los intercambiadores de calor en la potencia máxima de generadores termoeléctricos <i>(Effect of heat exchangers on the maximum power of thermoelectric generators)</i>	20
Alexander Vargas Almeida, Miguel Ángel Olivares Robles, Mariloli Vargas Almeida.	
Revisión bibliográfica sobre los residuos sólidos urbanos <i>(Literature review of solid urban waste)</i>	30
Sonia Romina Niezwida, Juan Carlos Michalus, Graciela Beatriz Gavazzo.	
Obtención de Almidón de Malanga: Colocasia esculenta L. y Xanthosoma sagittifolium L, mediante la aplicación de tres métodos químicos <i>(Obtaining Starch from two Varieties of Taro: Colocasia esculenta L. and Xanthosoma sagittifolium L, through the Application of three Chemical Methods)</i>	40
Sungey Naynee Sánchez Llaguno, Rosa Isabel Narvaez Narvaez, Juan Alejandro Neira Mosquera, Jhoan Alfredo Plua Montiel.	
Síntesis y caracterización del grado de metacrilación ideal para la Gelatina Metacrilóila (GelMA) <i>(Synthesis and characterization of the ideal methacrylation degree for Methacryloyl Gelatin (GelMA))</i>	51
Shirley Dayana Cuzco Vargas, María Fernanda Heredia Moyano, Catherine Yesenia Carrasco Montesdeoca.	
Evaluación de caldos microbiales en el rendimiento del cultivo de maní (cultivar INIAP-380) <i>(Evaluation of microbial broths in the yield of the peanut crop (cultivar INIAP-380))</i>	63
Leonilo Durazno Delgado, Wilver Santana Alvarado, Marlon Monge Freile, Roberto Muñoz Mestanza.	

Revisión de la literatura sobre el uso del aprendizaje profundo enfocado en sistemas de inspección ópticos automatizados para la detección de defectos superficiales en el sector de la manufactura

(Literature review on the use of deep learning focused on automated optical inspection systems for surface defect detection in the manufacturing sector)

Jonathan Sanchez-Romero^{1,2} , Joe Llerena-Izquierdo^{1,2} 

¹ Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Computación, Guayaquil, Ecuador

² Grupo de Investigación en Enseñanza-Aprendizaje de las Ciencias para la Ingeniería, GIEACI
jsanchezrom@est.ups.edu.ec, jlllerena@ups.edu.ec.

Resumen: El sector de la manufactura utiliza metodologías de aprendizaje automático supervisado que permiten mejorar procesos de inspección mediante la visión artificial. La inspección óptica automatizada ofrece eficiencia en el proceso de inspección para la detección de defectos en la fabricación de diversos productos. Este trabajo aporta con la identificación de aquellas limitaciones en el procesamiento de datos basados en el conjunto de reglas definidas y la gestión del dominio del proceso. Se propone una revisión de literatura sobre el uso del aprendizaje profundo enfocado a los sistemas de inspección ópticos automatizados para la detección de defectos superficiales en el sector de la manufactura. El objetivo propuesto es de identificar las diferentes arquitecturas orientadas en redes neuronales convolucionales aplicadas en sistemas de inspección óptico con el fin de automatizar la extracción de características o patrones. Por medio de la exploración de trabajos relevantes se permite identificar un total de 47 documentos seleccionados que abordan los problemas de generalización y técnicas de optimización, finalmente se contrasta la información de las diferentes arquitecturas para la elaboración de una tabla comparativa que evidencia mejoras en la precisión de los sistemas de inspección óptico mediante el porcentaje alcanzado. Estos resultados contribuyen como un insumo al conjunto de literatura existente para mejoras al sector de la manufactura.

Palabras clave: Manufactura, aprendizaje profundo, redes neuronales convolucionales, algoritmos optimizadores, inspección ópticos automatizados, generalización, desequilibrio.

Abstract: The manufacturing industry uses supervised machine learning methodologies to improve inspection processes through machine vision. Automated optical inspection offers efficiency in the inspection process for the detection of defects in the manufacture of various products. This work contributes with the identification of those limitations in data processing based on defined rule sets and process domain management. A literature review is proposed on the use of deep learning focused on automated optical inspection systems for the detection of surface defects in the manufacturing sector. The proposed objective is to identify the different architectures oriented on convolutional neural networks applied in optical inspection systems to automate the extraction of features or patterns. By means of the exploration of relevant works, a total of 47 selected papers that address generalization problems and optimization techniques are identified. Finally, the information of the different architectures is contrasted for the elaboration of a comparative table that evidence improvements in the accuracy of the optical inspection systems by means of the percentage achieved. These results contribute as an input to the existing body of literature for improvements in the manufacturing sector.

Keywords: Manufacturing, deep learning, convolutional neural networks, optimization algorithms, automated optical inspection, generalization, imbalance.

1. INTRODUCCIÓN

El proceso de manufactura comprende un conjunto de procedimientos definidos mediante una gestión de calidad técnica y operativa aplicada por nuevas tecnologías y orientada por la visión artificial [1]. La aplicación de los sistemas de inspección en el sector de la manufactura pondera una gran variedad de procesos en diversas índoles. Procesos de tipo discretos y repetitivos son los más comunes y, son objeto de estudio dentro de los trabajos seleccionados para esta revisión de literatura. La detección de defectos utilizando procesos manuales no cumple con la exigencia de la industria moderna y es uno de los objetivos principales para la identificación de limitaciones tales como el factor operacional y tiempos de producción que, derivan a una baja productividad y calidad del producto. Una de las desventajas fundamentales se relaciona con los procesos de inspección manual, que se estructura mediante criterios de selección de defectos, pero con limitantes orientadas al factor humano y en procesos repetitivos, otra limitante son los tiempos de inspección condicionados por el número de objetos a inspeccionar en la elaboración del producto que genera una detección lenta y un elevado costo en la mano de obra [2].

Según trabajos como [3], [4], los sistemas de inspección óptica automatizados (AOI) se implementan a principios de la década de 1990, con el objetivo de adaptarse a procesos repetitivos y prolongados, mediante pruebas no destructivas, como una de las principales causas en la reducción de la inspección manual, para aumentar los rendimientos en el proceso de inspección. En las siguientes dos décadas posteriores a su implementación, países como Taiwán, China, Corea del Sur y Estados Unidos, mencionan el esfuerzo en el desarrollo del proceso de investigación para el progreso tecnológico de la inspección automatizada orientada a métodos de visión por computadora y sus diversas propuestas para aplicaciones industriales. En la última década, la implementación de los sistemas AOI en el sector de la manufactura es aplicado en su gran mayoría en proceso de tecnología de montaje superficial, pero esto no limita sus capacidades de adaptabilidad a diferentes procesos no lineales mediante métodos de clasificación supervisados y no supervisados. Los sistemas AOI establecen una evolución en el procesamiento de imágenes mediante algoritmos de aprendizaje automático y profundo, permitiendo establecer regiones de interés para una automatización en el proceso de extracción, selección de características y una selección de métodos de clasificadores.

Según [2], a inicios del 2021 en Taiwán se establece el uso de los sistemas AOI para la detección de defectos en superficies metálicas, se menciona sobre errores de posicionamiento que harían que los defectos se etiquetaran en lugares equivocados, ocasionados por los métodos inadecuados de iluminación usados en la adquisición de la información. La inspección óptica automatizada permite obtener eficiencia y eficacia en la fabricación del producto mediante el uso de arquitectura como *You Only Look Once* (YOLOV3) para la detección de objetos, y redes totalmente convolucionales (FCN) para la extracción de características. En los procesos tradicionales de inspección superficial los modelos de aprendizaje profundo (DL) son cada vez más aplicados debido a su utilidad en los sistemas inspección ópticos automatizados AOI. Un factor esencial en el aprendizaje de modelos profundos es el proceso de entrenamiento y la validación de la información. Los problemas como procesamiento de información, desequilibrio en la transmisión de datos, cantidad limitada de muestras de entrenamiento y calidad de datos generan discrepancia en el conjunto de entrenamiento y por consecuencia afecta la precisión del modelo.

Para mejorar la estructura basada en un conjunto de reglas definidas y gestión del dominio del proceso se propone esta investigación donde se presenta una revisión de literatura de los modelos de aprendizaje profundo aplicados con incidencia en los sistemas de inspección ópticos automatizados en el sector de la manufactura. Se tiene como objetivo identificar las diferentes arquitecturas de redes neuronales convolucionales (CNN) aplicadas en sistemas inspección óptica automatizada, mediante el uso modelos de aprendizaje profundo y sus diferentes técnicas

de optimización que permitan mejorar de manera eficiente la precisión del modelo y con ello la detección de defectos superficiales.

2. TRABAJOS RELACIONADOS

La automatización en procesos de inspección se aplica en diferentes áreas de manufactura, con el objetivo de garantizar la calidad del producto. Para detectar anomalías generadas en el proceso de fabricación se ejecuta estrategias de mejora continua mediante un conjunto de métricas que permitan garantizar el correcto desarrollo del producto.

2.1. Sistemas inspección óptico automatizado

Según [5], los sistemas de inspección AOI surgen con la finalidad de integrar la inteligencia artificial y la tecnología de la inspección visual para establecer criterios automatizados mediante el procesamiento de imágenes, que garanticen la precisión del modelo. Una de las principales desventajas en los sistemas AOI es el procesamiento de las imágenes mediante el uso de métodos tradicionales tales como: la alta dependencia del ingeniero del conocimiento para el proceso de generación de extracción de características, el uso de *dataset* desequilibrados que elevan los tiempos de aprendizaje y la baja tasa de precisión en la detección de defectos evidenciados en las falsas alarmas. Según [6], se menciona sobre las limitantes mecánicas relacionadas al proceso de adquisición de datos para la fabricación de baldosas aplicado en la industria de la manufactura, se cita las problemáticas como el desequilibrio de datos identificados en el proceso de entrenamiento del modelo.

El uso del aprendizaje profundo (DL) mediante arquitecturas como Faster R-CNN permite ser un detector de objetos y extractor, automatizando procesos manuales de inspección, obteniendo una eficacia y eficiencia en el proceso de identificación de objetos. El uso del algoritmo clasificador pre entrenado como el VGG-16 y las técnicas de transferencia de datos permiten acortar los tiempos de entrenamiento. Los resultados obtenidos de esta propuesta alcanzan un 93% en el proceso de detección y clasificación de defectos. Se cita en [7], las ventajas en la automatización mediante las arquitecturas de aprendizaje profundo (DL), sobre las metodologías tradicionales de tipo supervisado que evidencian una predicción aceptable, pero con una alta dependencia asociada al ingeniero del conocimiento especializado en el proceso y el alto costo computacional. Las técnicas tradicionales como plantillas de comparación, archivos de diseño asistido por computadoras (CAD) y etiquetamiento manual usados por los sistemas de inspección ópticos automatizados, presentan una limitante en el proceso de adquisición y recolección de datos. Se menciona en [5], sobre el uso de una red neuronal convolucional de conjunto profundo (CNN) para inspeccionar defectos de soldadura de paquete dual en línea (DIP) de placa de circuito impreso (PCB) y su limitación en el proceso de adquisición de información por variaciones ambientales. El uso de la arquitectura YOLOv2 como detector de objetos y ResNet-101 como método clasificador permiten optimizar la tasa de detección sobre las limitantes que relacionan a las plantillas de comparación que están sujetas por reglas de diseño propios de los sistemas AOI. El uso de métodos optimizadores como el aumento de datos mediante técnicas de transformación permiten generar una variabilidad de muestras de entrenamiento para mitigar el desequilibrio de información y evitar errores de etiquetamiento. Los resultados obtenidos dentro de esta propuesta alcanzan un 96.73% de precisión en el proceso de identificación y clasificación de defectos.

Trabajos como [8], menciona sobre procesos de inspección de defectos en paneles de madera, y su limitación en procesos de detección de defectos generado por factores ambientales como la variación de ángulos y los fondos de iluminación que generan datos de baja calidad. El uso de arquitecturas basado en una red neuronal convolucional CNN para la detección de objeto y DenseNet 169 como método clasificador permiten optimizar la fuga y exceso de defectos. Métodos de optimización como la normalización por lotes permiten evitar una sobrecarga

computacional que está derivada en las limitaciones de un conjunto de reglas definidas en sistemas ópticos. Basados en parámetros de configuración mal optimizados y que no se adaptan a las características de variabilidad del entorno como iluminación, velocidad y posición, generan limitantes en la adquisición y recolección de datos y, que son usados en el proceso de comparación mediante plantillas, se obtiene como resultado un 96.98% en la precisión del modelo en la detección de defectos superficiales.

Se menciona en [2], sobre el proceso de etiquetamiento, este proceso requiere de un amplio conocimiento del dominio para una correcta clasificación de defectos mediante algoritmos que identifiquen variaciones de características en el proceso de comparación de datos. La precisión de los sistemas AOI se limita por la variabilidad de características generadas por la estructura en el dominio del conocimiento aplicada al proceso manual de extracción de propiedades. La alta variabilidad de patrones de inspección generados para el proceso de comparación origina modelos con alto costo computacional y un elevado tiempo de inspección en tiempo real. Según [9], se menciona sobre los problemas en inspección óptica de superficies metálicas aplicado sistemas AOI generado por la complejidad del cálculo computacional, se evidencia que los tiempos de aprendizaje son elevados ya que no se dispone de una suficiente muestra de entrenamiento acorde a las características del producto. La tasa de error en sistemas AOI es elevada ya que el manejo de múltiples defectos genera discrepancia en el proceso de detección de defectos basados en parámetros como rangos de movimiento, porcentaje de aceptación y filtros de binarización. La arquitectura YOLO como extractor de características y VGG-19 como método clasificador permiten optimizar la complejidad mediante técnicas como control de iteraciones aplicado en el proceso de entrenamiento. La reducción en los tiempos de predicción permite obtener una mayor productividad, como resultado se obtuvo una precisión del 99.36% en el proceso de detección y clasificación de defectos.

Se evidencia en [10], la inspección de características de componentes de circuitos integrados aplicados en el sector electrónico, los problemas de calidad de imagen inestable y la limitación de datos en el entrenamiento del modelo, genera discrepancia en la predicción afectando los resultados. La aplicación de la arquitectura YOLO como extractor de características permite mitigar la variabilidad en la iluminación y contraste de imágenes para el proceso de clasificación, se aplica ResNet-50 como técnica para la transformación de datos, que consiste en un aumento de datos basados en parámetros de variabilidad, se obtiene como resultado un 99.48% de precisión en el proceso de detección.

Las limitaciones ambientales de iluminación y velocidad generalmente ocasionan deficiencia en la transmisión de datos ocasionando discrepancias en el proceso de entrenamiento y limitando las técnicas de predicción del aprendizaje supervisado usado en sistemas AOI, [11]. El proceso de configuración es un factor esencial para el aprendizaje automático de tipo supervisado y tiene como objetivo una constante evaluación del rendimiento de los parámetros de clasificación, de tipo binario o de múltiples defectos. Su rendimiento a largo plazo permite identificar su grado de adaptabilidad con nuevos datos de entrada, mediante su aumento, basado en la agregación de características, para una correcta generalización en la clasificación de defectos superficiales [12].

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Problemas de generalización

La revolución industrial aplica metodologías de aprendizaje profundo y permite establecer técnicas adaptativas mediante el aprendizaje por excepciones desafiantes para una mejora rápida y continua del modelo propuesto. Trabajos como [13], [14], [15], mencionan que la aplicación de redes neuronales convolucionales (CNN) y sus diferentes arquitecturas, están sujetas a la variabilidad en la ingeniería de funciones, que permiten establecer metodologías de

retroalimentación orientadas a la automatización en el proceso de extracción de características mediante la aplicación de procesos de convolución en las áreas de mayor interés así, son identificadas por medio de filtros o *kernel* donde se establecen los coeficientes, encargados de procesar la imagen de entrada y posteriormente ser registradas en mapas de características.

A medida que se repite el proceso se disminuye la resolución de los mapas de características mediante técnicas de agrupamiento, seleccionando los coeficientes más relevantes y reduciendo la matriz original a la mitad de su dimensión, pero esto conlleva al aumento de filtros, es decir, el número de mapa de características, donde se registran las características o patrones más complejos. Estos parámetros serán los valores de entrada a una red de clasificación indexada en la arquitectura seleccionada para el procesamiento de imágenes [16].

Trabajos como [17], cita que los problemas de generalización están relacionados a la falta de adaptabilidad a los nuevos datos de entrada mediante procesos de entrenamiento que evidencian un excesivo ajuste del modelo y que, mediante datos de validación se determinan posibles problemas de sobreajuste y desajuste.

Se menciona en trabajos como [18], que otro problema que origina una deficiente generalización son: los datos de entrenamiento que presentan desequilibrio de clase, el proceso de adquisición y recolección de datos generados por la visión artificial y la complejidad en la estructura del algoritmo clasificador. Los ajustes de parámetros o hiper parámetros aplicando técnicas de regularización y optimización, tales como *dropout*, *early stopping*, *weigh decay*, datos artificiales y normalización por lotes permiten mitigar los problemas relacionados a la precisión del modelo y determinan una correcta generalización en el proceso de clasificación de defectos.

Según trabajos como [19], [20], [21], [22], una limitante en el proceso de predicción del modelo son los problemas de variabilidad relacionados a la fase de recolección y adquisición de información, que ocasiona desequilibrio en la transmisión de datos generando características no válidas para el proceso de entrenamiento. Según [22], [23], [24], [25], una solución planteada a problemas con limitación de datos es la implementación de técnicas de transferencia de información mediante métodos clasificadores pre entrenados que permitan acortar el tiempo y ajustar las características del producto. Para mitigar los problemas de desajuste, que ocasiona la variabilidad de entorno en sistemas AOI por factores de intensidad de iluminación o velocidad, en la adquisición de datos mediante el uso de cámaras con una alta precisión, se propone una retroalimentación mediante técnicas de selección de procesos de binarización o segmentación para una selección objetiva de características que permita tener una correcta generalización en la predicción del modelo.

Según trabajos como [13], [18], un método muy utilizado para optimizar el proceso de entrenamiento en una regresión de actualización de pesos mediante la aplicación del *backpropagation* es el método del descenso del gradiente en sus diferentes variantes. El sobreajuste es una problemática relacionada a un sobre entrenamiento del modelo que genera discrepancias en la clasificación de nuevos datos relacionados al conjunto de validación de ellos. Una solución es el aumento de datos de entrenamiento o de reducir la complejidad de la arquitectura clasificadora con el objetivo de simplificar el modelo. Los métodos optimizadores encontrados en el proceso de investigación están correlacionados con el proceso de generalización permitiendo establecer metodologías que optimicen la predicción del modelo [26]. La segunda problemática es el ajuste insuficiente (desajuste) que describe una incorrecta selección de datos de entrenamiento que genera una discrepancia con las características de datos requeridas para el proceso de entrenamiento y como factor secundario la arquitectura de la red clasificadora además, es demasiado simple para procesar grandes cantidades de información ingresadas en la red neuronal, como resultado se obtiene una deficiente adaptabilidad para realizar una correcta generalización [22]. La adquisición de datos se aplica mediante un proceso

selectivo de información, ya que el aprendizaje profundo necesita un extenso conjunto de datos que se evidencian en parámetros de cantidad y calidad para obtener una correcta eficacia en el proceso de entrenamiento logrando precisión en la identificación de anomalías [15]. Esta revisión permite citar problemas relacionados con la adquisición y de datos en sistemas AOI ocasionando problemas de desajuste y sobreajuste (ver Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de los modelos de acuerdo con el problema encontrado.

Problemas identificados	Clasificación
Datos sin etiquetar	Sobreajuste
Sistemas complejos	Desajuste
Transmisión de datos desequilibrados	Desajuste
Variación de características	Sobreajuste
Condiciones del entorno	Sobreajuste
Datos de baja calidad	Sobreajuste
Volúmenes insuficientes de datos	Desajuste
Limitación de Hardware	Desajuste
Uso de datos incorrectos	Sobreajuste

La optimización permite establecer una mejor predicción para obtener una mejor precisión y recuperación en la detección de defectos en superficies planas [27]. La aplicación del aprendizaje profundo demanda un mayor poder de cómputo y capacidad de almacenamiento de los sistemas actuales de inspección. Se propone trabajar con servidores externos mediante la aplicación de dispositivos de comunicación que permitan ofrecer una escalabilidad, así como un trabajo en paralelo del modelo de aprendizaje profundo y del sistema de inspección existente, obteniendo una mejora en la detección y estabilidad en el proceso de inspección resultante [28].

Las técnicas tradicionales de los sistemas de inspección demuestran precisión solo si existe un porcentaje bajo o mínimo de variación de los defectos detectados. Los modelos de aprendizaje profundo han demostrado tener adaptabilidad en los diferentes entornos de los sistemas de inspección tales como la iluminación, fondo, color, formas y tamaño, permitiendo la identificación de problemas superficiales obteniendo modelos robustos [11]. Mediante la aplicación de modelos de aprendizaje profundo basado en CNN se plantea reducir los criterios de ajustes y alcanzar una elevada precisión y rendimiento, especialmente en entornos que presentan variación de características generando inconsistencia en el conjunto de datos obtenidos de los sistemas AOI, [8].

4. METODOLOGÍA

Se propone la selección de un método teórico con una perspectiva de evaluación cuantitativa que permite examinar las diferentes propuestas de modelos asociados al aprendizaje profundo para mitigar los problemas relacionados a la generalización en el proceso de clasificación, mediante una comparación de métodos optimizadores citados en esta investigación. Por medio de este estudio, se permite citar técnicas que eviten problemas de generalización que afectan a la predicción de nuevos datos en el proceso de clasificación de defectos.

Las diferentes técnicas aplicadas deben garantizar el equilibrio en los datos de entrenamiento y estar relacionadas con metodologías optimizadoras aplicadas en modelos clasificadores identificados en la aportación de esta revisión. Según la normativa ISO/IEC 23053 se citan las clasificaciones de problemas que se presentan en el desarrollo y entrenamiento del modelo generando un proceso de detección y clasificación de objetos deficientes (sobreajuste y desajuste).

Se escoge la técnica del mapeo sistemático que permite analizar e identificar los principales problemas del tema de interés. Mediante el desarrollo se adquiere información relevante estableciendo una estructura del contenido investigado para clasificar los resultados utilizando un proceso metódico, exacto y breve de la información relevante de acuerdo con la motivación, alcance, criterios de inclusión y exclusión principalmente (ver Figura 1).

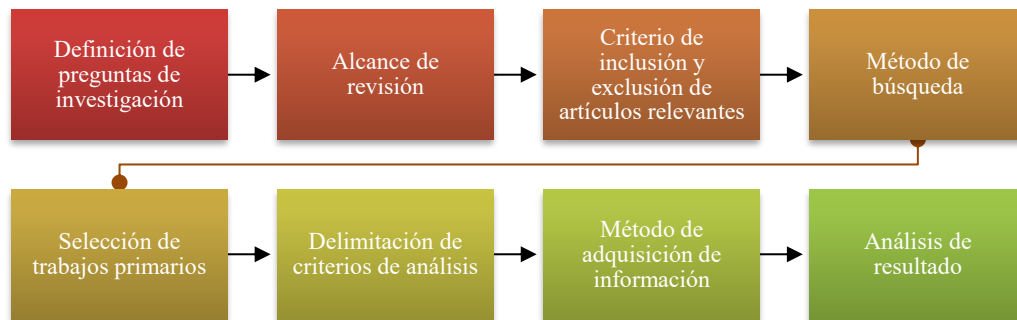


Figura 1. Proceso metodológico para la revisión de literatura.

Definición de preguntas de investigación

Se definen las preguntas relacionadas al uso del aprendizaje profundo en sistemas de inspección ópticos para mitigar problemas de detección de defectos originados por una incorrecta generalización de datos en el proceso de predicción del modelo. En la Tabla 2 se identifica cada una de las preguntas y su objetivo de estudio, mediante el cual se pudo seleccionar, analizar y definir cada información encontrada.

Tabla 2. Preguntas de investigación y motivación.

Preguntas	Motivación
1. ¿Cuáles son los modelos de aprendizaje profundo usados en sistemas de inspección óptico automatizados?	Determinar cuantitativamente los modelos DL propuestos mediante una revisión de literatura
2. ¿Cuáles son los métodos optimizadores aplicados en los modelos de aprendizaje profundo para mitigar los problemas de clasificación en sistemas AOI?	Determinar cuantitativamente los métodos optimizadores propuestos de acuerdo con la revisión de literatura
3. ¿Cuáles son las técnicas que permiten mitigar problemas de generalización relacionadas a desajuste y sobreajuste?	Determinar cuantitativamente qué técnicas se utilizan para mitigar los problemas de generalización expuestos en los trabajos seleccionados
4. ¿Qué evidencia empírica existe sobre los artículos mencionados?	Identificar los tipos de artículos seleccionados mediante una metodología cuantitativa

Alcance de revisión

En la actualidad se dispone de varias opciones a nivel de repositorios de datos y artículos relacionados, donde se enfoca nuestro análisis en la clasificación de defectos, mediante modelos de aprendizaje profundo, determinando una búsqueda relacionada a métodos y algoritmos expuestos por varios autores y analizando el área de visión artificial. Los temas expuestos y artículos citados en el proceso de investigación se los detecta en repositorios de datos como IEEEExplore, ScienceDirect, Springer, MDPI, ASME, ACM Digital Library, Tech Science Press,

IOP Science, Frontiers. El alcance de tiempo seleccionado para la búsqueda está entre los rangos desde el año 2018 al 2022 (ver Tabla 3).

Criterios de inclusión. Se establece un conjunto de criterios para la elección de trabajos relevantes mediante las siguientes consideraciones, entre ellas: se estableció como parámetros principales de inclusión aquellos artículos que tengan una conexión con el área de aprendizaje profundo y, donde diversos investigadores estiman metodologías de aplicación en sistemas de visión artificial mediante la inspección óptica automatizada. Se incorpora además en la investigación aquellos análisis, deductivos, experimentales, mixto y de observación. Finalmente, se propuso incorporar artículos solo en inglés.

Criterios de exclusión. Se toma en consideración los siguientes parámetros: se descartan los trabajos relacionados con acceso limitado por derechos de autor; se excluyen todos los trabajos relacionados con artículos que tenga idioma diferente al inglés; se excluyen trabajos que no tengan relación con el tema principal al aprendizaje profundo y sistemas de inspección óptico automatizados.

Método de búsqueda. Se estructura la siguiente clasificación de filtros, primer filtro: Conexión con el contenido principal; segundo filtro: Interpretación del extracto; tercer filtro: Revisión y análisis completo de la propuesta de investigación; de esta forma se presentan los parámetros que se ejecutan en la búsqueda de los trabajos de investigación.

Selección de trabajos primarios. Mediante el proceso de búsqueda se aplican parámetros inclusión y exclusión para extraer trabajos relevantes afines al objetivo de la investigación, con la finalidad de obtener resultados para las preguntas planteadas en el proceso de investigación.

Tabla 3. Resultado de la investigación exploratoria.

Motor de búsqueda	IEEEExplore	MDPI	Springer	ScienceDirect	ACM	ASME	Otros
Resultado	115	74	118	92	101	10	209
Selección intermedia	47	23	63	15	34	4	49
Selección final	18	11	9	4	1	1	3

Delimitación de criterios de análisis. Mediante los trabajos preseleccionados se determina una revisión del resumen y por último se genera una revisión texto completo para citar la selección final de trabajos asociados al proceso de investigación. La aplicación de métodos exploratorios permite obtener un total de 47 resultados de búsqueda (ver Tabla 3).

Método de adquisición de información. Se genera la adquisición de información mediante las preguntas de investigación que tienen como objetivo identificar los modelos, métodos y técnicas que se utilizan dentro de esta revisión de literatura utilizando la aplicación de parámetros de inclusión y exclusión que determinen los trabajos relevantes.

Análisis de resultado. Los resultados de la revisión de literatura, genera una tabla de resultados que guardan correspondencia a las preguntas de investigación.

Tabla 4. Resultados de las preguntas de investigación.

Preguntas	Modelos – Métodos – Técnicas	
	Modelos de detección	Algoritmos de clasificación
Q1. ¿Cuáles modelos aprendizaje profundo son usados en sistemas de inspección óptico automatizados?	CNN, D-CNN, Faster R-CNN, GAN-CNN, RCNN, YOLO, YOLOv2, YOLOv3, YOLOv4, YOLOv5	DenseNet 169, DNN, ELM, FCN, KNN, MLP, ResNet-101, ResNet-18, ResNet-34, ResNet-50, SqueezeNet, VGG-16, VGG-19
Q2. ¿Cuáles son los métodos optimizadores aplicados en modelos aprendizaje profundo para mitigar los problemas de clasificación en sistemas AOI?	Métodos optimizadores	
	Método AdaGrad descenso de gradiente adaptativo, Método de descenso gradiente promedio, Método de gradiente descendiente, AdaDelta <i>training algorithm</i> basado en descenso de gradiente estocástico.	
Q3. ¿Cuáles son las técnicas que permiten mitigar problemas de generalización relacionadas a desajuste, sobreajuste y sesgo?	Técnicas de mitigación	Técnicas de clasificación
	Aumento e datos	Sobreajuste-Desajuste
	Control de iteraciones	Sobreajuste-Desajuste
	Aumento o reducción de la complejidad del modelo	Sobreajuste-Desajuste
	Agregación de característica	Sobreajuste
	Selección correcta de datos de entrenamiento	Desajuste
	Planificación de tiempos de entrenamiento	Sobreajuste
Q4. ¿Que evidencia empírica existe sobre los artículos mencionados?	Revisiones, propuestas y otros trabajos alojados en repositorios digitales de acceso abierto y de pago	

5. RESULTADOS

Una vez finalizado el proceso de recolección de datos relacionados al tema de investigación se procede a citar nuestra matriz de información aplicando parámetros de inclusión y exclusión, se obtiene como resultado un total de 47 trabajos de investigación seleccionados. Se identifica que la mayor selección de documentos sean artículos de revistas, conferencias y revisiones que pertenecen a la base de datos IEEExplore, estos aportan una cantidad de 18 documentos que representan un 38% de la muestra total, MDPI representa un 23% (11), Springer representa un 19% (9), ScienceDirect representa un 9% (4), como contraparte se seleccionan las bases de datos como ASME, ACM Digital Library, y otras como Tech Science Press, IOP Science, Frontiers que juntas aportaron 5 documentos, que representan un 11% del total del proceso de selección final.

Para la pregunta de investigación, Q1. ¿Cuáles son los modelos de aprendizaje profundo usados en sistemas de inspección óptico automatizados?, los resultados encontrados se detallan en la Tabla 5.

Se muestra la comparación de los algoritmos propuestos mediante la citación de las limitaciones en los sistemas de inspección ópticos automatizados que especifican la variabilidad del proceso de adquisición y recolección de datos basados en problemas de generalización encontrados en el proceso de investigación (ver Tabla 5).

Tabla 5. Tabla comparativa de algoritmos propuestos.

Ref.	Propuesta	Problema	Optimización	Regularización	Arquitectura	Clasificador	Problema de Generalización	Precisión
[29]	Inspección de superficies uniformes para texturas en entornos industriales.	Variación de características generada por varianza de producción	Aumenta la tasa de aprendizaje. Aumentar la cantidad de muestras.	<i>Weigth decay.</i>	CNN	ResNet-18	Limitación de muestras de entrenamiento	100%
[17]	Inspección óptica de conectores eléctrico de cifrado.	Problemas de iluminación y ruido	Aprendizaje de transferencia. Reducción dimensional datos de entrada. Aumento de tasa de aprendizaje.	Técnica de transformación. Método <i>dropout.</i> Tamaño de lote <i>Early stopping.</i>	CNN	VGG-16	Volúmenes insuficientes de datos. Complejidad computacional	99.87%
[30]	Inspección óptica de defectos de laminado de cobre.	Variaciones ambientales	Normalización por lotes. Método adam. Aumento de tasa de aprendizaje.	Método <i>dropout.</i> Tamaño de lote.	CNN	ResNet-101	Volúmenes insuficientes de datos	99.80%
[22]	Inspección superficial de juntas de soldadura IC.	Las muestras inspeccionadas sean calificadas o no, se inspeccionan con alta probabilidad.	Aumento de tasa de aprendizaje. Normalización por lotes. Aumento del número de épocas de entrenamiento. Aumento de muestras.	Tamaño de lote.	CNN	VGG-16	Limitación cantidad de muestras de entrenamiento. Desequilibrio de las muestras de entrenamiento.	98.78%
[31]	Inspección de defectos de soldadura láser en la	Recolección y adquisición de datos genera altos requisitos	Uso de RMSProp. Técnica de transferencia de aprendizaje.	Método <i>dropout.</i> Técnica de aumento de	CNN	SqueezeNet	Limitación de hardware	98.69%

	ventilación de seguridad.	en el rendimiento del hardware y del algoritmo del sistema.	Disminución de la tasa de aprendizaje. Disminución de la complejidad.	datos.				
[25]	Inspección óptica para la detección de virus troyanos ocultos en hardware.	Problemas de variación de contornos en imágenes.	Normalización por lotes. Aprendizaje de transferencia. Redimensión de datos de entrada.	Tamaño por lote.	CNN	ResNet-50	Datos de entrenamiento insuficientes. Complejidad del modelo.	98.50%
[32]	Inspección de arañazos en superficies plásticas.	Problema de iluminación genera reflejo superficial.	Aprendizaje de transferencia. Aumento tasa de aprendizaje.	Transformación rotación brillo contraste volteo. <i>Weigth decay</i> . Tamaño de lote.	CNN	Resnet-18	muestra de datos insuficiente	98.00%
[21]	Inspección superficial de defectos en conector utilizado en el teléfono celular.	Problema de la detección de múltiples defectos en la producción a alta velocidad	Validación cruzada. Aumento de la tasa de aprendizaje. Variación del <i>Momentun</i> .	Tamaño de lote. Número de épocas. Método <i>dropout</i> . <i>Weigth decay</i> .	Faster R-CNN	ResNet-101	Complejidad computacional. Desequilibrio de las muestras de entrenamiento.	97.83%
[33]	Inspección superficial para la detección de defectos en placas de circuito impreso.	Problemas de etiquetamiento por variaciones de tipo, tamaño, ubicación	Método Adam. Reducir la tasa de aprendizaje permitió el aumento de la predicción.	Configuración de hiper parámetros. Caída de peso. Tamaño de lote.	YOLOv5	Resnet-18	Complejidad computacional.	97.43%
[19]	Inspección de defectos para soldadura de paquete dual en	Variaciones ambientales de iluminación, rotación y	Aumento en la tasa de detección.	Aumento de datos mediante técnica de transformación.	YOLO v2	ResNet-101	Tiempo de inferencia de detección. Desequilibrio	96.73%

	línea de placa de circuito impreso.	desviaciones mecánicas.					de las muestras de entrenamiento.	
[34]	Inspección superficial para componentes electrónicos a escala manométrica.	Variación en parámetros de iluminación y campo de visión.	Uso de RMSprop. Aumento de tasa de aprendizaje. Aumento de iteraciones. Agregación dominio de características.	Tamaño de lote. Método <i>dropout</i> .	D-CNN	DNN	Tiempo de convergencia del entrenamiento.	95.21%
[35]	Inspección de componentes electrónicos y optoelectrónicas a escala manométrica.	Variaciones de fabricación que no son considerados como defectos.	Método Adadelta. Normalización por Lotes. Aprendizaje de transferencia.	Método de abandono. <i>Early stopping</i> . Aumento de datos artificialmente.	RCNN	DNN	Complejidad computacional. Limitación cantidad de muestras de entrenamiento.	94.30%
[20]	Inspección superficial en el revestimiento de cerámica.	Variaciones generada condiciones de entorno como iluminación dimensión, posición e incluso materiales y texturas.	Método Adam. Aumento de datos mediante método de transferencia.	<i>Early stopping</i> . Se reduce el tiempo de entrenamiento y se mejora la predicción del modelo.	CNN	ResNet-50	Transmisión de datos desequilibrado. Limitación cantidad de muestras de entrenamiento.	92.27%

Se identifican técnicas que permiten mitigar problemas de generalización que se definen como la limitación del modelo para adaptarse a nuevas muestras de datos, permitiendo obtener una estabilidad y adaptabilidad para realizar un eficiente proceso de predicción del modelo propuesto. Los resultados permiten identificar las arquitecturas de aprendizaje para evaluar los modelos con mayor usabilidad en el proceso de inspección aplicado en los sistemas de inspección óptico automatizados (ver Figura 2).

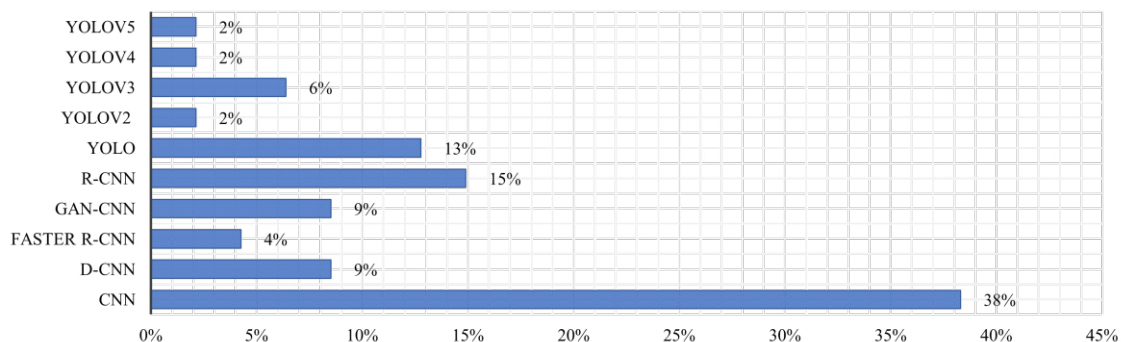


Figura 2. Porcentaje de algoritmos propuestos en las investigaciones.

Los modelos con arquitectura basados en (CNN), son representados por el 38%. Se evidencia sus respectivas variaciones tales como del Yolo versión 1-5 son representados con un 25% y sus variantes, red neuronal convolucional redundante (RCNN) con un 15%, faster-RCNN con un 4%, red neuronal convolucional profunda (D-CNN) con un 9%, red convolucional generativa (GAN-CNN) con un 9%. Se determina que las arquitecturas CNN son las alternativas más utilizadas para el proceso de inspección de defectos superficiales.

Para la pregunta de investigación, Q2. ¿Cuáles son los métodos optimizadores aplicados en los modelos de aprendizaje profundo para mitigar los problemas de clasificación en sistemas AOI?, se determinan los métodos optimizadores identificados para la estimación del factor de pérdida que permite evaluar el grado de madurez en el proceso de entrenamiento, obteniendo una correcta generalización en el proceso de clasificación de defectos (ver Figura 3).

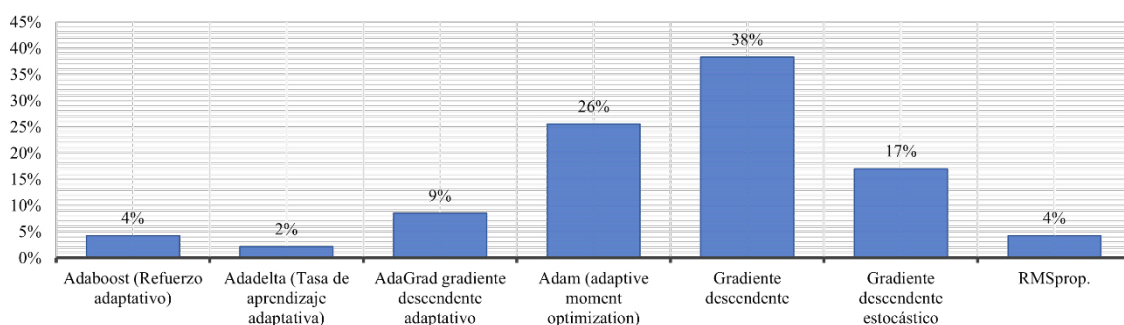


Figura 3. Porcentaje de propuestas y metodologías aplicadas.

Se evidencian metodologías optimizadoras aplicadas en el proceso de entrenamiento mediante modelos de aprendizaje profundo, se destacan metodologías como el uso del método base del Gradiente descendente que es representado por el 38%, se identifica la optimización adaptativa de impulso Adam representada con el 26%, Gradiente descendente estocástico SGD con un 17%, gradiente descendente adaptativo AdaGrad con un 9% y métodos con variaciones del método Adam como el Adaboost, Adaadelta, RMSprop que representan un 10% del total de investigaciones seleccionadas.

Para la pregunta de investigación, Q3. ¿Cuáles son las técnicas que permiten mitigar problemas de generalización relacionadas a desajuste y sobreajuste ?, se evidencia que el mayor porcentaje está relacionado a problemas de adquisición y recolección de datos asociados a la categoría de sobreajuste, estimados en la tabla 5, utilizados en el proceso de entrenamiento de los modelos de aprendizaje profundo representado por un 72%. Trabajos como se menciona en [22], a los problemas de desajuste o ajuste insuficiente están representados por un 28% que se relacionan a faltas de muestras de entrenamiento que a su vez generan una baja generalización del modelo propuesto, además de la aplicación de metodologías que no son adaptativas al conjunto de datos disponible, específicamente en las técnicas de procesamiento lineales ajustada a conjuntos de datos no lineales (ver Figura 4).

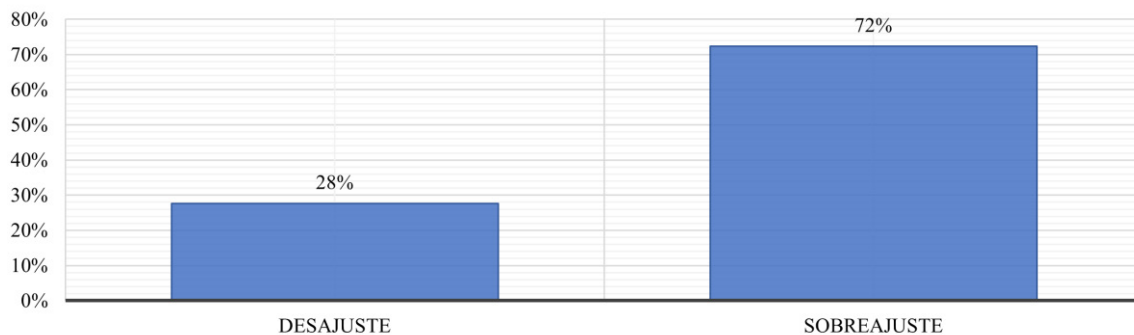


Figura 4. Porcentaje de clasificación de problemas en la generalización de datos

Se detallan los problemas que se generan en el proceso de entrenamiento, estimando diferentes factores importantes como la recolección de datos o el proceso de etiquetamiento de clases que influyen en el aprendizaje del modelo. Se identifica que el 31% presenta desequilibrio en la transmisión de datos para el conjunto de entrenamiento tema citado en trabajos como [36] y menciona que afecta directamente la generalización y precisión de los modelos de aprendizaje profundo; otro problema significativo es la limitación de datos que está representado por el 23%; en tercer lugar la complejidad computacional representada por un 21% relacionada a la limitación tanto a nivel de infraestructura como complejidad de la arquitectura empleada en el proceso de aprendizaje.

Trabajos como [37], [38] dan importancia al cuarto problema que hace referencia al tiempo para el entrenamiento y sus limitantes que están representadas por el 13% de la muestra total que ocasionan complejidad computacional en la arquitectura de aprendizaje profundo y, los problemas restantes están relacionados con etiquetamiento y datos de baja calidad que están representados con un total del 12%.

Las diferentes propuestas aplicadas mediante usabilidad de los modelos de aprendizaje profundo en los sistemas de inspección óptico automatizados para mitigar problemas de generalización, enfocados en limitación de los sistemas, afectan la etapa de adquisición, y recolección de datos ocasionando desequilibrio en la transmisión de datos. Mediante técnicas de optimización citadas, se establecen la configuración eficiente de los hiper parámetros en el proceso de entrenamiento.

Se identifica que el aprendizaje por transferencia, mencionado en trabajos como [39], cita una técnica de optimización que permite que las redes aprendan de manera más rápida y precisa, se representa con un 34% de las muestras totales, la técnica de normalización por lotes está representado por un 26% y tiene como objetivo normalizar las entradas en cada proceso de convolución de una red neuronal. Como valor agregado se identifica una categoría donde se utilizan estas combinaciones de técnicas tanto en la transferencia y en la normalización, que permiten alcanzar una rapidez y eficiencia en el proceso de entrenamiento, este está

representado por un 17% de las muestras totales. Según [40], el control de iteraciones es una técnica muy usada en el proceso para reducir la complejidad del modelo mediante la disminución del número de capas que permite obtener una mayor velocidad en el proceso de aprendizaje. Se evidencia el aumento de la tasa de aprendizaje que está representado con un 15% y se refiere al proceso en la velocidad de aprendizaje de la arquitectura seleccionada, con el objetivo de buscar el error de predicción óptimo para una correcta generalización de datos en el modelo propuesto. Como procesos de optimización restantes se dispone de la actualización de hiper parámetros mediante técnicas como reducción de dimensionalidad de imágenes de entrada representadas con un 4%, la reducción de complejidad representado en parámetros como número de capas o profundidad del modelo, cantidad de neuronas usadas y la función de activación seleccionada para el proceso de entrenamiento, está representada con un 2% y por último la técnica de validación cruzada que se utiliza para identificar desequilibrio en los datos de entrenamiento está representada con un 2%.

Se evidencia que la técnica de regularización con mayor uso es la transformación de datos mencionada en [41], que permite generar datos aleatorios de forma artificial generando la variación de características en las nuevas imágenes, se aplica para el aumento de datos en el *dataset* de entrenamiento, está representada por un 23% de los trabajos seleccionados. La técnica *dropout* mencionada en [42], también conocida como abandono o deserción, se aplica con el propósito de evitar de problemas de desaparición de gradiente, representa un 17% de los trabajos seleccionados. La técnica *early stopping* representa un 13%, esta determina la carga del punto óptimo en el entrenamiento. La técnica de normalización como el tamaño de lote está representado por un 13%, permite evitar problemas de sobrecarga computacional. La técnica como *weight decay* está representada por un 11%, el aumento de la complejidad determinado por el número de capas de iteraciones de entrenamiento y la arquitectura seleccionada está representada por el 4%. Se presentan variantes adicionales que utilizan simultáneamente varias técnicas de normalización tales como el *dropout* y *weight decay*, *early stopping* y transformación de datos que están representadas por un 19% del total de trabajos seleccionados.

Para la pregunta de investigación, Q4. ¿Qué evidencia empírica existe sobre los artículos mencionados?, de un total de 47 documentos seleccionados, 39 documentos se clasifican como propuestas de investigación, que representan un 83%, 6 documentos se relacionan con estructuras de mapeos sistemáticos, que representan un 13% y 2 documentos de conferencia que representan un 4%, [13], [11], [28], [29], [43], [44], [45], [46].

6. DISCUSIÓN

Se procede a realizar un análisis de los resultados para generar afirmaciones relacionadas a las preguntas de investigación. Se propone el uso de modelos de redes neuronales convolucionales para la detección y clasificación de defectos, pero se necesita validar la cantidad y calidad de información requerida para entrenar este tipo de arquitecturas mediante sistemas de inspección AOI.

Se identifica la aplicación de metodologías optimizadoras por medio de técnicas de optimización y regularización de parámetros de entrenamiento, pero no se detallan estrategias para prevenir problemas relacionados al desajuste y sobreajuste que afectan la precisión del entrenamiento. Se especifican las diferentes técnicas para mitigar problemas de generalización encontrados en el proceso de investigación, pero no incluye un análisis más completo de la adquisición y recolección de datos que permita obtener un mejor equilibrio específicamente en los datos de entrada del modelo.

Se debe considerar que entre el periodo seleccionado del 2018 al 2022 en este estudio es notorio la falta de artículos que propongan nuevos métodos para mitigar problemas de generalización enfocados al proceso de producción de la manufactura.

7. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de esta revisión de literatura permiten identificar modelos de aprendizaje profundo orientados al procesamiento de imágenes mediante redes neuronales convolucionales y sus diferentes tipos de arquitecturas, basados en la detección automática de características. Los diferentes autores exponen como factor inicial de investigación aquellos procesos de inspección en superficies planas mediante el uso de modelos intuitivos que se adapten a los diferentes campos de producción para la detección y clasificación de defectos. La identificación de problemas de generalización en el proceso de entrenamiento y validación permite identificar estrategias optimizadoras y de regularización orientadas a mejorar la predicción de los modelos. Se define la importancia de los trabajos seleccionados identificando las técnicas con mayor usabilidad en procesos de optimización, además se exponen características de los diferentes tipos de defectos generados por las limitaciones de los sistemas de visión artificial y sus conjuntos de datos utilizados en el proceso de aprendizaje. La aportación de este estudio se refleja en la ruta de la revisión de literatura que detalla los objetivos de los trabajos seleccionados permitiendo identificar metodologías de interés en la retroalimentación orientadas a un proceso optimizador con un 26%, evaluación de métodos de aprendizaje profundo con un 26%, problemas de adquisición y de recolección de la información representados con un 21%, técnicas de predicción para el aprendizaje en un 15%, y propuestas de modelos de aprendizaje profundo con un 12% del total de trabajos seleccionados.

REFERENCIAS

- [1] R. Alvarado-Salazar and J. Llerena-Izquierdo, "Revisión de la literatura sobre el uso de Inteligencia Artificial enfocada a la atención de la discapacidad visual," *Revista InGenio*, vol. 5, no. 1, pp. 10–21, 2022, doi: <https://doi.org/10.18779/ingenio.v5i1.472>.
- [2] H.-I. Lin and F. S. Wibowo, "Image Data Assessment Approach for Deep Learning-Based Metal Surface Defect-Detection Systems," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 47621–47638, 2021, doi: [10.1109/ACCESS.2021.3068256](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3068256).
- [3] A. A. R. M. A. Ebayyeh and A. Mousavi, "A Review and Analysis of Automatic Optical Inspection and Quality Monitoring Methods in Electronics Industry," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 183192–183271, 2020, doi: [10.1109/ACCESS.2020.3029127](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3029127).
- [4] Q. Luo *et al.*, "Automated Visual Defect Classification for Flat Steel Surface: A Survey," *IEEE Trans Instrum Meas*, vol. 69, no. 12, pp. 9329–9349, 2020, doi: [10.1109/TIM.2020.3030167](https://doi.org/10.1109/TIM.2020.3030167).
- [5] Y.-T. Li, P. Kuo, and J.-I. Guo, "Automatic Industry PCB Board DIP Process Defect Detection System Based on Deep Ensemble Self-Adaption Method," *IEEE Trans Compon Packaging Manuf Technol*, vol. 11, no. 2, pp. 312–323, 2021, doi: [10.1109/TCPMT.2020.3047089](https://doi.org/10.1109/TCPMT.2020.3047089).
- [6] A. M. Kamoona, A. K. Gostar, A. Bab-Hadiashar, and R. Hoseinnezhad, "Point Pattern Feature-Based Anomaly Detection for Manufacturing Defects, in the Random Finite Set Framework," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 158672–158681, 2021, doi: [10.1109/ACCESS.2021.3130261](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3130261).
- [7] Y. Yang *et al.*, "A lightweight deep learning algorithm for inspection of laser welding defects on safety vent of power battery," *Comput Ind*, vol. 123, 2020, doi: [10.1016/j.compind.2020.103306](https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103306).
- [8] L. C. Chen *et al.*, "Edge-glued wooden panel defect detection using deep learning," *Wood Sci Technol*, vol. 56, no. 2, pp. 477–507, Mar. 2022, doi: [10.1007/S00226-021-01316-3/TABLES/9](https://doi.org/10.1007/S00226-021-01316-3/TABLES/9).

- [9] Y. C. Huang, K. C. Hung, C. C. Liu, T. H. Chuang, and S. J. Chiou, "Customized Convolutional Neural Networks Technology for Machined Product Inspection," *Applied Sciences* 2022, Vol. 12, Page 3014, vol. 12, no. 6, p. 3014, Mar. 2022, doi: 10.3390/APP12063014.
- [10] C. H. Lin, S. H. Wang, and C. J. Lin, "Using convolutional neural networks for character verification on integrated circuit components of printed circuit boards," *Applied Intelligence* 2019 49:11, vol. 49, no. 11, pp. 4022–4032, May 2019, doi: 10.1007/S10489-019-01486-5.
- [11] P. M. Bhatt *et al.*, "Image-Based Surface Defect Detection Using Deep Learning: A Review," *J Comput Inf Sci Eng*, vol. 21, no. 4, Aug. 2021, doi: 10.1115/1.4049535/1094064.
- [12] R. K. Sheu, L. C. Chen, M. S. Pardeshi, K. C. Pai, and C. Y. Chen, "AI Landing for Sheet Metal-Based Drawer Box Defect Detection Using Deep Learning (ALDB-DL)," *Processes* 2021, Vol. 9, Page 768, vol. 9, no. 5, p. 768, Apr. 2021, doi: 10.3390/PR9050768.
- [13] H. I. Lin and F. S. Wibowo, "Image Data Assessment Approach for Deep Learning-Based Metal Surface Defect-Detection Systems," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 47621–47638, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3068256.
- [14] J. W. Wang, C. C. Wang, and T. C. Cheng, "AI-based Automatic Optical Inspection of Glass Bubble Defects," *ACM International Conference Proceeding Series*, pp. 242–246, Apr. 2020, doi: 10.1145/3396743.3396768.
- [15] S. A. Reynoso Farnes, D. M. Tsai, and W. Y. Chiu, "Autofocus Measurement for Electronic Components Using Deep Regression," *IEEE Trans Compon Packaging Manuf Technol*, vol. 11, no. 4, pp. 697–707, Apr. 2021, doi: 10.1109/TCPMT.2021.3060809.
- [16] J. Llerena-Izquierdo, F. Procel-Jupiter, and A. Cunalema-Arana, "Mobile Application with Cloud-Based Computer Vision Capability for University Students' Library Services," *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1277, pp. 3–15, Jun. 2021, doi: 10.1007/978-3-030-60467-7_1.
- [17] H. Giang Nguyen, M. Meiners, L. Schmidt, and J. Franke, "Deep learning-based automated optical inspection system for crimp connections," *2020 10th International Electric Drives Production Conference, EDPC 2020 - Proceedings*, Dec. 2020, doi: 10.1109/EDPC51184.2020.9388203.
- [18] M. A. Mallaiyan Sathiaselvan, O. P. Paradis, S. Taheri, and N. Asadizanjani, "Why Is Deep Learning Challenging for Printed Circuit Board (PCB) Component Recognition and How Can We Address It?," *undefined*, vol. 5, no. 1, 2021, doi: 10.3390/CRYPTOGRAPHY5010009.
- [19] Y. T. Li, P. Kuo, and J. I. Guo, "Automatic Industry PCB Board DIP Process Defect Detection System Based on Deep Ensemble Self-Adaption Method," *IEEE Trans Compon Packaging Manuf Technol*, vol. 11, no. 2, pp. 312–323, Feb. 2021, doi: 10.1109/TCPMT.2020.3047089.
- [20] G. S. Junior, J. Ferreira, C. Millán-Arias, R. Daniel, A. C. Junior, and B. J. T. Fernandes, "Ceramic Cracks Segmentation with Deep Learning," *Applied Sciences* 2021, Vol. 11, Page 6017, vol. 11, no. 13, p. 6017, Jun. 2021, doi: 10.3390/APP11136017.

- [21] K. J. Wang, H. Fan-Jiang, and Y. X. Lee, "A multiple-stage defect detection model by convolutional neural network," *Comput Ind Eng*, vol. 168, p. 108096, Jun. 2022, doi: 10.1016/J.CIE.2022.108096.
- [22] J. Li, N. Cai, Z. Mo, G. Zhou, and H. Wang, "IC solder joint inspection via generator-adversarial-network based template," *Mach Vis Appl*, vol. 32, no. 4, pp. 1–16, Jul. 2021, doi: 10.1007/S00138-021-01218-1/TABLES/4.
- [23] X. Zheng, J. Chen, H. Wang, S. Zheng, and Y. Kong, "A deep learning-based approach for the automated surface inspection of copper clad laminate images," *Applied Intelligence* 2020 51:3, vol. 51, no. 3, pp. 1262–1279, Sep. 2020, doi: 10.1007/S10489-020-01877-Z.
- [24] H. G. Nguyen, R. Habiboglu, and J. Franke, "Enabling deep learning using synthetic data: A case study for the automotive wiring harness manufacturing," *Procedia CIRP*, vol. 107, pp. 1263–1268, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.PROCIR.2022.05.142.
- [25] A. Kulkarni and C. Xu, "A Deep Learning Approach in Optical Inspection to Detect Hidden Hardware Trojans and Secure Cybersecurity in Electronics Manufacturing Supply Chains," *Front Mech Eng*, vol. 7, Jul. 2021, doi: 10.3389/FMECH.2021.709924.
- [26] N. Hussain *et al.*, "A deep neural network and classical features based scheme for objects recognition: an application for machine inspection," *Multimed Tools Appl*, pp. 1–23, Apr. 2020, doi: 10.1007/S11042-020-08852-3/TABLES/8.
- [27] L.-C. Chen *et al.*, "Edge-glued wooden panel defect detection using deep learning," *Wood Sci Technol*, vol. 56, no. 2, pp. 477–507, 2022, doi: 10.1007/s00226-021-01316-3.
- [28] T.-H. Kim, H.-R. Kim, and Y.-J. Cho, "Product Inspection Methodology via Deep Learning: An Overview," *Sensors*, vol. 21, no. 15. 2021. doi: 10.3390/s21155039.
- [29] J. Lehr, A. Sargsyan, M. Pape, J. Philipps, and J. Krüger, "Automated Optical Inspection Using Anomaly Detection and Unsupervised Defect Clustering," *IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA*, vol. 2020-September, pp. 1235–1238, Sep. 2020, doi: 10.1109/ETFA46521.2020.9212172.
- [30] X. Zheng, H. Wang, J. Chen, Y. Kong, and S. Zheng, "A Generic Semi-Supervised Deep Learning-Based Approach for Automated Surface Inspection," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 114088–114099, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3003588.
- [31] Y. Yang *et al.*, "A lightweight deep learning algorithm for inspection of laser welding defects on safety vent of power battery," *Comput Ind*, vol. 123, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.compind.2020.103306.
- [32] Y. F. Chen, F. S. Yang, E. Su, and C. C. Ho, "Automatic Defect Detection System Based on Deep Convolutional Neural Networks," *2019 International Conference on Engineering, Science, and Industrial Applications, ICESI 2019*, Aug. 2019, doi: 10.1109/ICESI.2019.8863029.
- [33] V. A. Adibhatla *et al.*, "Unsupervised Anomaly Detection in Printed Circuit Boards through Student–Teacher Feature Pyramid Matching," *Electronics* 2021, Vol. 10, Page 3177, vol. 10, no. 24, p. 3177, Dec. 2021, doi: 10.3390/ELECTRONICS10243177.
- [34] K.-C. Li *et al.*, "Intelligent Identification of MoS2 Nanostructures with Hyperspectral Imaging by 3D-CNN," *Nanomaterials* 2020, Vol. 10, Page 1161, vol. 10, no. 6, p. 1161, Jun. 2020, doi: 10.3390/NANO10061161.
- [35] B. M. Haddad, S. F. Dodge, L. J. Karam, N. S. Patel, and M. W. Braun, "Locally Adaptive Statistical Background Modeling with Deep Learning-Based False Positive

- Rejection for Defect Detection in Semiconductor Units,” *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, vol. 33, no. 3, pp. 357–372, Aug. 2020, doi: 10.1109/TSM.2020.2998441.
- [36] T. W. Tang, W. H. Kuo, J. H. Lan, C. F. Ding, H. Hsu, and H. T. Young, “Anomaly Detection Neural Network with Dual Auto-Encoders GAN and Its Industrial Inspection Applications,” *Sensors 2020, Vol. 20, Page 3336*, vol. 20, no. 12, p. 3336, Jun. 2020, doi: 10.3390/S20123336.
- [37] T. C. Tsan, T. F. Shih, and C. S. Fuh, “TsanKit: artificial intelligence for solder ball head-in-pillow defect inspection,” *Mach Vis Appl*, vol. 32, no. 3, May 2021, doi: 10.1007/S00138-021-01192-8.
- [38] J. Villalba-Diez, D. Schmidt, R. Gevers, J. Ordieres-Meré, M. Buchwitz, and W. Wellbrock, “Deep Learning for Industrial Computer Vision Quality Control in the Printing Industry 4.0,” *Sensors 2019, Vol. 19, Page 3987*, vol. 19, no. 18, p. 3987, Sep. 2019, doi: 10.3390/S19183987.
- [39] Y. Shih, C. C. Kuo, and C. H. Lee, “Low-Cost Real-Time Automated Optical Inspection Using Deep Learning and Attention Map,” *Intelligent Automation & Soft Computing*, vol. 35, no. 2, pp. 2087–2099, Jul. 2022, doi: 10.32604/IASC.2023.027659.
- [40] S. Mei, Q. Cai, Z. Gao, H. Hu, and G. Wen, “Deep Learning Based Automated Inspection of Weak Microscratches in Optical Fiber Connector End-Face,” *IEEE Trans Instrum Meas*, vol. 70, 2021, doi: 10.1109/TIM.2021.3059105.
- [41] H. Yang, S. Mei, K. Song, B. Tao, and Z. Yin, “Transfer-Learning-Based Online Mura Defect Classification,” *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, vol. 31, no. 1, pp. 116–123, Feb. 2018, doi: 10.1109/TSM.2017.2777499.
- [42] Q. Zhang *et al.*, “Deep learning based solder joint defect detection on industrial printed circuit board X-ray images,” *Complex and Intelligent Systems*, vol. 8, no. 2, pp. 1525–1537, Apr. 2022, doi: 10.1007/S40747-021-00600-W/FIGURES/12.
- [43] T. Czimmermann *et al.*, “Visual-Based Defect Detection and Classification Approaches for Industrial Applications—A SURVEY,” *Sensors 2020, Vol. 20, Page 1459*, vol. 20, no. 5, p. 1459, Mar. 2020, doi: 10.3390/S20051459.
- [44] S. Shahrabadi, Y. Castilla, M. Guevara, L. G. Magalhães, D. Gonzalez, and T. Adão, “Defect detection in the textile industry using image-based machine learning methods: A brief review,” *J Phys Conf Ser*, vol. 2224, no. 1, Apr. 2022, doi: 10.1088/1742-6596/2224/1/012010.
- [45] A. A. R. M. A. Ebayyeh and A. Mousavi, “A Review and Analysis of Automatic Optical Inspection and Quality Monitoring Methods in Electronics Industry,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 183192–183271, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3029127.
- [46] D. U. Lim, Y. G. Kim, and T. H. Park, “SMD Classification for Automated Optical Inspection Machine Using Convolution Neural Network,” *Proceedings - 3rd IEEE International Conference on Robotic Computing, IRC 2019*, pp. 395–398, Mar. 2019, doi: 10.1109/IRC.2019.00072.



Efecto de los intercambiadores de calor en la potencia máxima de generadores termoelectricos

(Effect of heat exchangers on the maximum power of thermoelectric generators)

Alexander Vargas Almeida¹ , Miguel Ángel Olivares Robles² , Mariloli Vargas Almeida³ 

¹Universidad Politécnica del Golfo de México, Paraíso, Tabasco, México.

²Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Culhuacán-IPN, Ciudad de México, México.

³Residencia General de Construcción I, Comisión Federal de Electricidad, Santiago de Querétaro, México.
alexander.vargas@updelgolfo.mx, olivares@ipn.mx, mariloli.vargas@cfe.mx

Resumen: La conductancia térmica de contacto que existe entre los intercambiadores de calor y la superficie de un dispositivo termoelectrico es un factor que afecta a la máxima potencia eléctrica de este último. Específicamente, el efecto antes mencionado ha sido poco estudiado en generadores termoelectricos segmentados. El presente trabajo muestra un método con el cual es posible modelar a un módulo termoelectrico compuesto de dos segmentos y realizar cálculos de la máxima potencia eléctrica que puede producir el sistema; tomando en cuenta la conductancia térmica de contacto y la combinación de los materiales de los segmentos que componen al módulo. El estudio se hizo partiendo del modelado del sistema físico, se plantearon las cantidades termoelectricas que intervienen en los cálculos para posteriormente formular las ecuaciones que gobiernan la física del problema; las cuales fueron sometidas a variaciones en función de la conductancia térmica de contacto y lograr determinar las condiciones que favorecen a la máxima potencia eléctrica. El principal aporte de este trabajo es la aplicación de la formulación de cantidades equivalentes para el análisis del rendimiento de un módulo termoelectrico segmentado y la forma en que es afectado por imperfecciones en su estructura como el contacto entre su superficie y los intercambiadores de calor.

Palabras clave: conductancia térmica de contacto, máxima potencia equivalente, intercambiadores de calor, generador termoelectrico segmentado

Abstract: The contact thermal conductance that exists between the heat exchangers and the surface of a thermoelectric device is a factor that affects the maximum electrical power of the latter. Specifically, the aforementioned effect has been little studied in segmented thermoelectric generators. The present work shows a method with which it is possible to model a thermoelectric module composed of two segments and perform calculations of the maximum electrical power that the system can produce; taking into account the contact thermal conductance and the combination of the materials of the segments that make up the module. The study was made based on the modeling of the physical system, the thermoelectric quantities that intervene in the calculations were set to later formulate the equations that govern the physics of the problem; which were subjected to variations depending on the contact thermal conductance and to determine the conditions that favor the maximum electrical power. The main contribution of this work is the application of the formulation of equivalent quantities for the analysis of the performance of a segmented thermoelectric module and the way in which it is affected by imperfections in its structure such as the contact between its surface and the heat exchangers.

Keywords: contact thermal conductance, maximum equivalent power, heat exchangers, segmented thermoelectric generator

1. INTRODUCCIÓN

La termoelectricidad es un campo de estudio y de aplicación que actualmente está experimentando un activo desarrollo de investigación e innovación [1, 2]. Es posible que esta tendencia a nivel mundial sea consecuencia del interés y preocupación de países por generar soluciones a problemas como: el cambio climático, aprovechamiento de la energía de diversas fuentes, desarrollo sostenible y la disminución de gases de efecto invernadero [3, 4, 5]. Uno de los objetivos principales hacia los cuales muchas de las investigaciones son dirigidas en este campo es el mejoramiento en el rendimiento de los sistemas termoelectricos; es decir, que estos dispositivos logren un aprovechamiento óptimo de la energía que capturen; para lograrlo deben superarse diversos defectos que se encuentran presentes en la estructura del sistema, por ejemplo: ajustes de tipo geométrico [6] para mejorar la adaptación a las formas de las fuentes de calor con las cuales entra en contacto el módulo o bien modificaciones en los canales que transportan algún fluido refrigerante que contribuye a la optimización de la transferencia del calor del foco caliente al foco frío [7]. Otro aspecto por mejorar es la conexión eléctrica entre las legs y los puentes semiconductores debido a que existe una resistencia eléctrica interna que reduce la potencia eléctrica del generador termoelectrico [8]. Otro factor que afecta al rendimiento de los sistemas termoelectricos es la conductancia térmica de contacto que existe en el punto de unión entre la superficie del módulo y los intercambiadores de calor [9] y es el tema central de este artículo. Específicamente el problema que se ha planteado es el análisis de la máxima potencia eléctrica producida por un generador termoelectrico segmentado, considerando la influencia de la conductancia térmica de contacto y la forma en que afecta al rendimiento del sistema. Para realizar el estudio se aplicó el formalismo de cantidades termoelectricas equivalentes [10], el cual consiste escribir el coeficiente Seebeck, conductancia térmica y resistencia eléctrica como cantidades globales que contienen las contribuciones de los dos materiales termoelectricos que componen a cada uno de los segmentos. El tópico de módulos termoelectricos segmentados es aún muy novedoso en el campo de termoelectricidad y es por esta razón que este trabajo representa una contribución al extender el formalismo de cantidades termoelectricas equivalentes y combinarlo con el análisis de la conductancia térmica de contacto. En la siguiente subsección se comentan algunos trabajos relacionados a la temática de este artículo.

Además del objetivo principal mencionado anteriormente, en este trabajo se pretende contribuir con nuevo conocimiento a los tópicos de diseño e ingeniería para la construcción de generadores termoelectricos, que ha sido poco estudiado si se hace una comparación en número de publicaciones frente al área de materiales termoelectricos [11], en donde se han generado mayores investigaciones desde el descubrimiento de los fenómenos termoelectricos. Es así como, después de realizar una revisión de la literatura, se ha identificado un área de oportunidad para desarrollar nuevas investigaciones dirigidas a la optimización de los dispositivos termoelectricos por medio del análisis de los factores externos como son los intercambiadores de calor. Estos componentes son los que favorecen el mecanismo de transferencia de calor desde la fuente (foco caliente) hasta el sumidero (foco frío), de no contar con ellos el módulo termoelectrico no lograría realizar de forma correcta la conversión de calor en electricidad (efecto Seebeck). En lo que refiere a los tipos de intercambiadores que existen se encuentran: los de ventilador o fan, de aletas y los de tubos conductores de fluidos [12]. La clase de intercambiador seleccionado dependerá de la aplicación para la cual se desea aplicar el sistema termoelectrico, del espacio disponible para colocarlo, de los valores de temperatura en los cuales estará operando y de la cantidad de calor a disipar. Independientemente de cuál sea elegido lo cierto es que se generará una conductancia térmica de contacto en el punto de unión entre el intercambiador y el módulo y que dependiendo de la calidad del contacto el rendimiento será afectado en mayor o menor medida. Por supuesto, en la actualidad existe una amplia cantidad de resultados reportados gracias a la aplicación de herramientas como la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) [13], tratamientos analíticos combinados con métodos numéricos y experimentales [14], cada uno permite realizar análisis

potentes y muy detallados. Sin embargo, es necesario contar con esquemas de diseño que estén contruidos sobre leyes sólidas de la física y que puedan ser tomados como referencias o reglas universales que gobiernen a los fenómenos termoeléctricos, en este sentido los autores de [15] han planteado una metodología desarrollada sobre la termodinámica lineal de flujos y fuerzas para procesos de conversión irreversibles fuera del equilibrio y es precisamente el método que se aplica en este trabajo. Para un mejor entendimiento de las ideas de este tipo de estudio en la siguiente subsección se discute con más detalle el trabajo desarrollado en [15].

1.2. Trabajo relacionado

En el trabajo [16] se define con precisión que es un módulo termoeléctrico segmentado o de termocuplas segmentadas, se da a conocer como este concepto ha sido explorado en el Jet Propulsion Laboratory (JPL) de la NASA, y el desarrollo de prototipos en los cuales se ha buscado resolver el problema de mantener el perfil de temperatura deseado en la termocupla para su correcto funcionamiento, un parámetro que permite lograr esta optimización es el cociente de áreas de sección transversal de las legs tipo n y tipo p. El formalismo de parámetros equivalentes es propuesto y fundamentado por los autores de [10], [17] quienes analizaron el sistema físico de un generador termoeléctrico segmentado definiendo a la corriente eléctrica y al flujo de calor que circulan en el sistema, posteriormente garantizan la continuidad del flujo de calor a través de la unión de los dos segmentos y surge como una cantidad clave la temperatura en esa unión; a partir de estas suposiciones obtienen a cada una de las cantidades termoeléctricas equivalentes llegando a proponer una figura de mérito equivalente a partir de la cual logran dilucidar la física de los mecanismos de transporte de calor de carga eléctrica en termocuplas segmentadas. Finalmente para conocer más sobre la conductancia térmica de contacto y su influencia en los generadores termoeléctricos se remite lectura a [18], en donde se hace énfasis en el papel que tienen las condiciones térmicas del ambiente sobre el módulo termoeléctrico llegando a formular por primera vez la resistencia térmica equivalente, una cantidad que relaciona las contribuciones térmicas y eléctricas del generador, un punto notable de este artículo es la explicación de las condiciones físicas a las cuales puede ser sometido el sistema termoeléctrico considerando restricciones realistas y cómo es posible que en ese escenario se pueda optimizar el rendimiento.

Como se mencionó anteriormente en la introducción, un trabajo que se tomó como base para el estudio que aquí se presenta es el de [15], el cual parte del concepto de corriente térmica y eléctrica incluyendo la producción de entropía y el decrecimiento de la eficiencia térmica, como consecuencia de la existencia de imperfecciones en el contacto entre el módulo termoeléctrico y los intercambiadores de calor. El siguiente paso es la suposición de que el sistema responde linealmente a las perturbaciones ejercidas por factores externos, para luego derivar dentro del formalismo de flujos y fuerzas a la corriente térmica como una suma de las contribuciones de calor por convección y por conducción en estado estacionario; mientras que la corriente eléctrica contiene contribuciones por ley de Ohm y por efecto Seebeck. La parte sustantiva del artículo referenciado es la maximización de la potencia y de la eficiencia con contactos térmicos no ideales proponiendo el concepto de conductancia térmica de contacto llegando a concluir que la optimización de la potencia se alcanza cuando la conductancia térmica de contacto es igual a la conductancia térmica del generador termoeléctrico.

En este trabajo se extiende la metodología antes mencionada al caso de un generador termoeléctrico segmentado y se busca comprobar si este nuevo sistema obedece la regla de la igualdad entre la conductancia térmica de contacto y la conductancia térmica del generador.

2. METODOLOGÍA

2.1 Modelo Físico del Generador Termoeléctrico

El primer paso es plantear el modelo físico del sistema de estudio y fijar las condiciones físicas, para el propósito de este análisis el modelo propuesto es una termocupla segmentada, que resulta ser el sistema más simple que contiene todas las propiedades de un generador termoeléctrico segmentado (Figura 1).

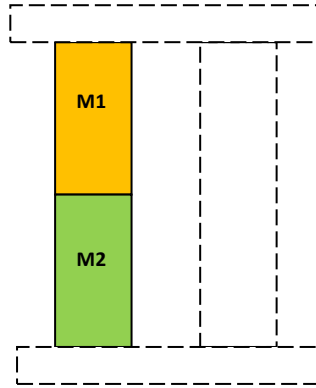


Figura 1. Modelo físico del generador termoeléctrico segmentado (GTES)

Cada uno de los materiales, (M1) y (M2), están caracterizados por: el coeficiente Seebeck (α), resistividad eléctrica (ρ) y conductividad térmica (K). La termocupla está sometida a dos reservorios de calor a temperaturas (T_H) y (T_C), cada uno de estos contactos tiene una conductancia térmica (K_H) y (K_C), respectivamente, Figura 2.

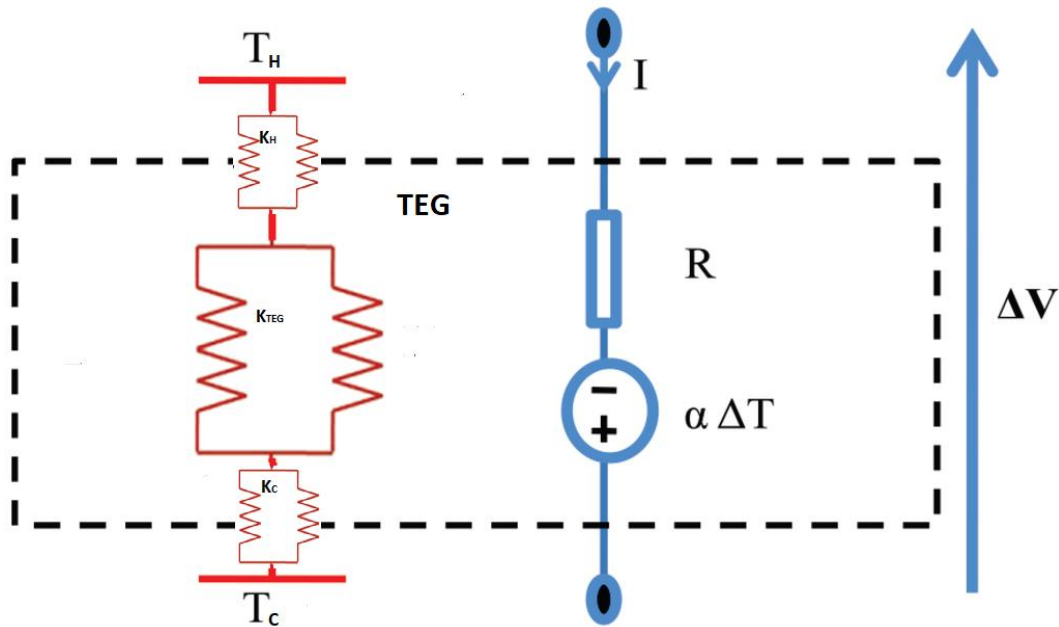


Figura 2. Circuito electro-térmico para el generador termoeléctrico

Se observa que el generador termoeléctrico tiene una resistencia eléctrica (R) y una conductancia térmica (K). Se notan también la corriente eléctrica (I), el voltaje (V) que produce y la resistencia de carga (R_{load}) que corresponde al sistema que recibe la potencia eléctrica producida.

2.2 Tratamiento Analítico

Se escribe la ecuación de la potencia eléctrica producida por el generador,

$$P_{producida} = Q_{entrada} - Q_{salida} \quad (1)$$

La máxima potencia se alcanza cuando la resistencia eléctrica del generador es igual a la resistencia eléctrica de carga ($R = R_{load}$), resultado que conduce a la expresión final,

$$P_{max} = \frac{(K_c \Delta T)^2}{4(K_{I=0} + K_c)T} \frac{ZT}{1 + ZT + \frac{K_c}{K_{I=0}}} \quad (2)$$

En donde K_c es la conductancia térmica de contacto, ZT es la figura de mérito adimensional, $K_{I=0}$ es la conductancia térmica del GTE a corriente eléctrica cero. La formulación estricta de la ecuación (2) implica una extensa discusión de principios de la termodinámica de procesos irreversibles fuera del equilibrio, pero queda fuera de los alcances de este trabajo, se sugiere consultar los trabajos [17], [19].

Para el caso del generador termoelectrico segmentado, la formulación de la ec. (2) se realiza por medio de cantidades equivalentes (α_{eq} , K_{eq} , R_{eq}),

$$P_{eq-max} = \frac{(K_c \Delta T)^2}{4(K_{eq-I=0} + K_c)T} \frac{Z_{eq}T}{1 + Z_{eq}T + \frac{K_c}{K_{eq-I=0}}} \quad (3)$$

En los trabajos de [17] [19] se muestra con detalle el procedimiento analítico con las condiciones físicas para deducir la ecuación anterior. La utilidad de la ecuación (3) radica en que permite conocer la potencia eléctrica máxima producida por un generador termoelectrico segmentado, por medio de las propiedades termoelectricas de los materiales (M1) y (M2). Otro aspecto relevante es que la ecuación contiene a la conductancia térmica de contacto generada por la conexión del generador con los intercambiadores de calor; lo que hace al modelo planteado más cercano a condiciones reales.

3. RESULTADOS

Para los cálculos en este apartado, se han seleccionado como materiales termoelectricos a las aleaciones PbTe y SiGe. Los valores de sus propiedades eléctricas y térmicas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades térmicas y eléctricas de los materiales que forman al GTES

Material termoelectrico	Coefficiente Seebeck ($\mu V/K$)	Resistividad eléctrica ($\Omega.m$)	Conductividad Térmica $W/(m.K)$
PbTe	0.0002330	0.030375	0.017750
SiGe	0.000132	0.00132625	0.0522625

Dependiendo de la calidad del contacto entre los intercambiadores de calor y la superficie del módulo termoelectrico. Se pueden producir un decaimiento de la potencia del generador, entonces tomando como un valor de referencia a la conductancia térmica del generador a corriente eléctrica cero $K_{eq-I=0}$ y formando el cociente $\frac{K_{eq-I=0}}{K_c}$, con la conductancia térmica de contacto (que corresponde a los intercambiadores), es posible visualizar el comportamiento de la potencia eléctrica producida por el GTES, como lo muestra la curva de la Figura (3).

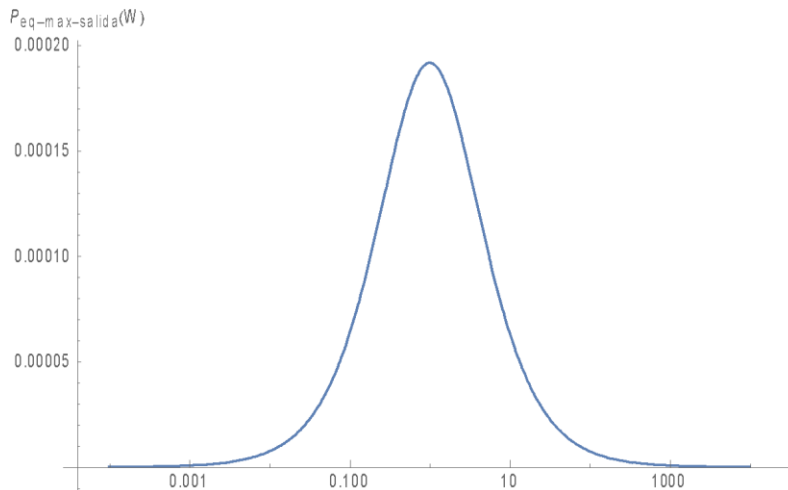


Figura 3. Curva de potencia equivalente máxima para el caso del GTES en el cual se incluyen las conductancias térmicas de los intercambiadores de calor PbTe y SiGe

La Figura (3) indica que existe un valor específico del cociente $\frac{K_{eq-I=0}}{K_c}$, con el cual el GTES alcanza su máximo valor, al aplicar un método para encontrar puntos de máximo, se determina que el valor específico que maximiza a la potencia es $\frac{K_{eq-I=0}}{K_c} = 0.99$.

Como una manera de tener una idea del potencial de energía que se podría aprovechar con el GTES, resulta útil analizar el caso ideal, en el cual no se toma en cuenta la conductancia térmica de los intercambiadores de calor. En este caso la ecuación que corresponde es la siguiente, (Peq – max-ideal)

$$P_{eq-max-ideal} = \frac{(\alpha_{eq}\Delta T)^2}{4R_{eq}} \quad (4)$$

Se obtiene la curva de la potencia como función del cociente de conductancias térmicas K_2/K_1 , para el caso ideal, en donde K_1 y K_2 son las conductancias de los materiales PbTe y SiGe, Figura (4),

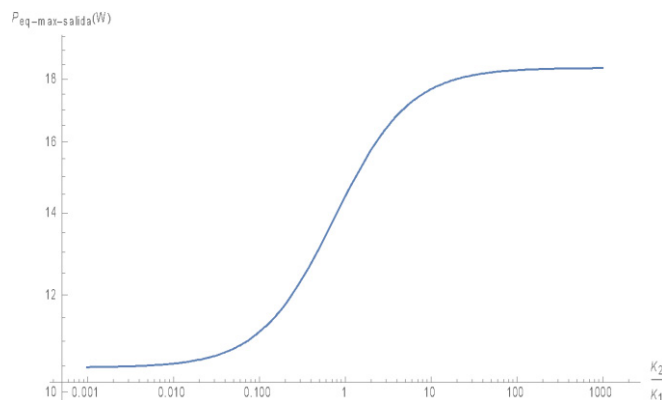


Figura 4. Curva de potencia equivalente máxima para el caso ideal del GTES, en el cual únicamente intervienen las conductancias térmicas de los materiales PbTe y SiGe

La Figura (5) muestra el máximo de potencia que alcanzaría el sistema si se lograra reducir en forma drástica la pérdida de energía debida a los intercambiadores de calor, si se extiende el dominio del cociente de conductancias térmicas se puede notar que el valor máximo se mantiene constante; lo que permite establecer un valor límite al cual se pretende llegar con el dispositivo real, la Figura 6 muestra este comportamiento asintótico.

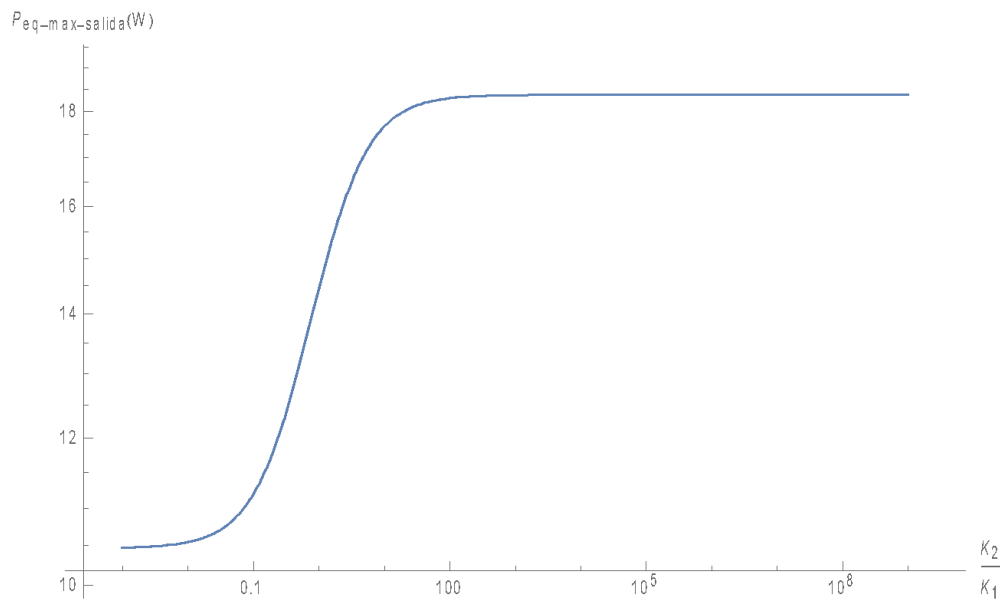


Figura 5. Curva de potencia equivalente máxima para el caso ideal del GTES, con el dominio ampliado, se observa que el valor máximo se mantiene constante sin importar el valor de la razón entre las conductancias K_2 y K_1 .

Finalmente se concluye el estudio aplicando la comparación de los valores de $K_{eq-l=0}$ y K_C por medio del cociente K_0/K_C , con la cual se obtiene el resultado que muestra la Figura 6,

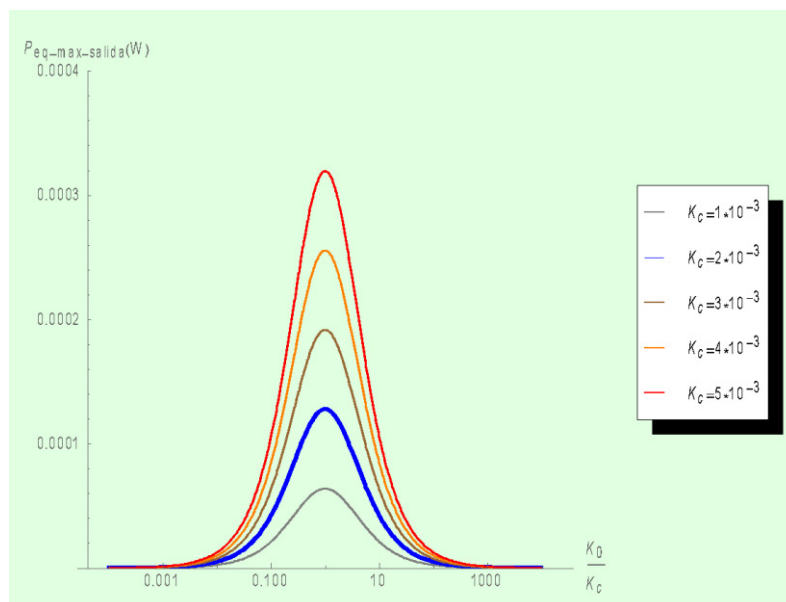


Figura 6. Potencia máxima del GTES como función del cociente K_0/K_C

La gráfica de la Figura 6 muestra un conjunto de curvas de potencia eléctrica para el GTES, en donde se observa que existe un valor específico del cociente ($K_{eq-l=0}/K_C$) en el cual todas alcanzan su valor más alto, y que es el mismo para todas independientemente del valor de K_C , al aplicar la búsqueda de máximos, se ha determinado que ese valor específico es,

$$\frac{K_{eq-l=0}}{K_C} = 0.99 \quad (5)$$

Es decir, aproximadamente 1.

4. DISCUSIÓN

La gráfica de la Figura 3 comprueba que la regla de la igualdad entre la conductancia térmica de contacto y la conductancia térmica del generador termoelectrico se cumple para el sistema de un generador termoelectrico segmentado. Es importante mencionar que este resultado se ha obtenido con apoyo de la formulación de las cantidades equivalentes. Por tanto, resulta relevante reconocer la utilidad de este resultado ya que permite avanzar en el diseño de sistemas termoelectricos para generación de potencia, ahorrando tiempo e incluso costo al momento de seleccionar los intercambiadores de calor correctos. Otro caso que se inspeccionó lo muestra la Figura 4 que fue obtenida en función del cociente de las conductancias térmicas de los dos segmentos que componen al dispositivo en la condición de contactos térmicos ideales, es notable el incremento del valor de la máxima potencia y aunque pudiera pensarse que el máximo de potencia equivalente ideal aumenta de forma indefinida conforme aumenta el cociente $\frac{K_2}{K_1}$. La Figura 5 ayuda a comprobar por medio de su comportamiento asintótico que existe un límite que es el máximo ideal que alcanzaría el sistema si sus deficiencias fueran eliminadas. Especificamente para los dos materiales utilizados como los segmentos (PbTe y SiGe) se determinó una relación de $K_2 = 10 K_1$. Finalmente, la gráfica de la Figura 6 muestra que al hacer variaciones de la potencia en función del cociente $\frac{K_0}{K_C}$ para distintos valores de K_C , todas las curvas alcanzan su valor máximo en el mismo punto, $\frac{K_0}{K_C} = 0.99$, es decir cuando K_0 es igual K_C .

5. CONCLUSIONES

Desarrollar sistemas que logren un mayor rendimiento es uno de los grandes hitos de la termoelectricidad, a diferencia de los sistemas convencionales de generación de energía, los generadores termoelectricos aún representan un desafío y han creado un área de oportunidad que merece la pena explorar ya que hay mucho que hacer a nivel de investigación de frontera, innovación y aplicaciones. Como se ha mostrado en este trabajo, la temperatura es un parámetro sustantivo en el funcionamiento de un TEG, para cada material termoelectrico existe un rango específico de temperatura en el cual alcanza su máximo rendimiento (cuantificado por la figura de mérito). Considerando este aspecto físico, la termocupla segmentada fue el modelo estudiado en este trabajo, este sistema aún se encuentra sometido a estudios y nuevas investigaciones, como se puede consultar en el trabajo [1]. Aunque la metodología planteada se puede aplicar sin problemas para el análisis de un TEG convencional, su alcance se ha enfocado para el análisis del rendimiento de legs segmentadas abordando parte de la complejidad que esta estructura implica.

Los resultados presentados son una primera contribución para el estudio de la potencia eléctrica de los generadores termoelectricos. La ecuación (3) representa un primer avance, porque permite analizar el comportamiento de la potencia eléctrica equivalente de un generador termoelectrico segmentado; tomando en cuenta el efecto de la conductancia térmica de contacto producida por los intercambiadores de calor unidos al sistema, y que son los responsables de la transferencia de calor entre el generador y su ambiente. También tiene importancia comentar que con el análisis del caso ideal (en el que no se toman en cuenta los intercambiadores de calor) se obtuvo el límite de potencia máxima que puede alcanzar el sistema, este resultado sirve para comprobar la consistencia del resultado que puede producir la ecuación (3), ya que, en caso de obtener un valor más alto, entonces indica que se está cometiendo un error en los cálculos.

Finalmente ha sido posible concluir que los resultados mostrados por las Figuras 3 y 6 son consistentes con los obtenidos por los autores de [15]. Una característica destacable de esta regla que se debe cumplir para las conductancias térmica de contacto y del generador es que no depende de la geometría de los intercambiadores o de la superficie del módulo.

Uno de los primeros avances que se pretende alcanzar a corto plazo con esta metodología es evaluar el rendimiento de termocuplas compuestas por tres segmentos y a largo plazo sería explorar si tiene sentido físico hacer una generalización de la ecuación (3) para aplicarla en una termocupla de N segmentos.

REFERENCIAS

- [1] T. Hendricks, T. Caillat y T. Mori , «Keynote Review of Latest Advances in Thermoelectric Generation Materials, Devices, and Technologies 2022,» *Energies*, vol. 15, nº 19, 2022.
- [2] G. Qin, Thermoelectricity - Recent Advances, New Perspectives and Applications, IntechOpen, 2022.
- [3] J. J. Gutiérrez Moreno, J. Cao, M. Fronzi y . M. H. N. Assadi⁵, «A review of recent progress in thermoelectric materials,» *Materials for Renewable and Sustainable Energy*, vol. 9, nº 16, pp. 1-22, 2020.
- [4] Materials for the Energy Transition, series, «THERMOELECTRIC ENERGY CONVERSION MATERIALS,» The Henry Royce Institute, Reino Unido, 2020.
- [5] D. Charris , D. Gomez , A. Rincon Ortega , M. Carmona y P. Mauricio , «A Thermoelectric Energy Harvesting Scheme with Passive Cooling for Outdoor IoT Sensors,» *Energies*, vol. 13, nº 11, 2020.
- [6] N. K. Karri y M. Changki, «Reliable Thermoelectric Module Design under Opposing Requirements from Structural and Thermoelectric Considerations,» *Journal of Electronic Materials*, vol. 47, nº 6, pp. 1-17, 2017.
- [7] L. Song, Q. Zuoqin , . H. Dengyun, X. Li y W. He , «A Comprehensive Review of Strategies and Approaches for Enhancing the Performance of Thermoelectric Module,» *Energies*, vol. 13, pp. 1-24, 2020.
- [8] C. GOULD y N. SHAMMAS, «Three Dimensional TCAD Simulation of a Thermoelectric Module Suitable for Use in a Thermoelectric Energy Harvesting System,» de *Small-Scale Energy Harvesting*, Francia, IntechOpen, 2012.
- [9] B. Beltrán-Pitarch, F. Vidan y J. García-Cañadas, «Thermal contact resistance evaluation of a thermoelectric system by means of three I-V curves,» *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 173, 2021.
- [10] Y. Apertet, H. Ouerdane, C. Goupil y P. Lecoœur, «Equivalent parameters for series thermoelectrics,» *Energy Conversion and Management*, vol. 93, pp. 160 - 165, 2015.
- [11] M. Amine Zoui, S. Bentouba, J. G. Stocholm y M. Bourouis, «A Review on Thermoelectric Generators: Progress and Applications,» *Energies*, vol. 13, 2020.
- [12] D. Astrain y Á. Martínez , Heat Exchangers for Thermoelectric Devices, Croacia: InTech, 2012.
- [13] W. Li, M. Paul, J. Siviter, A. Montecucco, A. Knox, T. Sweet, G. Min, H. Baig, T. Mallick, G. Han, D. Gregory, F. Azough y R. Free, «Thermal performance of two heat exchangers for thermoelectric generators,» *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 8, pp. 164 - 175, 2016.

- [14] B. Erdogan, K. Duran y İ. Zengin, «Experimental and Numerical Analysis of Using Thermoelectric Generator Modules on Hexagonal Exhaust Heat Exchanger,» *Karaelmas Science and Engineering Journal*, vol. 11, n° 1, pp. 54-60, 2021.
- [15] L. Apertet, H. Ouerdane, O. Glavatskaya, C. Goupil y P. Lecoeur, «Optimal working conditions for thermoelectric generators with realistic thermal coupling,» *Europhysics Letters*, vol. 97, n° 2, 2012.
- [16] T. Caillat, J. Fleurial, G. Snyder, A. Zoltan, D. Zoltan y A. Borshchevsky, «A New High Efficiency Segmented Thermoelectric,» *Energy Conversion Engineering Conference*, vol. 34, 1999.
- [17] A. V. Almeida, M. Á. Olivares Robles y P. Camacho Medina, «Thermoelectric System in Different Thermal and Electrical Configurations: Its Impact in the Figure of Merit,» *Entropy*, vol. 15, n° 6, pp. 2162-2180, 2013.
- [18] Y. Apertet, H. Ouerdane, C. Goupil y P. Lecoeur, «Influence of thermal environment on optimal working conditions of thermoelectric,» *Journal of Applied Physics*, vol. 116, n° 144901, 2014.
- [19] A. V. Almeida, M. A. Olivares Robles y L. F. Méndez, «Performance of a Composite Thermoelectric Generator with Different Arrangements of SiGe, BiTe and PbTe under Different Configurations,» *Entropy*, vol. 17, n° 11, pp. 7387-7405, 2015.
- [20] T. Hendricks, T. Caillat y T. Mori, «Keynote Review of Latest Advances in Thermoelectric Generation Materials, Devices, and Technologies 2022,» *Energies*, vol. 15, n° 19, 2022.



Revisión bibliográfica sobre los residuos sólidos urbanos

(Literature review of solid urban waste)

Sonia Romina Niezwida¹ , Juan Carlos Michalus¹ , Graciela Beatriz Gavazzo²

¹ Facultad de Ingeniería Oberá UNaM, Oberá, Argentina

² Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales. (UNaM), Posadas, Argentina

sonia.niezwida@fio.unam.edu.ar, michalus@fio.unam.edu.ar, graciela@fceqyn.unam.edu.ar

Resumen: En este artículo se presenta el resultado de una revisión bibliográfica sobre la gestión de los residuos sólidos urbanos. Se exponen cifras actuales y en este contexto se citan los aspectos más relevantes que definen el camino de la investigación-acción sobre el tema. Además, se desarrollan e interrelacionan aspectos de desarrollo sostenible a nivel global con enfoque en Latinoamérica y en particular comentarios sobre la gestión de residuos en el territorio argentino. Se mencionan aspectos involucrados en la gestión de residuos a nivel municipal incluyendo a los conceptos de cooperación, marco legal y actores. Cabe destacar que los desechos no sólo contaminan el ambiente, agua y aire, sino que tiene efectos perjudiciales para la salud pública y la vida de todos los seres vivos y es por ello que el tema es abordado en más de uno de los objetivos de desarrollo sostenibles desarrollados a nivel global. La revisión bibliográfica realizada demuestra que los residuos forman parte de una problemática socio ambiental activa.

Palabras clave: Problemática, gestión de residuos, desarrollo local sostenible, actores.

Abstract: This article presents the result of a bibliographical review on the management of urban solid waste. Some questions are presented and, in this context, the most relevant aspects that define the path of action research on the subject are cited. In addition, aspects of sustainable development are developed and interrelated at a global level with a focus on Latin America and, in particular, comments on waste management in the Argentine territory. Aspects involved in waste management at the municipal level are mentioned, including the concepts of cooperation, legal framework and actors. It should be noted that garbage not only contaminates the environment, water and air, but also has detrimental effects on public health and the lives of all living beings and that is why the issue is addressed in more than one of the development objectives developed globally. The bibliographic review carried out shows that waste is part of an active socio-environmental problem.

Keywords: Problematic, waste management, sustainable local development, actors.

1. INTRODUCCIÓN

Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) son los desechos que se generan en domicilios particulares y aquellos de similar composición generados en otros ámbitos [1]: “todo elemento, material, objeto o sustancia que, como consecuencia de los procesos de consumo y desarrollo de actividades humanas, es desechado y/o abandonado”. Los RSU son análogos a los denominados domiciliarios y pueden ser de origen residencial, urbano, comercial, asistencial, sanitario, industrial o institucional, con excepción de aquellos que se encuentren regulados por normas específicas” [2].

Una de las mayores cuestiones ambientales en todo el mundo está dada por la problemática asociada a la inadecuada gestión integral de los residuos sólidos urbanos (GIRSU) [3], [4], [5] tal que la disposición de los residuos genera efectos negativos en forma de contaminación, riesgos sanitarios y sociales. La recolección, transferencia y disposición final que implica su gestión representa un desafío de política pública para la mayor parte de las agendas gubernamentales [6], [7].

En Latinoamérica y en particular en Argentina los datos sobre generación de residuos pueden resultar impactantes: según fuentes oficiales se producen alrededor de 54.000 toneladas diarias. De ellas, según la Organización de las Naciones Unidas (ONU) el porcentaje que se recicla es apenas el 6 %, siendo una situación con similares características en la mayoría de los territorios Latinoamericanos, donde Brasil es uno de los países que más residuos produce, superando a la tasa de generación de Argentina, pero también es aquí donde existen lineamientos claros para mitigar el problema ambiental mediante legislaciones recientes [8].

Un acercamiento promisorio para gestionar los residuos a nivel local podría ser mediante la incorporación de eco-puntos, los cuales lograrían disminuir el volumen de desechos que llegan a los rellenos sanitarios, o bien, un modelo con enfoque a la gestión ágil que incorpore ciertas metodologías de la ingeniería industrial [5].

Este artículo tiene como objetivo presentar una revisión de la literatura enfocada en la búsqueda de un modelo de gestión para RSU que permita el aprovechamiento de los residuos de manera integral y eficiente.

2. METODOLOGÍA

La revisión de la bibliografía se llevó a cabo según Torres Fonseca & López Hernández (2014) [9], donde en primera instancia se definió el objetivo de la revisión que consiste en conocer el estado del arte de los RSU de forma general. Luego, se especificó la pregunta de investigación y seguidamente, se precisó la ecuación de búsqueda como se muestra en la Tabla 1. Una vez definida la ecuación de búsqueda, se realizó la búsqueda bibliográfica consultando en las bases de datos y fuentes documentadas de la web (Web of science, SciELO, Redalyc, Dialnet, Google Scholar). Debido a la gran cantidad de información disponible, se decidió filtrar y tomar aquella publicada a partir del año 2000, tal que para la redacción del artículo se seleccionaron los documentos de estudios más relevantes acerca de información general y modelos de RSU. Fueron 25 los artículos seleccionados al finalizar la revisión, a partir de 100 artículos que se fueron clasificando según el nivel de contenido sobre gestión integral de residuos sólidos urbanos (GIRSU) mediante una lectura crítica del resumen, tomando sólo aquellos que refieran solamente a modelos de gestión y gestión de RSU. Además, el presente escrito incluye las definiciones de los referentes en temas indirectamente relacionados con RSU, como ser legislación, territorio y actores locales.

Tabla 1. Palabras Clave de la búsqueda bibliográfica

#	Residuo	#	Cooperación	#	Modelo
1	<i>Solid waste model</i> Modelo de residuos sólidos	3	<i>Cooperation</i> Cooperación	6	<i>Management Model</i> Modelo de gestión
2	<i>Waste</i> Desecho	4	<i>Collaboration</i> Colaboración	7	<i>Strategic Management Model</i> Modelo de gestión estratégica
		5	<i>Quadruple hélix</i> [10] Cuádruple Hélice		
Ecuación de búsqueda: (#1 or #2) and (#3 or #4 or #5) and (#6 or #7) and (año publicación ≥ 2000)					
("solid waste model" or "waste") and ("cooperation" or "collaboration" or "quadruple helix") and ("management model" or "strategic management model")					
("modelo de residuos sólidos" or "desecho") and ("cooperación" or "colaboración" or "cuádruple hélice") and ("modelo de gestión" or "modelo de gestión estratégica")					
Total artículos revisados: 100					
Total artículos revisados descartados: 75					
Total artículos tomados para redacción del presente trabajo: 25					

3. RESULTADOS

Según la revisión bibliográfica realizada, resulta importante destacar que el tema de los residuos sólidos urbanos es amplio. Se logró detectar los conceptos principales que no pueden faltar cuando se indaga el tema y se expone una revisión de RSU, por ello se incluyen los conceptos de globalización, urbanización, sociedad, estado y otros actores, objetivos de desarrollo sostenible (ODS) y cooperativas. Estos términos referidos en la GIRSU serán abordados a continuación.

La globalización, según uno de los referentes en el tema [9] es un “fenómeno directamente relacionado con el aumento de residuos sólidos urbanos, dado que somos testigos de la ola de urbanización más grande de la historia...” [10]. La población urbana crece año tras año porque los pobladores rurales se trasladan a ciudades urbanizando las zonas a un ritmo acelerado, tal que para el 2050 el 85 % de la población mundial vivirá en ciudades [11]. Frente a ello y según el último informe de la Nueva Agenda Urbana a partir de informes de la Organización de las Naciones Unidas, los residuos que producen las ciudades tienen enormes consecuencias y resultan un problema urgente para el desarrollo urbano en lo referido a la salud pública, a los usos del suelo y a la mitigación del cambio climático. La generación de residuos sólidos urbanos está destinada a crecer más del doble que la población para el 2050. Esto trae consigo el problema de la disposición final que viene a ser uno de los desafíos más grandes enfrentados en el mundo actual, debido a la creciente diversificación y producción de RSU frente a los hábitos de consumo. Con el objetivo de crear ciudades sostenibles económica, social y medioambientalmente factibles, nació el concepto de “Smart Cities” o ciudades inteligentes, que mediante sus lineamientos económico tecnológico y sustentables pueden facilitar y mejorar la vida de la población mediante la aplicación de las tecnologías [11,12] siendo claramente un modelo de aproximación para gestionar también a los residuos que generan.

A nivel mundial, existen diversos lineamientos sobre economía circular, los más visibles son los que se realizan mediante el principio de recolección diferenciada y reciclaje, o bien un modelo regulado por medios legales, donde se puede citar al caso de los EE. UU, allí los fabricantes de papel tienen derecho a préstamos preferenciales que se utilizan para modernizar la producción y aumentar el reciclaje [13]. Alemania tiene el principio de “devolución”, que implica la

responsabilidad de los fabricantes de desechar sus productos (incluido el embalaje) después de que los recipientes pierdan sus propiedades de consumo, como ser, latas y botellas, las cuales son pagas al devolverlas en supermercados “Gestión de residuos sólidos urbanos: una revisión de los residuos en 32 países europeos”. A pesar de los esfuerzos en los países del primer mundo, aún se detecta que no se ha encontrado una solución definitiva para la basura, ya que los residuos constituyen un problema latente [14], [15].

La realidad indica que la mayoría de los incineradores del mundo incluidas las plantas de alta eficiencia en Suecia y Japón producen enormes cantidades de cenizas y polvo tóxico, por lo tanto, la problemática de eliminación allí tampoco está resuelta en su totalidad. A su vez, se suma el costo, ya que el reciclaje de residuos muchas veces es mayor que el costo de eliminación y trae como consecuencia que los residuos se entierran y que una cantidad poco significativa de ellos se recicle, reutilice y composte por ser una solución más económica [16]. Las buenas prácticas de GIRSU pueden incluir las actividades consideradas buenas prácticas que se describen en la Tabla 2, [17], [18], [19], [20].

Tabla 2: Etapas en buenas prácticas en GIRSU para países en desarrollo

Actividad	Ventaja	Desventaja
Generación y separación	Disminución de volumen a depositar en relleno sanitario. Posibilidad de reutilizar parte de los desechos	Práctica influida por el tamaño de la familia, su nivel de educación y el ingreso mensual. Depende de la conciencia ambiental que manejen
Recolección, transferencia y transporte	Aumenta el reciclaje y valorización	Cambio de tarifa para el servicio. Sistemas inapropiados, la inadecuada planificación de rutas, la falta de información sobre horarios, infraestructura insuficiente, calles en malas condiciones y cantidad de vehículos utilizados en la recolección
Tratamiento	Disminuye el impacto ambiental	Falta de conocimiento de los sistemas de tratamiento por parte de las autoridades
Reciclaje	Disposición estratégica de contenedores. El mercado de materiales reciclados incrementa el profesionalismo de las compañías recicladoras	Su impulso depende de influencias sociales, de los factores altruistas y normativos para que las comunidades desarrollen hábitos de reciclaje
Disposición final	Los residuos se entierran	Si el relleno no está controlado, puede afectar a los seres vivos del entorno porque se producen líquidos (lixiviados) por la descomposición natural de los RSU. Los recursos financieros insuficientes y la ausencia de legislación son factores que limitan la disposición segura

En Argentina hace veinte años comenzó a crecer progresivamente la preocupación ambiental, social, económica y política por el manejo de los RSU y se discutía cómo resolver problemáticas asociadas a los métodos tradicionales de gestión, mientras que a nivel internacional se afianzó una nueva manera de pensar las políticas de residuos [21]. Hoy en día, asociado a ello, se ha consolidado el enfoque de la economía circular atribuido en sus orígenes a Pearce y Turner [22]. En tal sentido, la secretaría de ambiente y desarrollo sustentable de Argentina (SAyDS) cuenta con varias líneas de asistencia financiera para GIRSU y secretarías de economía circular que buscan fortalecer la asistencia a localidades a partir de demandas puntuales, en búsqueda de incorporar algunas de las actividades mencionadas en la Tabla 2, situación que resulta similar para los países de Latinoamérica y el Caribe [23], [24]

La realidad actual Argentina, indica que la generación de residuos en el país responde a una recta ascendente (directamente relacionada con el crecimiento poblacional), donde cada poblador genera aproximadamente 1,15 kg de residuo por día, incrementando la cantidad generada año tras año. Frente a ello, se encontró acciones llevadas adelante por pobladores, como ser el caso de la ciudad de Buenos Aires, donde se aplicó un modelo de zonificación por cooperativas [8] en el que los ciudadanos recolectan los materiales reciclables de su zona. La iniciativa de zonificar y gestionar surgió respetando el marco legal de Argentina [1], que establece a “cada municipio como el organismo encargado de la gestión de RSU que se genera en su territorio”. Por su parte, la provincia de Buenos Aires y Capital Federal, poseen un sistema de disposición regional coordinado por la Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado (CEAMSE) donde la disposición de la basura se realiza en rellenos sanitarios. Por otra parte, en el interior del país, la GIRSU depende de cada jurisdicción y el caso es que la mayoría de los municipios dispone los residuos en basurales a cielo abierto [7], [8], [21]. Ahora bien, la GIRSU es un tema de manejo territorial, por ello, se suele cuestionar si el relleno sanitario es una alternativa superadora, donde según la bibliografía es una práctica actualmente aceptada. De hecho, en Argentina hay resoluciones del Consejo Federal de medio ambiente (COFEMA), una autoridad ambiental colegiada creada en la última reforma de la Constitución, en la que están todas las autoridades ambientales de cada jurisdicción del país, donde se establece que lo mejor que se puede hacer con los residuos que no se hayan podido valorizar de alguna manera, es disponerlos en rellenos sanitarios. Es una idea bastante extendida en términos de disposición final de los residuos, después de haberse agotado las instancias de valorización y en la medida que esté bien construido y manejado, tenga impermeabilización del fondo, captación de los líquidos lixiviados, testeo de los gases, control de vectores y una serie de monitoreo, lo vuelven una alternativa superadora [25].

Por parte de la sociedad: ¿Cuáles son hoy los principales desafíos en cuanto a la gestión de residuos sólidos? ¿De qué manera se va a financiar el cambio en la gestión tomando al reciclaje como principal desafío? Estas interrogantes están en línea con una serie de discusiones en torno a la ley de envases y embalajes. Es decir, ¿quién tiene que financiar la gestión de los residuos? ¿los ciudadanos a través del pago de impuestos? ¿No tiene responsabilidad quien puso el envase en el mercado? Tal como se expone, la temática es compleja y la solución implicaría analizar su factibilidad ambiental, social y económica [26].

Otro actor plenamente implicado en la GIRSU es el estado, y con ello surgen diversos cuestionamientos como ¿Ser un estado debe invertir en buenas prácticas de reciclaje? ¿O tiene que promoverlo? ¿Debe intervenir en la producción y gestión de residuos de las empresas? Hasta ahora, si bien existen restricciones y alternativas favorables al reciclaje impartidas por el estado, son insuficientes. Asociado a ello, se ha detectado que no existe un estímulo para que las industrias consuman más reciclables y les resulte más caro utilizar material virgen, es decir hay carencia en incentivos de consumo de reciclables, por ejemplo, como el caso de papel FSC (Forest Stewardship Council por sus siglas en inglés). Estas siglas, remite a una certificación que garantiza la correcta gestión de los recursos forestales de la empresa que lo tenga, es decir

utilización de papel reciclado como materia prima y este acabe convertido en diferentes productos de consumo [27], [28].

Entre las aproximaciones de modelizaciones de GIRSU se ha encontrado un novedoso modelo que pretende “ayudar a la toma de decisiones de diseño y de dirección de operaciones relativas a la recogida de residuos urbanos en un municipio” denominado SIRUS (Sistema Integrado de Recogida Urbana Selectiva) [29] que tiene como principio la recolección diferenciada, un modelo de aprovechamiento sustentable de residuos sólidos orgánicos que incluyen buenas prácticas de reciclaje [30], un caso de estudio aplicando modelización integral mediante programación lineal que incluye la “generación de desechos, composición, modos de transporte, técnicas de procesamiento, ingresos del procesamiento de desecho” [31] y un sistema de reciclaje inclusivo que se indica en la Figura 1, definido así porque considera la incorporación de recicladores informales y promotores ambientales [32] incluyendo a diferentes organizaciones sociales ó actores.

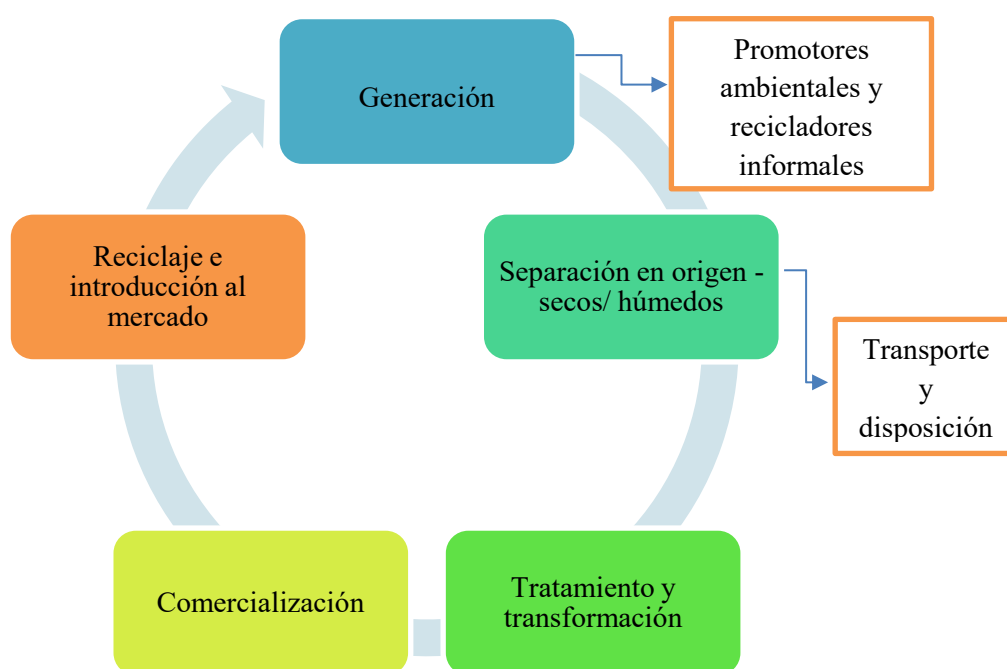


Figura 1: Modelo de gestión “inclusivo” para residuos

4. DISCUSIÓN

Según lo relevado, se definió que la GIRSU es aquella gestión que se lleva a cabo mediante la aplicación de técnicas adecuadas, tecnologías y sistemas de gestión para lograr conjuntamente la reducción y gestión eficaz de los desechos que aún se producen después de la reducción de residuos que incluye un programa integral de prevención, reciclaje, procesamiento y eliminación de desechos [7], [8]. El modelo a seguir dependerá de cada ciudad, determinado por actividades que los municipios apliquen y que con ello logren disminuir el volumen de residuos que se llevan a los rellenos sanitarios. Tales actividades podrán ser la recolección diferenciada o clasificación mediante estaciones, con el objetivo de reusar, reciclar o proporcionar otro tipo de valorización (generación de biogás, compost, componente para pavimento de caminos) y el relleno sanitario como última opción [4], [5]. En este contexto, en la Figura 1, se presentó un modelo denominado “reciclaje inclusivo” donde a través de un programa municipal, integral y completo podrá incorporar recuperadores gradualmente hasta llegar a la totalidad de ellos. Este modelo está pensado para grandes ciudades donde intervienen actores que incluyen a la academia, el estado,

la sociedad y las empresas en conjunto [32]. Cabe desatacar que el modelo dispuesto en la Figura 1, no ha sido formulado para municipios pequeños y presenta escasas posibilidades de aplicación, debido a la baja densidad poblacional de estas aglomeraciones de personas y en consecuencia a la generación de residuos en ese espacio territorial, donde los residuos son un problema latente. Es decir, el modelo resulta de difícil aplicación en localidades con menos de 20.000 habitantes tomando una región donde los pueblos están distanciados por más de 15 kilómetros. Frente a ello, es importante destacar que una aproximación de modelo GIRSU para pequeños y medianos poblados es aquel que utiliza los emprendimientos de reciclaje, que son alimentados por eco puntos de poblaciones menores e integración de prácticas con recolección diferenciada [29], [30], [31], pero, que sin embargo forman parte de una solución parcial ya que no abordan la problemática de manera integral.

La difusión de los medios de comunicación, la formulación de políticas públicas y la toma de decisiones estratégicas de gobiernos, organizaciones y empresas pueden contribuir al desarrollo de un GIRSU sostenible. Debido a la importancia de la cuestión a nivel global, la gestión de residuos se encuentra presente de manera directa en 2 objetivos de desarrollo sostenible (ODS), “ODS 9: industria, innovación e infraestructura, ODS 11: ciudades y comunidades sostenibles”, donde se propuso la noción de desarrollo sostenible como alternativa frente al desarrollo económico sin el compromiso del medio natural, es decir, “satisfacer las necesidades de la generación presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” [33]. Los ODS son lineamientos globales para alcanzarlos en el 2030, en tanto, el avance de su gestión depende de cada gobierno, cooperación de sistemas privados y diversos actores involucrados para cada espacio territorial [33], [34].

5. CONCLUSIONES

Se concluye que el manejo y disposición final de RSU constituyen un problema ambiental activo a nivel mundial consecuencia directa del crecimiento de la población Urbana.

La problemática es reconocida como tal y es visible y por ello está incluido en los ODS que buscan alcanzar soluciones involucrando los diversos actores; ya que son lineamientos globales de los que Argentina, Latinoamérica y el mundo son parte y que requieren principalmente ser trabajados por el estado y los gobiernos locales para tomar cartas en el asunto.

Se han identificado modelos aplicables para grandes ciudades, sin embargo, la gestión de los RSU en los municipios y regiones con baja densidad poblacional es un tema promisorio y, si bien existen aproximaciones, no se dispone de un instrumental de gestión integral de residuos sólidos urbanos, cooperativo y sostenible en el tiempo para gestionar los residuos de una o más localidades y asentamientos pequeños y distanciadas.

REFERENCIAS

- [1] *Ley Nacional de la República Argentina N°25.916/2004* - “Gestión de residuos domiciliarios”. [online] <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/95000-99999/98327/norma.htm> (accedido: abril de 2021).
- [2] Ministerio de gobierno de la República Argentina “Fuente oficial de ambiente y residuos a nivel Nacional en Argentina”, Informe, Argentina, 2022 [en línea]. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/control/rsu> (accedido: julio de 2022).
- [3] R. Rollandi, "Problemática de la gestión de residuos sólidos en las megaciudades", Informe, Argentina, 2013 [online]. Disponible en: http://ic-latinoamerica.com/descargas/pdf/articulos_interes/2012-04_problematika_de_la_gestion.pdf (accedido: 17 de marzo de 2023).

- [4] M. Berent, "Mejoramiento en la gestión de residuos sólidos urbanos en pequeñas ciudades del NEA. El caso de Leandro N. Alem, Misiones". *UNNE: Cuaderno Urbano*, vol.4, n°.4, pp.43 – 74, 2004.
- [5] M. Berent, Vedoya D., "Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos en Ciudades Intermedias del NEA Sistema de Gestión y Elementos Funcionales", Conferencia: Comunicaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad Nacional del nordeste. Resistencia, Argentina, 2005 [online]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/349305463_Tratamiento_de_Residuos_Solidos_Urbanos_en_Ciudades_Intermedias_del_NEA_Sistema_de_Gestion_y_Elementos_Funcionales (accedido: 20 de marzo de 2023).
- [6] A. Devincenzi, "Producción de basura: cuál es la realidad en Argentina y qué se podría hacer", Argentina, Informe, 2018. [online]. Disponible en: <https://www.cronista.com/responsabilidad/Produccion-de-basura-cual-es-la-realidad-en-Argentina-y-que-se-podria-hacer-> (accedido: 20 de marzo de 2023).
- [7] P. Shamber, "Tendencias hacia una gestión integral de residuos sólidos en Argentina y desafíos para el trabajo de los recolectores", *Revista de la red de expertos iberoamericanos en gestión de residuos*, vol. 10, pp. 5-18, 2010.
- [8] P. Schamber, J. Tagliafico, "El Sistema de Recolección Diferenciada en el territorio de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Características inéditas de la participación de cartoneros en la gestión de los residuos urbanos secos", *Revista Laboreal*, vol. 17, n°.2, 2021, [online]. Disponible en: <http://journals.openedition.org/laboreal/18660> (accedido: 3 junio de 2022)
- [9] A. Torres Fonseca; D. López Hernández. "Criterios para publicar artículos de revisión sistemática", *Especialidades Médico-Quirúrgicas*, vol. 19, n°. 3, pp. 393-399, 2014
- [10] B. De Sousa Santos, "La globalización del derecho. Los nuevos caminos de la regulación y la emancipación". Primera edición, Imprenta Bogotá Editorial ILSA, 1998.
- [11] Fundación ENDESA, "Smart cities", Informe de Fundación ENDESA, 2023 [online]. Disponible en: <https://www.fundacionendesa.org/es/recursos/a201908-smart-city> (accedido: mayo de 2023).
- [12] Banco Mundial." Los desechos a nivel mundial crecerán un 70 % para 2050, a menos que se adopten medidas urgentes", Informe del banco mundial, 2018 [online]. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report> (accedido: 20 de marzo de 2023)
- [13] Y. Ke, "Economía circular y el papel de la innovación", Tesis de Maestría, Universidad politécnica de Valencia. Departamento de Proyectos de Ingeniería, Valencia, España 2014 [online]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/151743> (accedido: marzo de 2023).
- [14] I. Kirilchuk, V. Rykunova, "Unauthorized dumps: socio-economic aspects of the problem", *Economic XXI*, vol. 180, n°.11-12, pp. 165-172, 2019.
- [15] A. Rodríguez Guerra, K.A. Baca Cajas, "Generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Análisis de una década de gestión en países de Europa y América". *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas*. Vol. 43, n°. 1, pp 49-61, 2022.
- [16] P. A. Barrera Ramírez, Y. V. Barrantes Zapata, J. R. Durango Aguirre, " Estudio de Factibilidad de la Incineración como Alternativa para el Tratamiento de Residuos", Tesis de especialización, Universidad Minuto de Dios, Facultad de Educación, Medellín

Colombia, 2017 [online]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10656/5579> (accedido en marzo de 2023)

- [17] G. Asimakopoulos, C. Christodoulou, A. Gizas, V. Triantafyllou, G. Tzimas, J. Gialelis, O. Voyiatzis, D. Karadimas, A. Papalambrou. "Architecture and Implementation Issues, Towards a Dynamic Waste Collection Management System". En Actas de la 24ª Conferencia Internacional sobre World Wide Web, pp 1383-1388, 2015, [online]. Disponible en: <https://scholar.google.com.ar/scholar?q=citar+Architecture+and+Implementation+Issues> (accedido: mayo de 2023).
- [18] C. Da Silva, G. Massao Fugui, A. Hernández Santoyo, "Proposta de um modelo de avaliação das ações do poder público municipal perante as políticas de gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil: um estudo aplicado ao município de Curitiba". Revista Brasileira de Gestão Urbana, vol. 9, n°. 2, pp 276-292, 2017.
- [19] M. El-Fadel, R. Khoury, "Strategies for vehicle waste-oil management: a case study. esources, Conservation and Recycling", Resumen del libro, Universidad de Tsinghua, Pekín, China, 2023. [en línea]. Disponible en: <https://www.journals.elsevier.com/resources-conservation-and-recycling>. (accedido: mayo de 2023).
- [20] A. Fernández Colomina "La gestión integral de los residuos sólidos urbanos en el desarrollo sostenible local". Revista Cubana de química. Vol. 17, n°. 3, pp 35-39, 2005.
- [21] M. Saidón, "Un paneo por la situación y las políticas de los residuos en municipios de la Argentina". ¿Camino hacia la gestión integral de residuos?, Argentina, Informe, 2021. [en línea]. Disponible en: <https://www.teseopress.com/innovacionenpoliticaspublicas/chapter/1-introduccion-un-paneo-por-la-situacion-y-las-politicas-de-los-residuos-en-municipios-de-la-argentina-camino-hacia-la-gestion-integral-de-residuos/> (accedido: 20 de marzo de 2023).
- [22] D. W Pearce, R. K Turner, "Economics of natural resources and the environment". Johns Hopkins University Press. EE.UU. Resumen de libro. Volumen 73, Número 1, Páginas 227-228, 1991.
- [23] A. L Carvalho, S. Cruz, R. Silva, L. Lopes, F. B. Zanchi, "Qualidade de aterro de residuos na costa do descobrimento. Revista de Geografia ", vol.37, n.º2, 2020.
- [24] P. C Zambroni de Souza, J.A da Silva Araújo, J de D. Gomes da Silva, "A dimensão política do trabalho: a cooperação como ferramenta de gestão da sociedade". Revista Psicologia & sociedade. vol.30, 2018.
- [25] A. Jurado, p. Shamber, "La reconstrucción post pandemia del sistema de reciclaje con inclusión social", Argentina, Informe, 2021. [en línea]. Disponible en: <https://conexionreciclado.com.ar/la-reconstruccion-post-pandemia-del-sistema-de-reciclaje-con-inclusion-social/> (accedido: 20 de marzo de 2023)
- [26] R. Rollandí, "Problemática de la gestión de residuos sólidos en las megaciudades", Argentina, Informe, 2012. [en línea]. Disponible en: http://www.iclatinoamerica.com/descargas/pdf/articulos_interes/2012-04_problematika_de_la_gestion.pdf (accedido: junio de 2018).
- [27] L. Abarca-Guerrero, G Mass, W. Hogland. "Desafíos en la gestión de residuos sólidos para las ciudades de países en desarrollo". Revista Tecnología en Marcha. Vol. 28, n°. 2, pp. 141-168, 2015.

- [28] N. Dias de Souza, T. Leão Ananias, F. Dias Júnior, A. Monteiro de Carvalho, E. Vinicius da Silva, “Cumprimento dos requisitos da certificação FSC/CoC por indústrias moveleiras do Rio de Janeiro”, *Revista Ciência Florestal*, Vol. 30, n° 1, p.p 18–28. 2020. [en línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.5902/1980509822299> (accedido: julio de 2022).
- [29] J. B. Valhondo, “SIRUS: Un sistema de ayuda al diseño y dirección de operaciones de recogida de residuos sólidos urbanos”. Informe de Universidad politécnica de Catalunya, España, 2014. [en línea]. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/24933/SIRUS_resumen_OPEWP_v1.pdf (accedido: 24 de marzo de 2023)
- [30] S. Castañeda Torres, J.P. Rodríguez Miranda, “Modelo de aprovechamiento sustentable de residuos sólidos orgánicos en Cundinamarca, Colombia “, *Revista Universidad y Salud*, vol.19, n°. 1. pp.116-125, 2017.
- [31] P. Koushik, S. Chattopadhyay, A. Dutta, A. P. Krishna, S. Ray, “A comprehensive optimization model for integrated solid waste management system: A case study”, *Revista de investigación de Ingeniería Ambiental*, Volumen 24, n°.2, pp 220-237, 2019. [online]. Disponible en: <https://doi.org/10.4491/eer.2018.132> (accedido: septiembre de 2021).
- [32] Fundación AVINA, “Mapa de reciclaje inclusivo”, Argentina, Informe, 2022. [en línea]. Disponible en: <https://biblioteca.avina.net/wp-content/uploads/Difusion-GUIA-El-Primer-Mapa-Interactivo-sobre-el-Reciclaje-Inclusivo-y-los-Residuos-en-Argentina.pdf>
- [33] C. Gil Gómez, “Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): una revisión crítica. Papeles de relaciones eco sociales y cambio global”, *Revista Papeles de relaciones eco sociales y cambio global*, n°. 140 pp 107-118, 2018. [en línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6312616> (accedido: 25 de marzo de 2023).
- [34] E. Romaní, L., Vázquez Gómez. “Objetivos de Desarrollo Sostenible y Acción Social. Una experiencia de incorporación de ODS en la planificación estratégica de una entidad sin ánimo de lucro”. *Itinerarios de Trabajo Social de Universidad de Valencia*, n° 3, pp. 7-13, España, 2023, [en línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1344/its.i3.40282> (accedido: abril de 2023).



Obtención de Almidón de Malanga: *Colocasia esculenta* L. y *Xanthosoma sagittifolium* L, mediante la aplicación de tres métodos químicos

(Obtaining Starch from two Varieties of Taro: Colocasia esculenta L. and Xanthosoma sagittifolium L, through the Application of three Chemical Methods)

Sungey Naynee Sánchez Llaguno¹ , Rosa Isabel Narvaez Narvaez² 

Juan Alejandro Neira Mosquera^{1,2} , Jhoan Alfredo Plua Montiel¹ 

¹ Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador

² Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador

snsanchez@espe.edu.ec, rosaisabel_narva@yahoo.com, janeira1@espe.edu.ec, japlua@espe.edu.ec

Resumen: La malanga (*Colocasia esculenta* L.), debido a su acelerado desarrollo vegetativo y sencilla propagación, se ha convertido en uno de los principales cultivos de las zonas tropicales del Ecuador. Gracias a sus propiedades bioquímicas y su alto valor nutricional ha permitido aplicar tecnologías sencillas para aprovechar este recurso agrícola en la obtención de almidón para la utilización en diferentes alimentos. El objetivo de esta investigación fue obtener almidón a partir de dos variedades de malanga *Colocasia esculenta* L y *Xanthosoma sagittifolium* L, mediante la aplicación de tres métodos químicos (ácido cítrico, ácido clorhídrico, ácido fosfórico), en el cual finalmente se realizó un proceso de decantación y centrifugación. Se aplicó un ANOVA, con diseño de bloques completamente al azar mediante arreglo factorial A*B*C, obteniéndose un total de 12 tratamientos y 3 repeticiones. Se estableció las diferencias estadísticas entre las medias de los tratamientos con la prueba de Tukey ($P>0,05$). Se obtuvo un mayor rendimiento en el tratamiento Malanga Blanca + Centrifugación + Ácido cítrico 29,34%, en lo que corresponde a la acidez y pH, los valores se encontraron dentro de lo establecido por trabajos similares, el porcentaje de fibra más elevado se presentó en el tratamiento Malanga lila + Decantación + Ácido fosfórico (0,68%), mientras que la humedad se encuentra dentro de los parámetros permitidos de la INEN 616, la cual señala un 14% y una temperatura de gelatinización óptima en el tratamiento Malanga blanca + Decantación + Ácido fosfórico (56,53°C).

Palabras clave: Malanga, Almidón, Decantación, centrifugación.

Abstract: Taro (*Colocasia esculenta* L.), due to its accelerated vegetative development and easy propagation, has become one of the main crops in the tropical areas of Ecuador. Thanks to its biochemical properties and its high nutritional value, it has allowed the application of simple technologies to take advantage of this agricultural resource to obtain starch for use in different foods. The objective of this research was to obtain starch from two varieties of taro *Colocasia esculenta* L and *Xanthosoma sagittifolium* L, through the application of three chemical methods (citric acid, hydrochloric acid, phosphoric acid), in which a process of decantation and centrifugation. An ANOVA was applied, with a completely randomized block design using A*B*C factorial arrangement, obtaining a total of 12 treatments and 3 repetitions. The statistical differences between the means of the treatments were established with the Tukey test ($P>0.05$). A higher yield was obtained in the Malanga Blanca + Centrifugation + Citric Acid 29.34% treatment, in what corresponds to acidity and pH, the values were within those established by similar works, the highest fiber percentage was presented in the purple Malanga treatment + Decantation + Phosphoric acid (0.68%), while the humidity is within the permitted parameters of the INEN 616, which indicates 14% and an optimal gelatinization temperature in the white Malanga treatment + Decantation + Phosphoric acid (56.53°C).

Keywords: Malanga, Starch, Decantation, centrifugation.

1. INTRODUCCIÓN

La malanga (*Colocasia esculenta* (L.) Schott), cumple un rol muy importante en la alimentación humana, siendo este consumido como almidón y también aprovechado como verdura de hoja, dentro de las rizomas y tubérculos la malanga es el quinto de mayor consumo a nivel mundial [1]. La malanga es considerada una de las especies con tubérculos y raíces con un mayor potencial en zonas tropicales con precipitaciones de 1800 a 2500 mm y temperaturas que oscilan los 25°C y 35°C, con ayuda de una buena luminosidad y abundante agua durante la cosecha [2].

En el Ecuador las principales fuentes empleadas para la obtención de almidón son: maíz, papa, yuca y camote en la industria alimentaria, debido a que aportan nutrientes y su proceso de obtención es sencillo [3]. El cultivo de malanga en nuestro país por primera vez se ostentó para destino comercial en la zona de Santo Domingo de los Tsáchilas desde el año de 1995. Sin embargo, existen referencias de que este producto también se cultivaba en la provincia del oro, pero era conocido con el nombre de sango, a lo largo del tiempo el cultivo se ha ido expandiendo, encontrándose ahora también en la vía a Quevedo, vía Chone y vía Esmeraldas, en otras provincias como Morona Santiago, Sucumbíos y Orellana [4].

El consumo de almidones con un alto contenido de gluten puede conllevar a tener problemas en la salud, debido a que existen personas que presentan intolerancias a este tipo de polisacárido. Por esto el almidón de malanga es una excelente fuente nutricional, ya que su contenido de gluten es relativamente bajo, mientras que este presenta un contenido proteico significativamente alto en relación a otros almidones tales como: Papa. Yuca, maíz, camote, entre otros.

El desconocimiento de las tecnologías necesarias para la industrialización de la malanga y sus propiedades nutricionales han hecho que este recurso agrícola no sea totalmente industrializado y tan solo se tomen sus raíces de mejor calidad para su exportación, por el cual este trabajo surge para dar a conocer la obtención de almidón mediante la aplicación de métodos químicos (ácido cítrico, ácido clorhídrico, ácido fosfórico), aplicando procesos de decantación y centrifugación para así dar un valor agregado a esta materia prima y lograr suplir necesidades alimenticias y económicas de ciertas zonas aledañas del cantón Santo Domingo de los Tsáchilas.

2. METODOLOGÍA

2.1. Obtención de los Tubérculos de Malanga

Para la obtención del almidón de malanga se adquirió los tubérculos rechazo de la exportadora de malanga FGenterprise ubicada en el km 16 de la vía Quevedo-Santo Domingo.

2.2. Método de Obtención de Almidón

El almidón se obtuvo de dos variedades de malanga: blanca y lila, por medio de dos métodos de obtención: decantación y centrifugación aplicando tres reactivos químicos [5].

Una vez recibido el tubérculo se procedió a pesar un total de 454 gramos incluida corteza, posterior a ello se lavó y retiró la cascara, tomando el peso de la cascara. Para la obtención se realizó tres licuados: primero se adiciono agua en una relación 1:1 (malanga: agua). La segunda molienda se agregó agua de acuerdo al peso del residuo y se filtró. Finalmente, se realizó una decantación por 4 horas, para luego retirar el sobrenadante. Una vez decantado se procedió a agregar los ácidos (ácido cítrico, clorhídrico y fosfórico) [5].

El pH se reguló con hidróxido de sodio NaOH al 2 N dejando reposar nuevamente por 3 horas, posterior a ello se filtró con una bomba al vacío llevando a la estufa a secar por 24h a temperatura 60°C. El almidón fue pasado por un tamiz de 500 a 250 μ m. El mismo procedimiento se aplicó para el método de centrifugación; en lugar de decantar, inmediatamente luego de la segunda molienda se procedió a colocar en tubos de ensayo la solución para obtener el almidón [5].

2.3. Análisis estadístico

Para esta investigación se aplicó un ANOVA, con diseño de bloques completamente al azar mediante arreglo factorial A*B*C, con tres repeticiones, los niveles estudiados por tratamiento fueron: Factor A: Variedad de malanga (Malanga blanca y Malanga lila); Factor B: Método de obtención (Decantación y Centrifugación) y Factor C: Reactivo químico (ácido cítrico, clorhídrico y fosfórico), distribuido en la Tabla 1; el análisis de los resultados se realizó mediante el software estadística STATISTICA en el cual se realizó la separación de medias de los tratamientos mediante una prueba de tukey ($p < 0.05$) y el software STHATGRAPICS para los resultados de ANOVA.

Tabla 1. Tratamiento en estudio

Tratamiento	Código	Descripción
1	M.B + DC + A.CT	Malanga Blanca + Decantación + Ácido Cítrico
2	M.B + DC + A.CL	Malanga Blanca + Decantación + Ácido Clorhídrico
3	M.B + DC + A.F	Malanga Blanca + Decantación + Ácido Fosfórico
4	M.B + CF + A.CT	Malanga Blanca + Centrifugación + Ácido Cítrico
5	M.B + CF + A.CL	Malanga Blanca + Centrifugación + Ácido Clorhídrico
6	M.B + DF + A.F	Malanga Blanca + Centrifugación + Ácido Fosfórico
7	M.L + DC + A.CT	Malanga Lila + Decantación + Ácido Cítrico
8	M.L + DC + A.CL	Malanga Lila + Decantación + Ácido Clorhídrico
9	M.L + DC + A.F	Malanga Lila + Decantación + Ácido Fosfórico
10	M.L + CF + A.CT	Malanga Lila + Centrifugación + Ácido Cítrico
11	M.L + CF + A.CL	Malanga Lila + Centrifugación + Ácido Clorhídrico
12	M.L + DF + A.F	Malanga Lila + Centrifugación + Ácido Fosfórico

2.4. Variables evaluadas

Las variables evaluadas en la investigación fueron pH, acidez, fibra cruda, ceniza, humedad, temperatura de gelatinización y prueba de almidón y rendimiento.

3. RESULTADOS

3.1. Prueba de significación de tukey para la variable pH

En cuanto a los resultados del pH mostrado en la Figura 1, se pudo observar un valor más alto en el tratamiento correspondiente a Malanga lila + Decantación + Ácido clorhídrico, siendo este 6,73, mientras que un valor de pH más bajo se observa en el tratamiento Malanga blanca + Decantación + Ácido cítrico con un valor de 5,22.

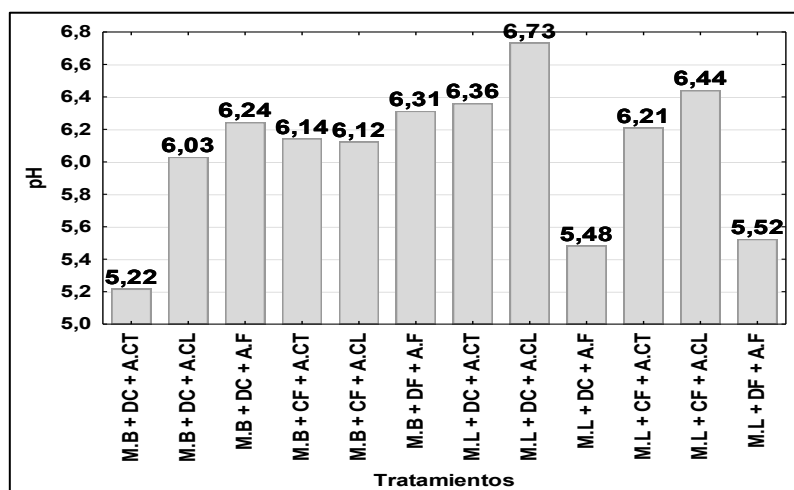


Figura 1. pH de los tratamientos en estudio

3.2. Prueba de significación de tukey para la variable Rendimiento

Uno de los parámetros más importantes en este trabajo es saber el rendimiento del almidón obtenido, para lo cual la Figura 2 muestra los resultados obtenidos del rendimiento en el cual existió diferencia significativa, obteniéndose un mayor valor en el tratamiento de Malanga Blanca + Centrifugación + Ácido cítrico, resultando un rendimiento de (29,34%), mientras que un rendimiento de (21,73%) siendo este el menor, se pudo observar en el tratamiento Malanga lila + Decantación + Ácido fosfórico.

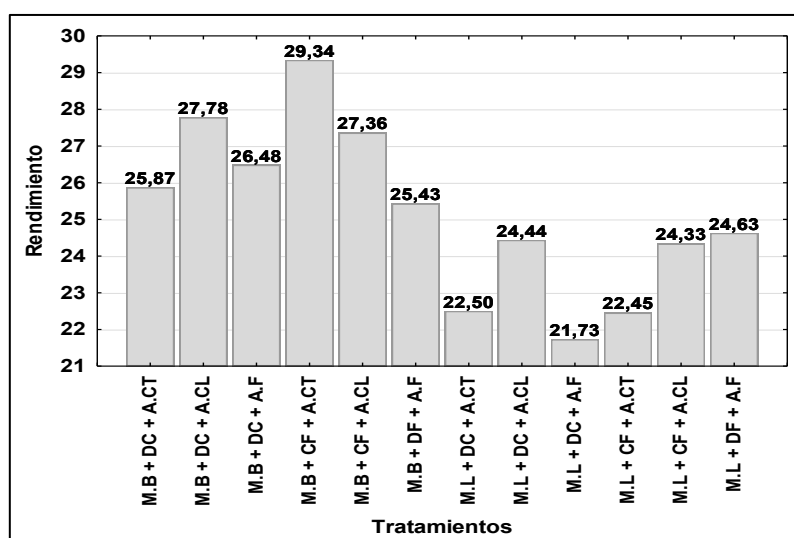


Figura 2. Rendimiento de los tratamientos en estudio

3.3. Prueba de significación de tukey para la humedad

El porcentaje de humedad es un indicador muy importante en la calidad del almidón, por lo que en la Figura 3, se puede observar el resultado del porcentaje de humedad de los diferentes tratamientos, donde el mayor porcentaje se determinó en el tratamiento Malanga lila + Decantación + Ácido cítrico, con un valor de (11,65%), mientras que el menor porcentaje de humedad se pudo hallar en el tratamiento Malanga blanca + Decantación + Ácido fosfórico, con un valor del (9,85%).

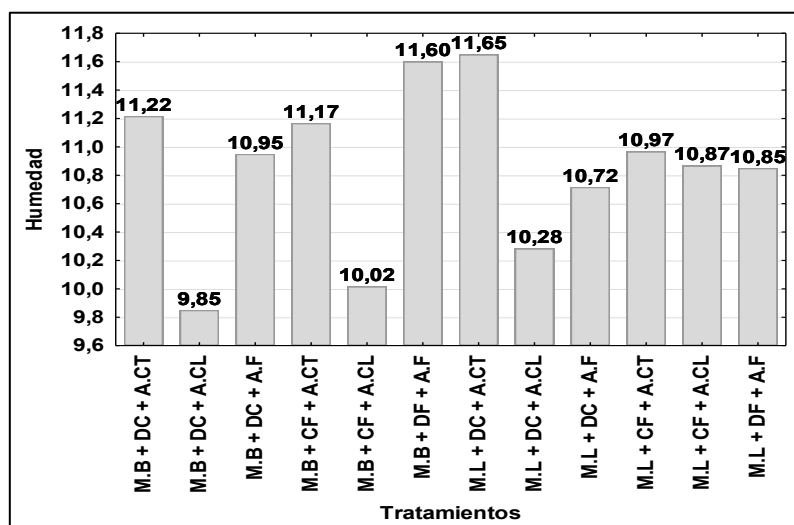


Figura 3. Humedad de los tratamientos en estudio

3.4. Prueba de significación de tukey para la acidez

En lo que respecta a la Figura 4, correspondiente a los valores del contenido de acidez, se pudo determinar que existió diferencia significativa entre cada uno de los tratamientos estudiados, donde el contenido de acidez mayor se obtuvo en Malanga blanca + Decantación + Ácido fosfórico con un valor de (0,066), mientras que un menor contenido de acidez se pudo observar en Malanga blanca + Decantación + Ácido cítrico (0,033).

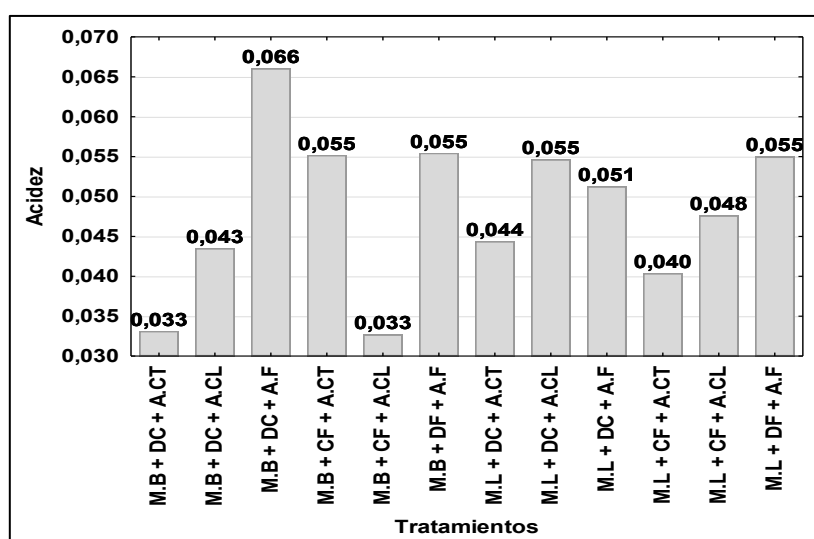


Figura 4. Acidez de los tratamientos en estudio

3.5. Prueba de significación de tukey para la fibra

En lo que corresponde al contenido de fibra mostrado en la Figura 5, se pudo determinar diferencia significativa entre los tratamientos, resultando un contenido de fibra más alto (0,68) en el tratamiento Malanga lila + Decantación + Ácido fosfórico, mientras que un contenido más bajo se pudo observar en el tratamiento Malanga Lila + Centrifugación + Ácido cítrico y también, Malanga Lila + Centrifugación + Ácido clorhídrico, ambos con un valor de (0,54).

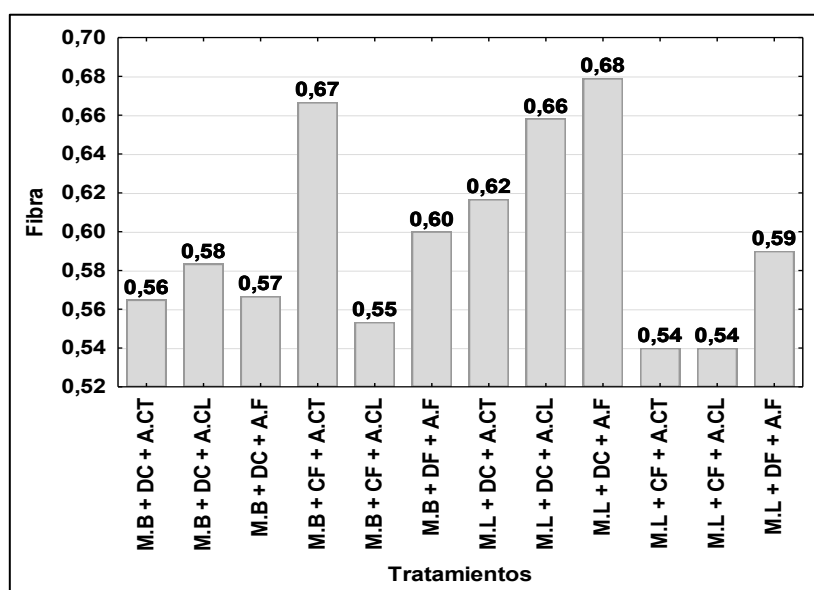


Figura 5. Fibra de los tratamientos en estudio

3.6. Prueba de significación de tukey para la ceniza

En la Figura 6, se muestran los resultados obtenidos al realizar el análisis de cenizas en los diferentes tratamientos en estudio, donde se pudo determinar un mayor porcentaje de ceniza en el tratamiento Malanga lila + Decantación + Ácido clorhídrico con un valor de (2,04%), mientras que el porcentaje de ceniza más bajo se obtuvo con el tratamiento Malanga blanca + Centrifugación + Ácido clorhídrico, con un valor de (0,13%)

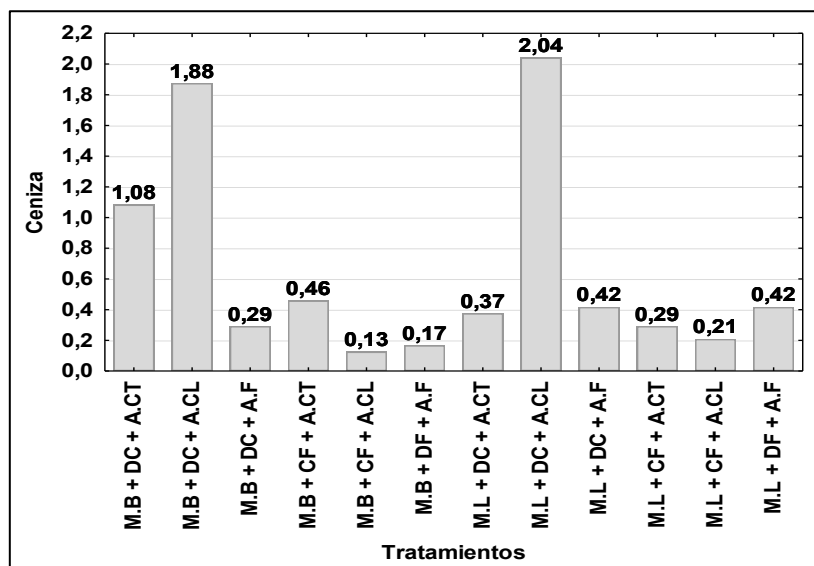


Figura 6. Ceniza de los tratamientos en estudio

3.7. Prueba de significación de tukey para la gelatinización

Cada tipo de almidón presenta una temperatura de gelatinización diferentes, en la Figura 7 se observa las diferentes temperaturas de gelatinización de los almidones obtenidos en el estudio, en el cual el tratamiento correspondiente a la Malanga blanca + Decantación + Ácido fosfórico presentó una mayor temperatura de gelatinización, siendo esta de (56,53°C), mientras que una

menor temperatura se observó en el tratamiento Malanga blanca + centrifugación + Ácido cítrico, siendo esta (52,70°C).

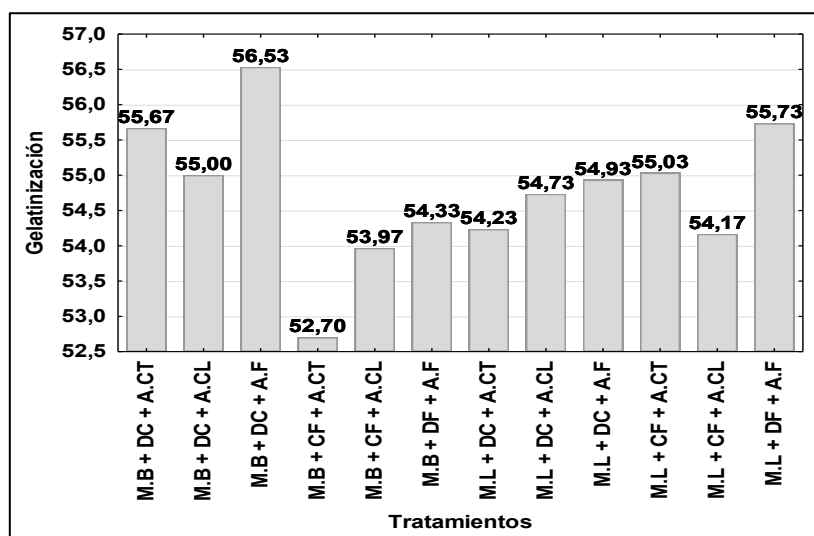


Figura 7. Temperatura de Gelatinización de los tratamientos en estudio

3.8. Análisis multivariante de componentes principales en espacio rotado.

En la Figura 8 perteneciente al gráfico de sedimentación, se detalla el análisis de 7 componentes evaluados en el estudio de componentes principales, en el cual se pudo determinar que los 3 primeros componentes se toman para el análisis ya que estos tres componentes presentan valores de varianzas mayores a 1.

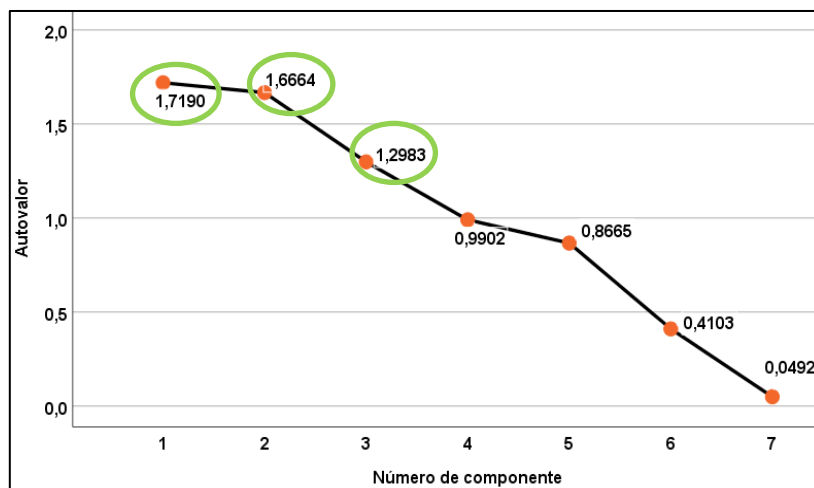


Figura 8. Gráfico de sedimentación

En el gráfico de componentes principales de la Figura 9, se observa la agrupación de las variables correlacionadas entre sí, en la cual se pudo determinar una mayor correlación en el siguiente grupo de variables (La humedad con el pH; La acidez con la fibra; Ceniza y temperatura de gelatinización).

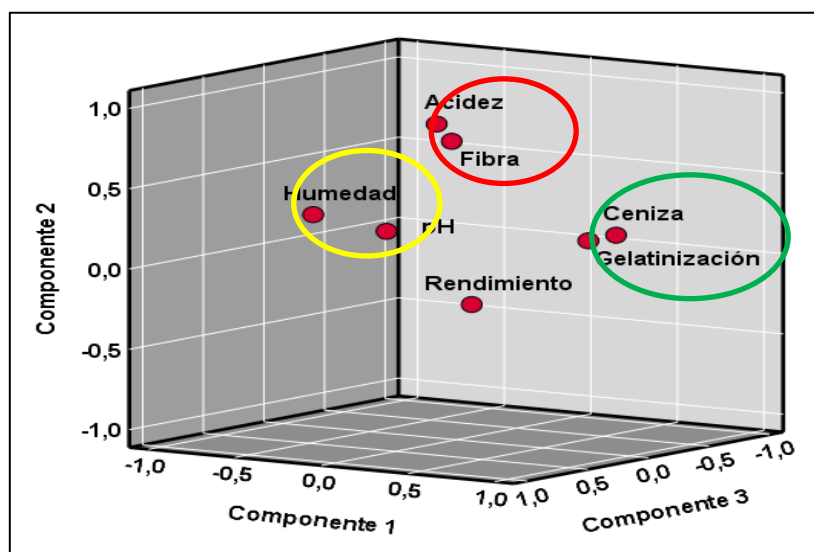


Figura 9. Gráfico de componentes principales

4. DISCUSIÓN

El pH obtenido en el estudio se reportaron valores en un rango de 5,22 perteneciente al pH más bajo, hasta un pH de 6,73 siendo este el más alto, que puede indicar bajo contenido de ácidos orgánicos y alta concentración de almidones, mientras que Miranda y otros [6], en su investigación reportan un valor de pH de 6,05, siendo este relativamente cercado a lo hallado en nuestro estudio.

En lo que corresponde al rendimiento obtenido de cada uno de los tratamientos se pudo observar que todos los tratamientos presentaron valores más elevados que los mencionados por Zúñiga Bonilla [7], en su investigación, mostrando valores de 13,12% para ambas variedades de malanga. La diferencia de estos rendimientos se puede atribuir a la edad de la cosecha del tubérculo, los métodos de obtención aplicada y el tipo de reactivo químico que influya en el proceso [8].

En lo que a la acidez respecta se pudo determinar que los valores obtenidos de acidez titulable fueron de 0,033 el valor más bajo y 0,066 en valor más alto, mientras que en el estudio realizado por Estrada y otros [9]. se pudo observar una acidez de 0,01, dando a entender que la acidez es relativamente baja y difiere tanto de la variedad de malanga ni del método usado para su extracción.

El agua en los alimentos es el principal componente el cual ayuda a que su frescura, sabor, textura y color, se mantenga estable y característico del mismo, por eso es importante conocer el contenido de humedad de los alimentos para saber si este está disponible para las diferentes reacciones bioquímicas, enzimáticas y microbiológicas [10]. Para lo cual en los resultados obtenidos del porcentaje de humedad del almidón de dos variedades de malanga, se pudo determinar que el mayor porcentaje se obtuvo Malanga lila + Decantación + Ácido cítrico, con un valor de (11,65%), mientras que el menor porcentaje de humedad se pudo hallar en el tratamiento Malanga blanca + Decantación + Ácido fosfórico, con un valor del (9,85%), dichos valores se encuentran dentro de los resultados obtenidos por Torres Rapelo, Montero Castillo, y Duran Lengua [11], los cuales fueron 14,49% para la malanga blanca y 14,29% para la malanga morada o lila.

La fibra o también denominada fibra cruda corresponde a la parte orgánica no nitrogenada, compuesta por celulosa 90% y lignina 15%, los cuales son estructuras comunes en la estructura

de las plantas y presente en los alimentos de origen vegetal [5]. En el estudio realizado se pudo determinar un porcentaje de fibra más alto (0,68%) en el tratamiento Malanga lila + Decantación + Ácido fosfórico, siendo este valor más elevado a lo reportado por Hernández Medina, Torruco, Chel Guerrero, y Betancur Ancona [12]. en su estudio de Caracterización fisicoquímica de almidones, el cual muestra un valor de (0,35%).

La ceniza encontrada en el almidón además permitió determinar el material mineral que se encuentra en la muestra, tales como metales, sales y elementos traza según lo menciona la FAO (s.f.) [13]. El almidón de malanga tiene un contenido bajo de cenizas comparado con otras variedades de tubérculos: camote con 0,69 %, yuca con 0,16% y papa 0,44 % [14]. El contenido de ceniza también se ve alterado por la edad del cultivo, se ha encontrado aumentos significativos de fósforo a medida que el tubérculo se hace más maduro [15].

El almidón es insoluble en agua fría, al calentar a temperaturas determinadas se inicia el proceso de hinchamiento de los gránulos, la cual es llamada temperatura de gelatinización [16]. Se pudo determinar temperaturas de gelatinización de 52,70°C siendo esta la más baja y una temperatura de 56,53°C, siendo la más alta. Torres Rapelo, Montero Castillo, y Duran Lengua [11], en su investigación obtuvieron una temperatura de gelatinización de 55°C para la malanga blanca y 54°C para la malanga lila. Esta baja temperatura los autores mencionan que los almidones de malanga son factibles para la obtención de productos que no requieren de elevadas temperaturas.

5. CONCLUSIONES

- El mayor rendimiento se obtuvo en el tratamiento donde interviene la malanga blanca aplicando el método de centrifugación con el ácido cítrico donde alcanzó un rendimiento del 29,34%. También se pudo determinar que la malanga lila con el método de decantación aplicando ácido fosfórico se obtuvo un porcentaje relativamente elevado de fibra del 0,68%.
- En lo que respecta a la humedad todos los tratamientos se encuentran en un rango que va de 9,85% a 11,65%, estableciendo que este está dentro de lo establecido por la INEN 616, la cual señala un 14%. El contenido de acidez al mantenerse dentro de los parámetros máximos permitidos por las normativas e investigaciones similares, permitió determinar que existió una correcta fermentación del almidón ya que no presentó contaminación por hongos ni levaduras.
- En lo que respecta a la temperatura de gelatinización se menciona que mientras más elevada es la temperatura de gelatinización el almidón tendrá una mayor estabilidad interna del gránulo, por lo que en esta investigación se pudo determinar que el mejor tratamiento con una elevada temperatura de gelatinización corresponde a: Malanga blanca aplicando el método de decantación con ácido fosfórico dando este una temperatura de 56,53°C.
- Mediante el análisis de componentes principales se pudo determinar gracias al gráfico de sedimentación, que existieron 7 componentes principales, de los cuales 3 de ellos al presentar valores de varianza superiores a 1, sirvieron para poder analizar la correlación de las variables, en las cuales mediante el gráfico de componentes principales se estableció una correlación estrecha entre el siguiente grupo de variables (la humedad con el pH; la acidez con la fibra; ceniza y temperatura de gelatinización).

REFERENCIAS

- [1] Y. Figueroa Aguila, m. Milián Jimenez y Y. Rodriguez García, «Mejoramiento, conservación y diversidad genética de la malanga (*Colocasia esculenta* (L.) Schott.) en Cuba.,» *Cultivos Tropicales*, vol. 40, nº 2, pp. 1819-4087, 2019.
- [2] A. L. Pua , G. E. Barreto , J. L. Zuleta y O. D. Herrera, «Análisis de Nutrientes de la Raíz de la Malanga (*Colocasia esculenta* Schott) en el Trópico Seco de Colombia,» *Información Tecnológica*, vol. 30, nº 4, pp. 0718-0764, 2019.
- [3] A. L. Torres, P. M. Montero y L. C. Gonzales, «UTILIZACIÓN DE ALMIDÓN DE MALANGA (*Colocasia esculenta* L.) EN LA ELABORACIÓN DE SALCHICHAS TIPO FRANKFURT,» *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, Vol. 12, No. 2, pp. 97-105, 2014.
- [4] J. Zapata Martinez y C. Velásquez Escandón , «Estudio de la Producción y Comercialización de la Malanga: Estrategias de incentivos para la producción en el país y consumo en la ciudad de Guayaquil [Tesis de Pregrado], » Guayaquil-Ecuador, 2013.
- [5] R. I. Narváez Narváez, S. N. Sánchez Llaguno y J. A. Neira Mosquera, « Obtención de Almidón de dos Variedades de Malanga: *Colocasia esculenta* l. y *xanthosoma sagittifolium* l, Mediante la Aplicación de tres Métodos Químicos, en la Zona de Santo Domingo de los Tsáchilas [Tesis de Pregrado],» Santo Domingo de los Tsáchilas- Ecuador, 2020.
- [6] J. Miranda, J. Rivadeneyra Rodriguez, E. Ramírez-Rivera , M. Juárez-Barrientos J , E. Herrera-Torres, R. Navarro Cortéz y B. Hernández Santos , «Caracterización fisicoquímica, funcional y contenido fenólico de harina de malanga (*Colocasia esculenta*) cultivada en la región de Tuxtepec, Oaxaca, México,» *Ciencia y Mar*, vol. 43, nº 2, pp. 37-47, 2011.
- [7] V. N. Zúñiga Bonilla, « EXTRACCIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL ALMIDÓN DE MALANGA (*Xanthosoma Saggitifolium*), YUCA (*Manihot Esculenta*) Y PAPA CHINA (*Colocasia Esculenta*) [Tesis de Pregrado], » Riobamba-Ecuador, 2019.
- [8] J. K. Alarcón Moyano, « Industrialización de productos derivados de malanga (*Xanthosoma sagittifolium*) como alternativa de carbohidratos para el mercado de la ciudad de Quito [Tesis de Pregrado], » Quito-Ecuador, 2013.
- [9] A. Estrada , B. Perez, C. Sanchez , J. Soto, J. Jimenez y M. Vivar , «Enzymatic production of maltodextrins from taro (*Colocasia esculenta*) starch,» *Journal of Foo*, vol. 7, nº 3, pp. 233-241, 2019.
- [10] E. Marin B, R. Lemus M, V. Flores M y A. Vega G, «LA REHIDRATACIÓN DE ALIMENTOS DESHIDRATADOS,» *Revista chilena de nutrición*, vol. 33, nº 3, 2016.
- [11] A. Torres Rapelo, P. Montero Castillo y M. Duran Lengua, «Propiedades fisicoquímicas, morfológicas y funcionales del almidón de malanga (*Colocasia esculenta*)*,» *Revista Lasallista de Investigación*, vol. 10, nº 2, pp. 52-61, 2013.

- [12] M. Hernandez Medina, J. G. Torruco , L. Chel Guerrero y D. Betancur Ancona, «Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México,» *ISSN 0101-2061 Ciência e Tecnologia de Alimentos*, vol. 28, nº 3, pp. 718-726, 2018.
- [13] FAO, «<http://www.fao.org>,» [En línea]. Disponible en:<http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/010/a1028s/a1028s03.pdf>.
- [14] M. Torres Becerril, R. Carmona García y A. Aguirre Cruz, «Obtención y caracterización estructural y funcional de almidón acetilado de malanga (*Colocasia esculenta* Schott)*,» *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 6, nº 4, pp. 905-912, 2015.
- [15] L. V. Madrigal Ambriz, J. V. Hernández Madrigal, C. J. María Elena , M. d. I. C. Calvo Carrillo y C. R. Rosa de Guadalupe, «Caracterización física y nutricional de harina del tubérculo de “Malanga” *Colocasia esculenta* L. Schott) de Actopan, Veracruz, México,» *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, vol. 68, nº 2, 2018.
- [16] C. Granados, E. Guzman , D. Acevedo, M. Díaz y A. Herrera, «PROPIEDADES FUNCIONALES DEL ALMIDON DE SAGU (*Maranta arundinacea*),» *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 12, nº 2, pp. 90-96, 2014.



Síntesis y caracterización del grado de metacrilación ideal para la Gelatina Metacrililoila (GelMA)

(Synthesis and characterization of the ideal methacrylation degree for Methacryloyl Gelatin (GelMA))

Shirley Dayana Cuzco Vargas¹ , María Fernanda Heredia Moyano¹ ,
Caterine Yesenia Carrasco Montesdeoca² .

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

² Universidad Experimental Yachay Tech, Urcuquí, Ecuador

shirley.cuzco@espoch.edu.ec, mariaf.heredia@espoch.edu.ec,
cccarasco@yachaytech.edu.ec

Resumen: La finalidad de este estudio fue sintetizar gelatina metacrililoila mediante la modificación de la gelatina tipo A de piel porcina con anhídrido metacrílico con base en la técnica de reacción utilizando la solución salina de fosfato, variando dos parámetros que son el anhídrido metacrílico y el tiempo de reacción. En total se obtuvieron seis muestras que fueron estudiadas a través de pruebas de caracterización para confirmar la formación de GelMA y el análisis morfológico. En la espectroscopía infrarrojo con transformada de Fourier se mostró los grupos químicos de cada muestra resaltando los picos de los grupos aminos funcionales NH, amidas I, II y III. En la microscopía electrónica de barrido se analizó la morfología de gelatina metacrililoila y su naturaleza porosa, se obtuvo una muestra con un tamaño promedio de poro de aproximadamente 150 micras lo que beneficiará a la difusión de oxígeno y apoyo al crecimiento celular; el ángulo de contacto de las muestras está en un rango de 53° y 65° por ende tienen un alto grado de mojabilidad.

Palabras clave: anhídrido metacrílico, espectroscopía, Gelatina metacrililoila, morfología, tiempo.

Abstract: The purpose of this study was to synthesize methacryloyl gelatin by modifying type A gelatin from porcine skin with methacrylic anhydride based on the reaction technique using phosphate saline solution, there were two variable parameters that are methacrylic anhydride and the time of reaction. A total of six samples were obtained that were studied through characterization tests to confirm GelMA formation and morphological analysis. In the infrared spectroscopy with Fourier transform, the chemical groups of each sample were shown, highlighting the peaks of the functional amino groups NH, amides I, II and III. In scanning electron microscopy, the morphology of methacryloyl gelatin and its porous nature were analyzed, obtaining a sample with an average pore size of approximately 150 microns, which will benefit oxygen diffusion and support cell growth; the contact angle of the samples is in a range of 53° and 65°, therefore they have a high degree of wettability.

Keywords: methacrylic anhydride, spectroscopy, gelatine methacryoyl, morphology, time.

1. INTRODUCCIÓN

Los hidrogeles son redes poliméricas tridimensionales con cadenas flexibles de polímeros que logran absorber líquidos como agua o fluidos corporales sin disolverse y pueden liberarlos con el tiempo [1]. Además, tienen una excelente interacción con los tejidos vivos siendo adecuados para aplicarlos en la medicina porque poseen propiedades de biocompatibilidad, son blandos, elásticos, solubles en el agua, conjuntamente de tener bajo coeficiente de fricción y permeabilidad [2].

La gelatina se crea por hidrólisis del colágeno [3] que es una proteína fibrosa y se trata del conjunto de 27 familias de proteínas isoformas que se encuentran en animales multicelulares y distribuidos en el tejido no conectivo del cuerpo, como huesos, cartílagos, venas, piel, tendones, los vasos sanguíneos, los dientes, la córnea y otros músculos [4].

El colágeno está conformado por cadenas polipeptídicas de dos aminoácidos glicina, prolina, lisina, hidroxilisina, hidroxiprolina y alanina, las cuales forman sus fibras pues están organizadas en paralelo y tienen como función la resistencia y elasticidad de la estructura presente [5]. Esta elección es muy importante debido a que la gelatina tiene varias propiedades como biocompatibilidad, solubilidad y es un producto de fácil acceso, pero tiene desventajas como su rápida degradación y poca resistencia mecánica [6]. Entonces, lo que se procede a hacer en este estudio es combinar el hidrogel a base de gelatina con el anhídrido metacrílico [7], con la técnica de reacción de PBS. Este procedimiento se mencionó por primera vez en los estudios de Van Den Bulcke et al. [8]; los cambios o reacción ayudaron a la regulación del grado de degradación y propiedades mecánicas obteniendo el hidrogel GelMA que es perfecto para aplicaciones como la ingeniería de tejidos, la medicina, regenerativa, entre otros.

Existen otros métodos de síntesis por ejemplo en el que emplean el tampón de carbonato-bicarbonato, pero el anterior es el más rentable [9], debido a que, esta reacción introduce grupos de sustitución de metacrilato en los grupos amina e hidroxilo reactivos de los residuos de aminoácidos, también los materiales para el tampón son accesibles [10].

GelMA fue mencionado por primera vez en 2000 por Van Den Bulcke et al. [8]. Implicó una reacción directa entre gelatina y anhídrido metacrílico (MA). Los grupos resultantes de esta reacción son grupos metacrilamida y grupos metacrilato. En comparación con los grupos de metacrilato, la proporción de grupos de metacrilamida aumenta. Como resultado, el nombre completo de GelMA que es metacrilato de gelatina [11].

En el mundo el tema de los biomateriales ha llegado a estar entre las temáticas de investigación más sustanciales obteniendo así un desarrollo activo, debido a que son considerados como nuevos materiales para la regeneración de tejidos como huesos, tendones, cartílagos, músculo esquelético, piel, tejidos vasculares, que por varias enfermedades se han desgastado o por la mínima cicatrización que estos presentan. Por consiguiente, englobamos los motivos de estudio de los biomateriales en dos puntos importantes que son la aceleración en el proceso de cicatrización y la regeneración de tejidos que de forma autónoma no pueden hacerlo debido a sus características morfológicas [12-13].

Estos biomateriales han comenzado a revolucionar el campo de la medicina pues son económicos y más factibles, aunque existen falencias en el método y no hay una comprensión completa de la influencia de algunos parámetros en la metacrilación de estos materiales por lo que en este estudio se sintetizó gelatina metacrilato variando parámetros fisicoquímicos para identificar aquellos que logren una reacción óptima y por ende controlar y generar un esquema de GelMA más efectivo.

2. METODOLOGÍA

Materiales

Gelatina de piel de porcino en polvo, tipo A con fuerza de gelificación de 300g Bloom, adecuado para electroforesis y para cultivo celular, Anhidrido metacrílico contiene 2000 ppm, topanol A como inhibidor 94% estos dos materiales se adquirieron de Sigma-Aldrich (EE. UU). Membranas de diálisis de 50 pies de largo por 1-5/16 pulgadas de ancho, código 41131902, de material de membrana de celulosa sin costuras (Estados Unidos de la marca Frey Scientific). Cloruro de sodio, cloruro de potasio, fosfato monopotásico y el fosfato disódico (se encuentran en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo)

Síntesis de tampón fosfato salino (PBS)

Se combinó el cloruro de sodio (NaCl), cloruro de potasio (KCl), fosfato disódico (Na_2HPO_4) y fosfato monopotásico (KH_2PO_4) en concentraciones de g/L (Tabla 1).

Se pesó cada sal, posteriormente se colocó en un vaso de precipitación con 800 ml de agua natural Vivant. Se agitó constantemente hasta diluir totalmente las sales. Después se aumentó agua hasta llegar a tener un litro de la solución; es necesario dos litros de PBS para la síntesis de GelMA por ende se debe repetir este proceso.

Finalmente se llevó la solución a medir el pH y como este era menor a 7.4 que es el adecuado se comenzó a agregar de manera lenta hidróxido de sodio (NaOH) hasta llegar a aquel valor; se almacenó el tampón en una botella de plástico a temperatura ambiente. Todo este proceso fue acorde a aportes previos.

Tabla 1. Concentración de cada sal a utilizar en el tampón fosfato salino.

Sal	Concentración (g/L)
Cloruro de sodio (NaCl)	8.0
Cloruro de potasio (KCl)	0.2
Fosfato disódico (Na_2HPO_4)	1.44
Fosfato monopotásico (KH_2PO_4)	0.24

Síntesis de gelatina metacrilóila.

Se realizó seis muestras: las muestras 1, 2 y 3 tuvieron el tiempo de reacción constante, mientras que el anhidrido metacrílico se varió. En las muestras 4, 5 y 6 se realizó lo contrario; es decir, el MA es un parámetro constante (Tabla 2).

- Se pesó 2.5 g de gelatina de piel porcina, luego en vasos de precipitación se colocó la gelatina junto a 25 ml de PBS.
- Con la ayuda de un agitador magnético con calefacción se mezcló durante una hora con una temperatura constante de 50° C. Posteriormente se colocó gota a gota el anhidrido metacrílico correspondiente para cada muestra. Esto se realizó dentro de la Sorbona por el fuerte olor emanado.
- Las muestras se agitaron por el tiempo de reacción adecuado. Finalizado ese periodo se agregó la doble cantidad de PBS del inicio del proceso y se filtró en un equipo de filtración al vacío.
- Se colocó las membranas en agua destilada para que se ablanden y se realizó un nudo en uno de los extremos
- Se llenó las membranas de diálisis de aproximadamente 30 cm de largo con la solución final.

- A las membranas que contienen la solución se les colocó en vasos de precipitación con agua destilada suficiente para que se encuentren totalmente sumergidas por aproximadamente cinco días, pero el agua se cambia diariamente.
- Se realizó el proceso de liofilización.

Tabla 2. Cantidad para utilizar en cada muestra de los diferentes parámetros en la síntesis de gelatina metacrilato.

Muestra	Anhídrido metacrílico (ml)	Tiempo de reacción (minutos)	v/v (%)
Muestra 1	2	180	8
Muestra 2	2.5		10
Muestra 3	0.75		3
Muestra 4	2	180	8
Muestra 5		120	8
Muestra 6		60	8

Espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR)

Se ocupó el equipo de la marca Jasco FT/IR-4100. Se conectó el equipo a un tomacorriente de 110 V. Posteriormente a encenderlo, se aguardó hasta que los parámetros de análisis se estabilicen. El uso de esta prueba se da de forma cualitativa y cuantitativa debido a que ayuda a la identificación de grupos funcionales y a la determinación de la concentración de la muestra [14]. Realizar el barrido espectral. Se utilizó el programa Spectra Analysis para procesar el espectro (corregir las escalas y línea de base y eliminar el CO₂) e identificar y etiquetar los picos más relevantes. Posteriormente se trabajó con el programa Origin para realizar las gráficas.

La espectroscopia infrarroja se basa en que las moléculas absorben frecuencias características de su estructura. Esto se produce a frecuencias resonantes y la radiación incidente que atraviesa la muestra es la transmitancia. Con este proceso se verifica si la síntesis de gelatina metacrilato se realizó en una condición correcta [15].

Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

Extraer el portaobjetos y limpiarlo. Se situó pequeños pedazos de cinta conductora de doble cara y se colocó todas las muestras sobre esta. Luego, se roció aire comprimido para evitar el polvo e inmediatamente se volvió a poner el portaobjeto. Las imágenes son tratadas en el programa ImagenJ para obtener el promedio del perímetro, desviación estándar.

Técnica de la gota sésil (SD)

Colocar la muestra dentro del equipo y con una micropipeta dejar caer una gota de agua sobre ella durante todo este tiempo se realizó una serie de fotografías o imágenes. El ángulo se mide con ayuda del software Kinovea.

3. RESULTADOS

Las muestras finales tienen una estructura consistente y viscosa; su color es blanco.

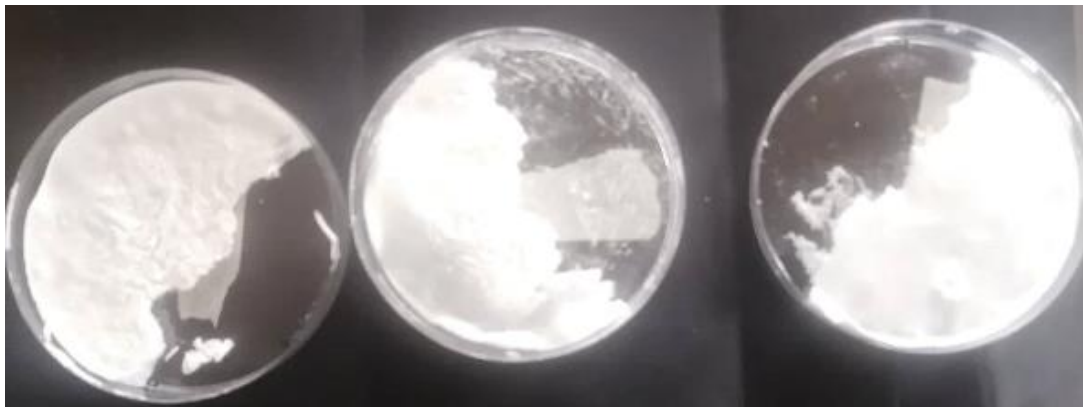


Figura 1. Gelatina metacrililoila

Espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR)

En la Figura 2 (A) se presentan tres espectros FTIR de las muestras 1, 2 y 3. En las tres muestras se encuentra presente un pico que representa al grupo amino funcional con estiramiento N-H. Sin embargo, se distingue una diferencia pues tienen una transmitancia distinta observando que la muestra 2 tiene la menor transmitancia y un pico más fuerte entre ellos, se le puede visualizar en el rango 3216.68 y 3312.96 cm^{-1} .

El pico de 1635.34 cm^{-1} en las tres gráficas es el C=O (grupo de estiramiento) y está relacionado con la amina I (línea entrecortada rosa). Este es similar en las muestras 1 y 3; la línea entrecortada de color negro es donde se ubica el pico de la amida terciaria en el punto de 1230.36 cm^{-1} para las muestras 1 y 2, y 1234.22 cm^{-1} para la muestra 3. Con respecto a la amida II está representada por el color café y esta entre 1528.77 y 1442.49 cm^{-1} , el segundo valor es constante para las tres muestras mientras que el primero varía, el espectro en estas dos últimas tiene la misma forma, pero con diferentes valores de transmitancia. No obstante, es más notorio para la muestra 2 que presenta picos distinguibles fácilmente. Se observa que además en 2923.56 cm^{-1} existe un pico de un OH, aunque es más fuerte en el espectro rojo. Toda esta información se puede corroborar en la Figura 2 (A).

Muestras variando el tiempo de reacción.

En los espectros de las muestras (Figura 2 B) se percibe que son similares en su forma, pero existe una pequeña variación en sus valores, pero no muy significativa. Se observa el pico representativo del grupo amino funcional con estiramiento N-H que se encuentra alrededor del punto 3324 cm^{-1} con una transmitancia de 84%. El pico del grupo de estiramiento C=O se encuentra entre 1631 a 1635 cm^{-1} aproximadamente este se relaciona con la amina I (la línea entrecortada verde) con una transmitancia de 84%. El pico de la amida terciaria (línea entrecortada morado) está entre 1234 y 1232 cm^{-1} . Con respecto a la amida II está representada por el color naranja, tiene dos picos el uno levemente más fuerte que el otro y el primero está entre 1543 a 1545 cm^{-1} , el segundo valor está en el punto 1442 cm^{-1} , los valores de transmitancia para las muestras son similares.

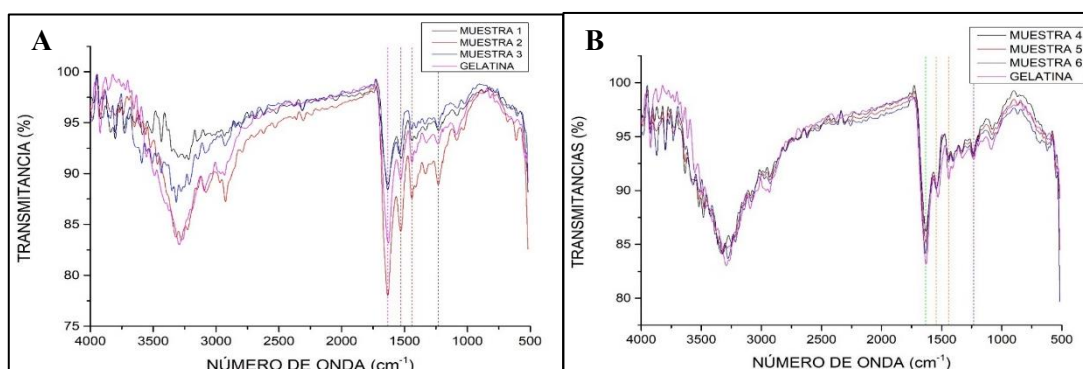


Figura 2. Análisis del espectro FTIR de las muestras de gelatina metacrililoila GelMA y gelatina (A). espectros de las muestras 1,2,3 y gelatina (B). espectros de las muestras 4, 5, 6 y gelatina.

Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

Muestras variando la proporción del anhídrido metacrilato

En la muestra 1 y 3 se usó la escala de 200 μm , mientras que para la muestra 2 fue de 100 μm ; los lentes fueron de 90, 140 y 74 respectivamente. En la imagen superior izquierda (muestra 1) se percibe un poro que sobresalta en el centro y otros minúsculos alrededor. En la muestra 2 la parte derecha de la imagen se encuentra más clara mientras que la izquierda es un poco distorsionada sin embargo se puede notar algunos poros. En la imagen inferior (muestra 3) se visualiza un poro de un tamaño formidable en la parte derecha de la imagen y otros pequeños (Figura 3).

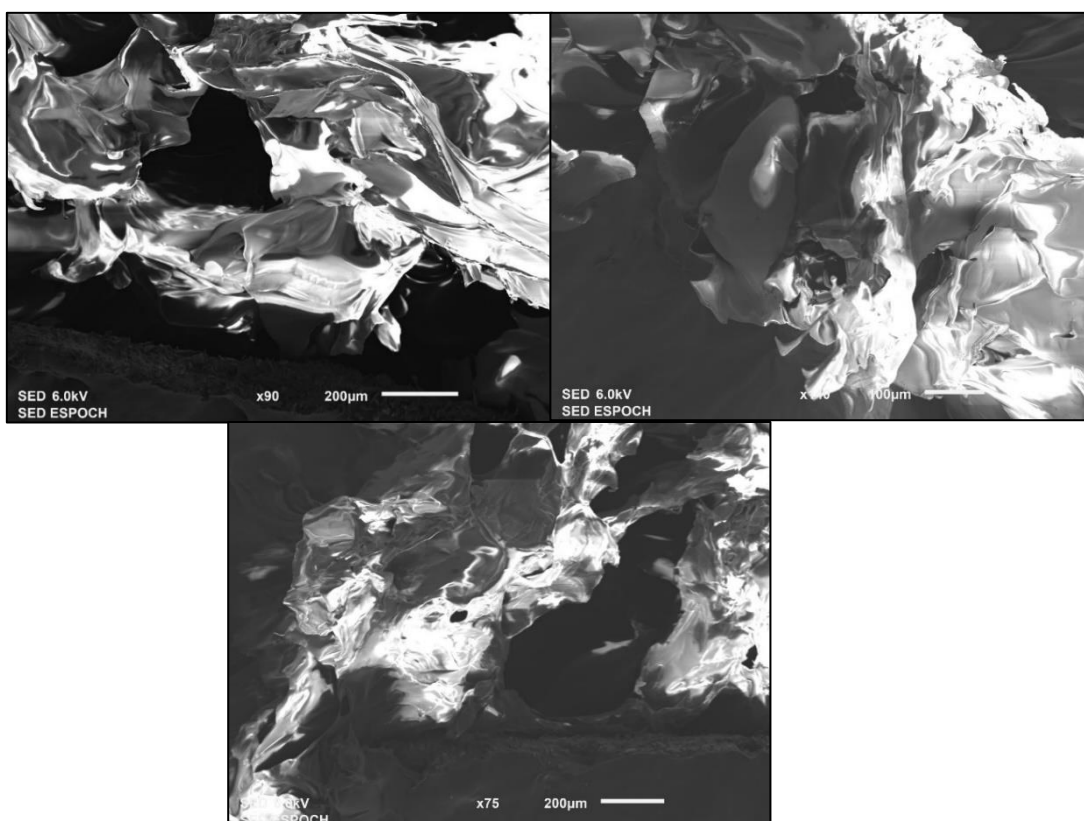


Figura 3. SEM micrografía de Gelma 8% v/v muestra 1 (imagen superior izquierda), muestra 2 (imagen superior derecha), muestra 3 (imagen inferior).

Se verifica los datos obtenidos a través de las imágenes SEM. La muestra 1 presenta una desviación estándar de 168.164 μm y un promedio de poro de 151.020 μm . Se observa la siguiente muestra con promedio de 56.527 μm y con una desviación estándar de 47.722 μm . En la muestra 3 se tiene un promedio de 125.975 μm con una desviación estándar de 116.350 μm (Tabla 3).

Tabla 3. Promedio del perímetro y desviación estándar de las muestras 1, 2, 3.

	Promedio	Desviación Estándar
Muestra 1	151.020	168.164
Muestra 2	56.527	47.722
Muestra 3	125.975	116.350

Muestras variando el tiempo de reacción.

La escala para la muestra 4 y 5 fue de 200 μm , mientras que para la muestra 6 fue de 100 μm . Los lentes fueron de 60, 90 y 170 respectivamente. En la imagen superior izquierda (Figura 4) se visualiza aproximadamente de tres secciones en donde la imagen es más clara y a sus alrededores es opaca; en la imagen siguiente a la anterior está presente una mancha negra mientras que en la derecha se encuentra la sección de la cual se consideró los poros. La inferior es opaca, en tono gris y blanco.

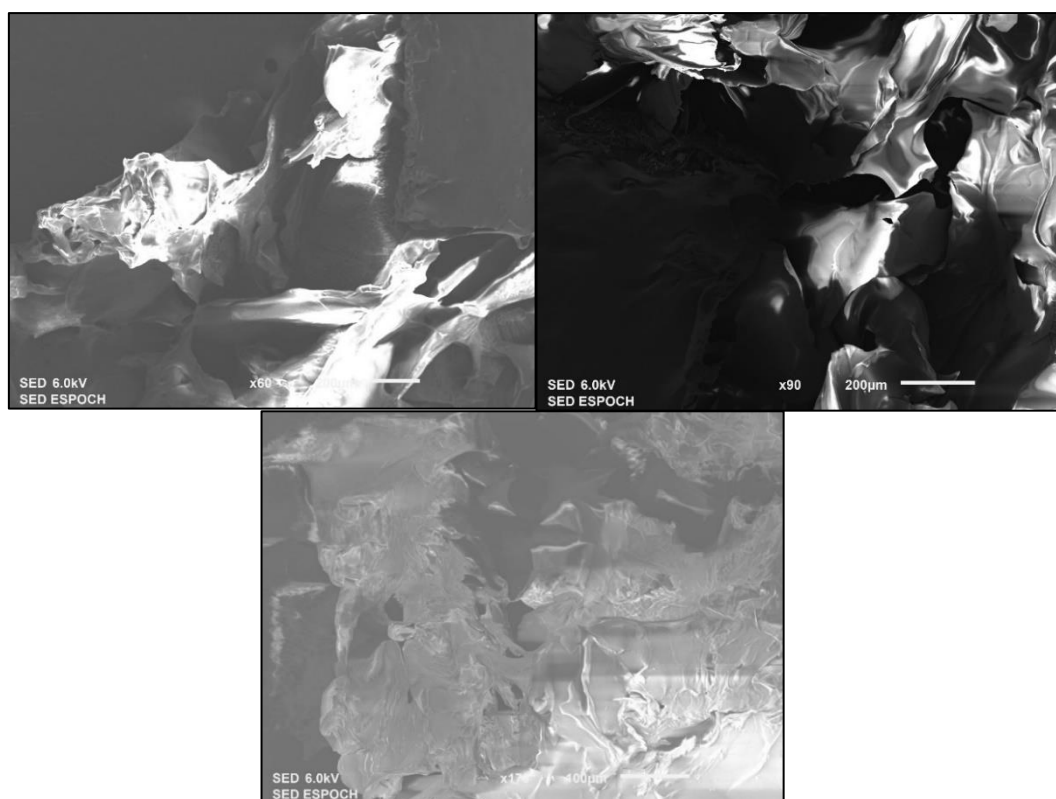


Figura 4. SEM micrografía de Gelma 8% v/v, 3 horas de tiempo de reacción muestra 4 (imagen superior izquierda), muestra 5 (imagen superior derecha), muestra 6 (imagen inferior).

El promedio de todo el grupo de datos con respecto al perímetro de la muestra 4 es de 129.915 μm ; tiene una desviación estándar de 116.567 μm . La muestra 5 tiene un promedio de 118.682 μm esta cantidad se relaciona con el tamaño promedio del poro y se conoce que la desviación estándar es de 69.581 μm . El promedio de los 12 datos de la muestra 6 es de 98.603 μm y su desviación estándar es de 104.695 μm (Tabla 4).

Tabla 4. Promedio del perímetro y desviación estándar de las muestras 1, 2, 3.

	Promedio	Desviación Estándar
Muestra 4	129.915	116.567
Muestra 5	118.682	69.581
Muestra 6	98.603	104.695

Prueba de ángulo de contacto

Muestras variando la proporción del anhídrido metacrilato

La muestra con 2 ml de anhídrido metacrílico y 180 minutos de reacción presentó un ángulo de contacto de 65° afirmando que el grado de mojabilidad es alta, con respecto a las fuerzas intermoleculares para el sólido son fuertes y del líquido son débiles (Figura 5 A). La muestra 2 tiene un ángulo de contacto de 62° por lo que tiene un alto grado de mojabilidad y sus fuerzas intermoleculares son para el sólido fuerte y para el líquido es débil como se observa en la figura 5 (B). En la Figura 5 (C) se visualiza que el ángulo de contacto es 54° , se percibe que la gota se encuentra de una manera inclinada en la muestra. El sólido tiene una fuerza intermolecular fuerte y el líquido una débil esto se debe a que el grado de mojabilidad es alto [16].

Muestras variando el tiempo de reacción.

La mojabilidad es muy alta en la muestra 4, lo cual se confirma con la Figura 5 (D) donde el ángulo de contacto encontrado es de 63° por esa razón las fuerzas intermoleculares son fuertes para el sólido y débil para el líquido. Esto es parecido en la muestra con anhídrido constante y tiempo de reacción de 120 minutos se debe a que tiene un ángulo de contacto de 65° menor a 90° por esta razón también el grado de mojabilidad es alto (Figura 5 E). En la última muestra se presenta un ángulo de contacto de 64° pues el fluido se extiende sobre la superficie es decir tiene alto grado de mojabilidad y sus fuerzas intermoleculares son similares a las anteriores ver Figura 5 (F).

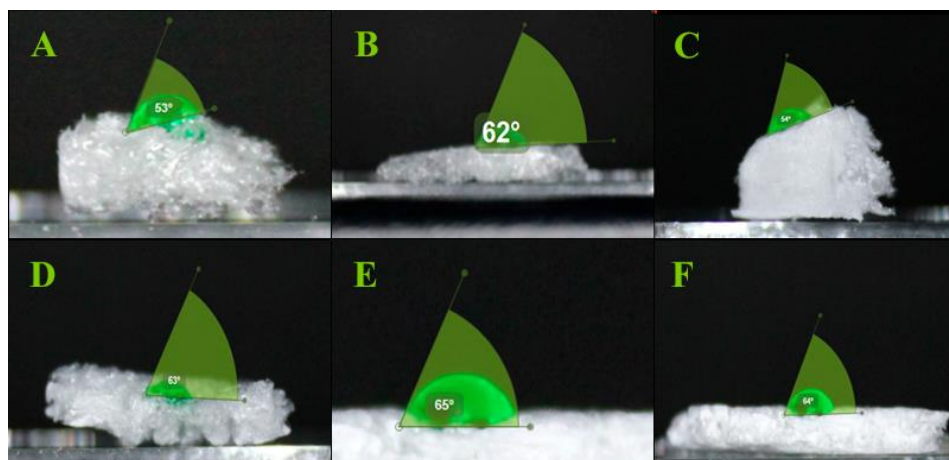


Figura 5. Ángulos de contacto de las muestras de gelatina metacrilato GelMA. (A). muestra 1. (B) muestra 2. (C) muestra 3. (D) muestra 4. (E) muestra 5. (F) muestra 6.

4. DISCUSIÓN

Se basó en los estudios de Yua et al. para la síntesis de GelMA, [17][10][13], pues este estudio tiene resultados favorables por ello se escogió para realizar las muestras variando el tiempo de reacción.

Espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR)

El espectro FTIR de la gelatina metacrililoila muestra en general los grupos funcionales químicos y los grupos funcionales metacrílicos injertados en el residuo de lisina de la gelatina. Los picos que se encuentran entre 2923.56 cm^{-1} y 2800 cm^{-1} en el hidrogel indican la presencia de los grupos funcionales de gelatina y entre los puntos 3500 a 3700 cm^{-1} están ubicados los del anhídrido metacrílico.

Prueba de ángulo de contacto

Las muestras con tiempo de reacción constante presentan alto grado de mojabilidad porque todos sus ángulos son menores a 90° y no tiene gran diferencia entre ellos ver la Figura 6 (A). Sin embargo, la muestra 1 tiene un ángulo de contacto de 65° siendo mayor entre estas, resultando ser mejor porque mientras mayor sea este valor menor será su mojabilidad, pero su hidrofobicidad es mayor y por ende su degradación será lenta [18-19]. En la Figura 6 (B) se da a conocer que los ángulos de contacto de las muestras con anhídrido metacrílico constante son menores a 90° , teniendo un alto grado de mojabilidad, pero se puede visualizar que entre las tres la mayor es la muestra 5 con 66° teniendo menor mojabilidad y por ende su hidrofobicidad será mayor entonces su degradación en el tiempo será más lenta.

Microscopía electrónica de barrido

El resultado que se obtuvo no fue muy satisfactorio esto se debe a que las imágenes no muestran en su totalidad la estructura de cada muestra pues al no ser conductoras el sistema no las analiza perfectamente ya que el haz de electrones no se centra en el área debida para evitar esta circunstancia se debe recubrirlas de oro (Au) pero no se logró realizar por la falta del equipo. El tamaño del poro promedio y su desviación estándar podrían variar debido a que la estructura morfológica porosa se observará con claridad y se notará más específicamente el área a estudiar; es decir, aparecerán mayor cantidad de poros, cuando la muestra sea recubierta de oro. Sin embargo, los resultados e imágenes obtenidos pueden ser una guía de como mínimamente debe salir la estructura pues no se presentó demasiados cambios con investigaciones anteriores [9].

Ramalingam en su estudio “Aqueous-mediated synthesis and characterization of gelatin methacryloyl for biomedical application” [9], obtuvieron el hidrogel GelMA con un tamaño promedio de poro de $80\text{ }\mu\text{m}$ y aseveran que mientras mayor sea este dato (porosidad) mejor será la difusión de oxígeno. Entonces, con base en aquello, en la Figura 7 (A) se puede observar la diferencia que existe entre las muestras con respecto a su porosidad visualizando que la muestra 2 tiene un tamaño promedio de poro menor, mientras que la 1 es la que tiene mayor promedio, por lo que se considera mejor para la difusión de oxígeno. En la Figura 7 (B) se muestra que la porosidad va reduciendo mientras el tiempo de reacción es menor, pero su variación o diferencia entre ellas no es muy amplia. La muestra 6 es la que tiene menor tamaño promedio del poro con respecto a las demás esto considerando los resultados de la microscopía electrónica de barrido con un promedio de 98.603 micras .

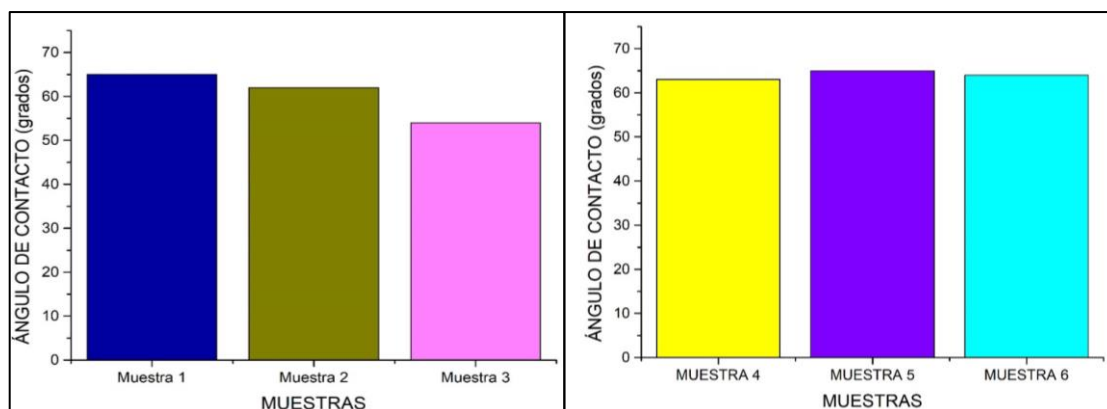


Figura 6. Comparación de los ángulos de contacto: (A) Muestras con variación de anhídrido metacrílico. (B) Muestras con variación del tiempo de reacción.

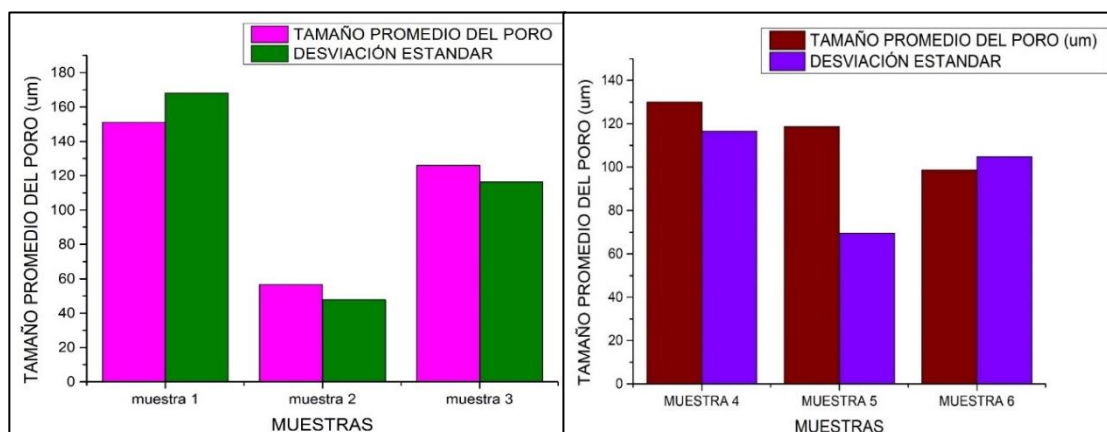


Figura 7. Comparación el tamaño promedio del poro: (A) Muestras con variación de anhídrido metacrílico. (B) Muestras con variación del tiempo de reacción.

5. CONCLUSIONES

Se sintetizó gelatina metacrilato a través del uso del anhídrido metacrílico (MA) para modificar la gelatina basándonos en la técnica de reacción con solución salina de fosfato. Al variar la cantidad de anhídrido metacrílico, su primera diferencia se presenció en los grupos químicos a través de la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier pues la muestra con mayor cantidad de este parámetro (muestra 2) presenta los picos más relevantes en el grupo amino funcional NH al igual que en las aminas I, II y III. Sin embargo, la que más se apega a los grupos funcionales de la gelatina y anhídrido es la muestra 1 que tiene una concentración de 8% v/v con 15 gr de gelatina. Con la microscopía electrónica de barrido se concluyó que la muestra 1 tiene la porosidad adecuada para difusión de oxígeno ya que aquella tuvo un tamaño promedio de poro de 151 micras siendo mayor que las demás ya que, mientras el MA era menor el ángulo de contacto igualmente lo sería, pero estos ángulos se encontraban entre 0 y 90° aunque la muestra 3 presentó un ángulo de 54° siendo el menor de su grupo. No obstante, todas las muestras tienen alto grado de mojabilidad y su degradación en el tiempo es lenta.

El tiempo de reacción con respecto a la cantidad de anhídrido son relativamente parecidos. Sin embargo, en los resultados los espectros FTIR presentan el pico del grupo funcional NH al igual que los picos de las aminas I, II y II, mientras que la porosidad no tiene mucha diferenciación entre ellos se encuentra en un rango de 90 a 130 μm y en la propiedad de mojabilidad todos tienen una mojabilidad alta debido a que sus ángulos de contacto son menores a 90° pero la muestra 5

(120 min de reacción) es el mayor por lo que se considera mejor porque tiene mayor hidrofobicidad y su degradación es más lenta.

Para la aplicación en regeneración de tejidos estas propiedades de estas muestras, pero en especial de la 1, resultarán beneficiosas, pues al tener una estructura altamente porosa mejorará la difusión de oxígeno y liberación del mismo por más tiempo, el apoyo al desarrollo celular, aportación de nutrientes a las células, la expulsión de residuos de la matriz y la transmisión de masa también la degradabilidad lenta en el tiempo es necesaria para que se pueda utilizar como biomaterial en esta aplicación al momento de ser cargada con nanopartículas y esto se encuentra relacionado con la hidrofobicidad.

REFERENCIAS

- [1] D. Oto, y H. Oliva, “Métodos para preparar hidrogeles químicos y físicos basados en almidón: Una revisión”. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, vol. 32, no. 2, 2012.
- [2] A. Arredondo y M. Londoño, “Hidrogeles. Potenciales biomateriales para la liberación controlada de medicamentos,” *Revista Ingeniería Biomédica*, vol. 3, no. 5, pp. 83-94, 2009.
- [3] H. Shirahama et al., “Precise Tuning of Facile One-Pot Gelatin Methacryloyl (GelMA) Synthesis,” *Scientific Reports*, vol. 6, no. 31036, pp. 1-11, 2016.
- [4] P. Fratzl, “Collagen: Structure and Mechanics,” *MA: Springer Science+Business Media*, Boston, 2008.
- [5] F. Lima, “Estudo da difusão de luz em amostras aquosas de colágeno na presença de nanopartículas de CaWO₄, BaWO₄, CaMoO₄, BaMoO₄ e de pigmento de cúrcuma,” *En: repositório Tesis de masterado*, Universidade Federal do Piauí, 2015.
- [6] A. Labeaga, “Polímeros biodegradables. Importancia y potenciales aplicaciones,” *Tesis de grado*, Universidad Nacional de educación a distancia, 2018.
- [7] L. Carbajal, “Anhídrido metacrílico,” *Thermo Fisher Scientific Inc*, 2021.
- [8] X Zhou et al., “3D Bioprinting a Cell-Laden Bone Matrix for Breast Cancer Metastasis Study,” *ACS Applied Materials & Interfaces*, vol. 8, no. 44, pp. 30017–30026, 2016.
- [9] S. Ramesh y M. Ramalingam, “Aqueous-Mediated Synthesis and Characterization of Gelatin Methacryloyl for Biomedical Applications,” *Biointerface Research in Applied Chemistry*, vol. 12, no. 5, pp. 6269–6279, 2021.
- [10] K. Yue et al., “Synthesis, properties and biomedical applications of gelatin methacryloyl hydrogels (GelMA),” *ScienceDirect*, vol. 73, pp. 254–271, 2015.
- [11] M. Zhu et al., “Gelatin methacryloyl and its hydrogels with an exceptional degree of controllability and batch-to-batch consistency,” *Scientific Reports*, vol. 9, no. 1, pp. 1–9, 2019.
- [12] A. Sáenz, “Biomateriales,” *Revista Tecnología En Marcha*, vol. 17, no. 1, pp. 34–45, 2004.
- [13] H. Yoon et al. “Cold Water Fish Gelatin Methacryloyl Hydrogel for Tissue Engineering Application,” *PLoS One*, vol. 11, no. 10, pp. 1-18, 2016.
- [14] G. Barraza et al. “La microespectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIRM) en el estudio de sistemas biológicos,” *Revista latinoamericana de química*, vol. 41, no. 3, pp. 6–7, 2013.
- [15] A. Dilia et al., “Espectroscopia infrarroja: una técnica alternativa para la identificación de microorganismos,” *Ciencia y Salud*, vol. 4, no. 1, pp. 123-131, 2012.

- [16] G. Piña et al., “Determinación de la energía libre superficial del líquido sinovial humano en biomateriales,” *Ciencia ergo-sum*, vol. 28, no. 3, 2021.
- [17] N. Zoratto et al., “In situ forming microporous gelatin methacryloyl hydrogel scaffolds from thermostable microgels for tissue engineering. Bioengineering & Translational Medicine,” vol. 5, no. 3, pp. 1–12, 2020.
- [18] A. Colorado et al., “Análisis de biomateriales para uso en ingeniería de tejido de piel: revisión,”. *Revista Ingeniería Biomédica*, vol. 7, no. 14, pp. 11–23, 2013.
- [19] S. McCullen et al., “Nanofibrous composites for tissue engineering applications,” *Wiley Interdisciplinary Reviews: Nanomedicine and Nanobiotechnology*, vol. 1, no. 4, pp. 369–390, 2009



Evaluación de caldos microbiales en el rendimiento del cultivo de maní (cultivar INIAP-380)

(Evaluation of microbial broths in the yield of the peanut crop (cultivar INIAP-380))

Leonilo Durazno Delgado¹ , Wilver Santana Alvarado¹ , Marlon Monge Freile¹ ,
Roberto Muñoz Mestanza¹ 

¹ Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador
ldurazno@uteq.edu.ec, wsantanaa@uteq.edu.ec, mmongef@uteq.edu.ec, rmunozm5@uteq.edu.ec

Resumen: En este estudio se investigó el efecto de dos caldos microbiales, caldo de cabeza de pescado (CCP1) y caldo fortificado de aminoácidos (CFA2), en el rendimiento del cultivo de maní, variedad INIAP 380. Se usó un diseño experimental en bloques completos al azar con tres dosis de cada caldo. El tratamiento T3 (375 ml de CFA2) incrementó la altura de planta, el T4 (125 ml de CFA2) aumentó el número de flores, el T2 (250 ml de CCP1) elevó la germinación y el T4 (375 ml de CFA2) mejoró el peso de la vaina, resultando en un rendimiento superior de 1.80 toneladas/ha. T2 (250 ml de CCP1) fue el más rentable. Los caldos microbiales influyen en la altura de planta, número de flores, germinación y peso de la vaina, lo que resalta su importancia para mejorar la productividad y rentabilidad del cultivo de maní. Por lo tanto, es necesario continuar investigando y explorando el potencial de los caldos microbianos en el ámbito agrícola.

Palabras clave: aminoácidos, floración, leguminosa, planta, producción.

Abstract: This study investigated the effect of two microbial broths, fish head broth (CCP1) and amino acid fortified broth (CFA2), on the crop yield of peanuts, variety INIAP 380. A randomized complete block experimental design was used with three doses of each broth. Treatment T3 (375 ml of CFA2) increased the height of the plant, T4 (125 ml of CFA2) increased the number of flowers, T2 (250 ml of CCP1) increased germination and T4 (375 ml of CFA2) the weight of the pod improved, resulting in a yield higher than 1.80 tons/ha. T2 (250 ml of CCP1) was the most cost effective. The microbial broths influence the height of the plant, number of flowers, germination and weight of the pod, which highlights its importance to improve the productivity and profitability of the peanut crop. Therefore, it is necessary to continue researching and exploring the potential of microbial broths in the agricultural field.

Keywords: amino acids, flowering, legume, plant, production.

1. INTRODUCCIÓN

En Ecuador, las leguminosas desempeñan un papel fundamental en la alimentación de la población, siendo cultivos básicos presentes en los principales sistemas de producción agrícola. Estas plantas, cultivadas tanto en monocultivo como en asociación o en rotación de cultivos, se encuentran principalmente en la región Sierra, y en menor grado en la Costa. Entre ellas se destaca el maní que, con su alto contenido proteico (27.1 %), se considera un componente esencial en la canasta familiar ecuatoriana [1].

En las áreas maniseras del país, que abarcan alrededor de 12.000 a 15.000 hectáreas, se concentra el cultivo de maní, especialmente en las provincias de Manabí, Loja y El Oro [2][3]. Sin embargo, estas zonas enfrentan desafíos significativos, ya que muchos suelos agrícolas se ven afectados por problemas como la acidificación, salinización y alcalinización, los cuales pueden

limitar el desarrollo óptimo de las plantas y convertirse en una seria limitante para el establecimiento exitoso del cultivo [3].

En este contexto, los caldos microbiales se presentan como una solución para mejorar las condiciones agroecológicas de los suelos. Estos productos orgánicos tienen la capacidad de mejorar la actividad de los componentes biológicos que promueven el crecimiento de las plantas, al tiempo que propician la multiplicación de microorganismos benéficos que facilitan la asimilación de nutrientes por parte de las plantas [4].

La aplicación de caldos microbiales se plantea como una estrategia para mejorar la producción del cultivo de maní, ofreciendo alternativas a la agricultura convencional con el uso de este abono orgánico. Estos abonos presentan una serie de ventajas en comparación con los agroquímicos, lo que los convierte en una opción atractiva para su uso en las cadenas de producción agrícola. Además de sus beneficios para el suelo y las plantas, los caldos microbiales son respetuosos con el medio ambiente y contribuyen a la sostenibilidad de las prácticas agrícolas [5].

La finalidad de este trabajo es investigar y promover el uso de caldos microbianos como una solución orgánica y sostenible para mejorar las condiciones agroecológicas de los suelos utilizados en el cultivo de maní en Ecuador, superando desafíos como la acidificación, salinización y alcalinización del suelo. Se busca impulsar la producción de maní de manera más eficiente y respetuosa con el medio ambiente, ofreciendo alternativas a la agricultura convencional y contribuyendo a la sostenibilidad de las prácticas agrícolas en el país.

2. METODOLOGÍA

La investigación se llevó a cabo en el Centro Experimental de Investigaciones Agropecuarias Mishili, ubicado en la Provincia Santo Domingo de los Tsáchilas, específicamente en el cantón Santo Domingo. El centro se encuentra en el Km 6 ½ de la vía Quevedo, en el margen izquierdo, en el sector de la Ciudadela del Chofer.

2.1. Tratamientos

Los tratamientos utilizados en este trabajo se describen en la Tabla 1.

Tabla 1. Número de tratamientos evaluados

Tratamientos	Codificación	Descripción	Planta / U.E	Repeticiones	Total
T1	CCP ₁ , D ₁	Caldo cabeza de pescado 125 ml	48	3	144
T2	CCP ₁ , D ₂	Caldo cabeza de pescado 250 ml	48	3	144
T3	CCP ₁ , D ₃	Caldo cabeza de pescado 375 ml	48	3	144
T4	CFA ₂ , D ₁	Caldo fortificado aminoácidos 125 ml	48	3	144
T5	CFA ₂ , D ₂	Caldo fortificado aminoácidos 250 ml	48	3	144
T6	CFA ₂ , D ₃	Caldo fortificado aminoácidos 375 ml	48	3	144

2.2. Diseño

Este diseño de bloques completos al azar (DBCA) con arreglo factorial A x B permitió evaluar los efectos de los diferentes caldos microbiales y dosis en el rendimiento del cultivo de maní. Se realizaron tres repeticiones, lo que resultó en un total de 18 bloques experimentales, con cada

bloque compuesto por 48 plantas asignadas a los diferentes tratamientos. Los datos obtenidos se analizaron mediante análisis de varianza (ADEVA) y se realizaron pruebas de comparación de medias utilizando la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error.

2.3. Elaboración del caldo de cabeza de pescado y caldo fortificado de aminoácidos

El caldo microbial de cabezas de pescado se elaboró de acuerdo con la receta de PYME RURAL y PRONAGRO, utilizando los siguientes materiales [6] (Tablas 2 y 3):

Tabla 2. Materiales para preparar 60 litros de caldo de cabeza de pescado

Descripción	Cantidad	Unidad
Cabeza de pescado	5	Libras
Arroz blanco	5	Libras
Melaza	20	Litros
Levadura	1	Libra
Suero o leche	20	Litros
Agua	20	Litros
Ajos	4	Unidades
Tanque	1	Litros
Paila	1	Unidad

Tabla 3. Materiales para la preparación de 140 litros de caldo fortificado de aminoácidos

Descripción	Cantidad	Unidad
Hojas de leguminosa	50	Libras
Estiércol fresco	50	Libras
Melaza	8	Litros
Harina de carne y hueso	10	Libra
Suero o leche	5	Litros
Agua	120	Litros
Manguera	1.5	Metros
Botella plástica	1	Unidad
Tanque	1	Litros
Microorganismos	5	Litros

Fuente: PYME RURAL y PRONAGRO (2011)

2.4. Labores Preculturales

Preparación del suelo: Se realizó la limpieza del terreno con machete y azadón, para lo cual esta labor se la efectuó en dos días, junto con la medición del terreno y separación de las parcelas ya que este lote contenía pasto Saboya (*Panicum maximum*).

2.5. Labores culturales

La siembra del maní INIAP 380 se llevó a cabo de manera manual, colocando dos semillas por golpe, con una distancia de 0.40 m entre plantas y 0.40 m entre hileras.

Fertilización: Después de la siembra, se realizó la fertilización cada 15 días utilizando una bomba de fumigar en drench. Se aplicaron las dosis establecidas del caldo de pescado y aminoácidos fortificado, siendo 125 ml, 250 ml y 375 ml en 5 litros de agua respectivamente.

Control de malezas: El control de malezas se realizó manualmente cada 30 días después de la siembra, en cada parcela experimental, con el objetivo de mantener el área libre de competencia vegetal indeseada.

Riego: El riego se llevó a cabo teniendo en cuenta las condiciones climáticas y las necesidades hídricas del cultivo. Se consideró que el suelo contaba con la humedad óptima para el cultivo y se realizó durante la época de invierno.

Control de plagas y enfermedades: Para el control de plagas, se utilizó el insecticida Syngenta Cruiser 350 FS, específicamente para insectos masticadores. Además, se empleó un fungicida llamado "Alto" para el control del ojo de rana (*Cercospora sojina*). Se realizó el control de insectos trazadores de hojas en toda la investigación. A los 65 días, se observaron malformaciones en las hojas del cultivo debido a la presencia de insectos chupadores.

3. RESULTADOS

3.1. Altura de planta

En los resultados de la variable altura de planta (cm) a los 105 días después de la siembra (DDS), se encontraron diferencias significativas en el factor B (Dosis) ($p < 0.05$). Además, se observó una significancia estadística en la interacción del factor AB (Caldos MicrobialesDosis) ($p < 0.05$), con un coeficiente de variación de 5.17%.

La prueba de Tukey al 5% de nivel de significancia se utilizó para comparar los resultados del Factor B (Dosis) y la Interacción AB (Caldos MicrobialesDosis).

En la Figura 1 del Factor B (Dosis), se puede observar que la dosis 3 (375 ml/5 l de H₂O) mostró la mayor altura con 15.70 cm, compartiendo el mismo rango de significancia con la dosis 1 (125 ml/5 l de H₂O) que alcanzó una altura de 15.38 cm. Por otro lado, la dosis 2 (250 ml/5 l de H₂O) presentó una menor altura con 13.59 cm.

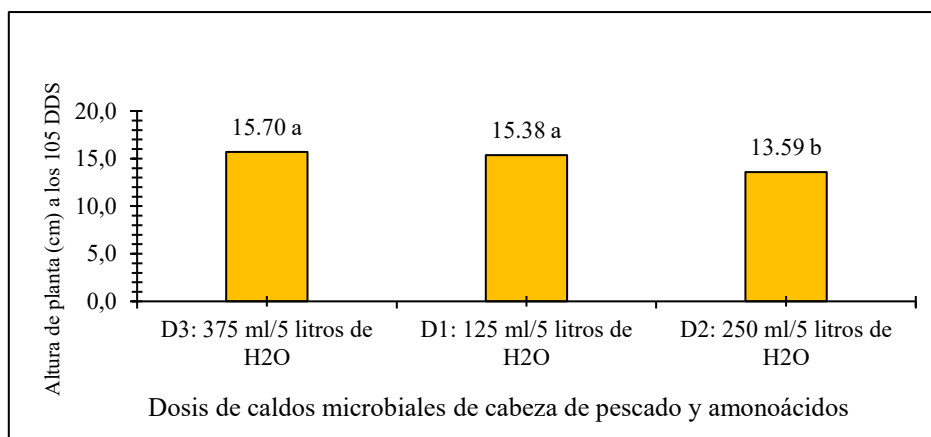


Figura 1. Altura de planta(cm) con las diferentes dosis de caldos microbiales en el cultivo de maní (*Arachis hypogaea*) a los 105 DDS con respecto al Factor B (Dosis)

En la Figura 2, correspondiente a la Interacción AB (Caldos MicrobialesDosis), se puede observar que el tratamiento T3 con 375 ml/5 l de H₂O de caldo cabeza de pescado (CCP₁) presenta la mayor altura de planta con 16.04 cm. Le sigue el tratamiento T4 con 125 ml/5 l de H₂O de caldo fortificado de aminoácidos (CFA₂) con una altura de 15.49 cm. Por otro lado, los demás tratamientos exhiben alturas similares, siendo el tratamiento con 250 ml/5 l de H₂O de caldo fortificado de aminoácidos (CFA₂) el que muestra la menor altura con 13.51 cm.

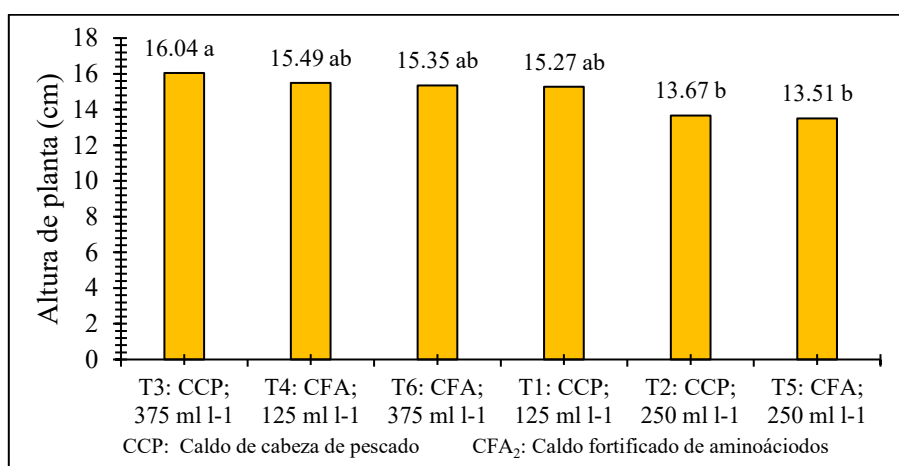


Figura 2. Altura de planta (cm) en la evaluación de caldos microbiales en el rendimiento del maní INIAP 380 (*Arachis hypogaea*) a los 105 DDS con respecto a la Interacción A*B (Caldos Microbiales*Dosis)

3.2. Número de flores/planta

Los resultados obtenidos para la variable número de flores/planta indican que no se encontraron diferencias significativas para el Factor A (Caldos Microbiales) y el Factor B (Dosis) ($p > 0.05$). Sin embargo, se observó significancia estadística en la interacción del Factor AB (Caldos MicrobialesDosis) ($p < 0.05$), con un coeficiente de variación de 25.46%.

Al realizar la prueba de Tukey al 5% de nivel de significancia para la interacción del Factor AB (Caldos MicrobialesDosis) (Figura 3), se encontró que el tratamiento T4 con 125 ml/5 l de H₂O de caldo fortificado de aminoácidos (CFA₂) mostró el mayor valor promedio con 5.13 flores/planta. En contraste, el tratamiento T2 con 250 ml/5 l de H₂O de caldo cabeza de pescado (CCP₁) presentó un promedio de 4.13 flores/planta.

Los demás tratamientos exhibieron un comportamiento similar en cuanto al número de flores/planta. Estos resultados resaltan la influencia de los caldos microbiales en la floración, tal como se evidencia en la interacción AB (Caldos MicrobialesDosis).

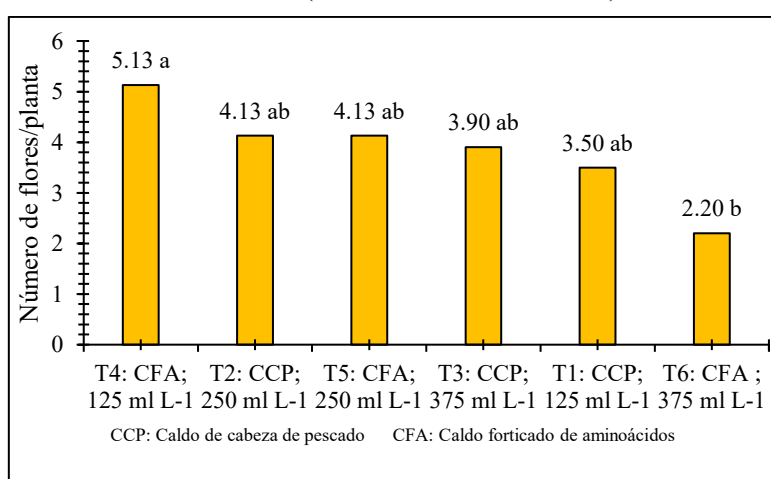


Figura 3. Número de flores/planta en la evaluación de caldos microbiales en el rendimiento del cultivo de maní INIAP 380 (*Arachis hypogaea*) días después de la siembra (DDS) con respecto al Factor A*B (Caldos Microbiales*Dosis)

3.3. Germinación

En la variable germinación, no se encontraron diferencias significativas para el Factor A (Caldos Microbiales), el Factor B (Dosis) y la interacción del Factor AB (Caldos MicrobialesDosis) ($p>0.05$). El coeficiente de variación obtenido, de 15.15%, es considerado aceptable para este tipo de investigación.

El valor de 15.15% de coeficiente de variación obtenido en la variable de germinación se considera aceptable para este tipo de investigación por varias razones.

En primer lugar, el coeficiente de variación es una medida de dispersión relativa que indica la magnitud de la variabilidad en relación con la media. Un valor del 15.15% significa que la variabilidad de los datos de germinación es relativamente baja en comparación con la media. Esto indica que los resultados de germinación son consistentes y no hay grandes fluctuaciones entre los tratamientos evaluados.

En segundo lugar, al no encontrarse diferencias significativas entre los factores y las interacciones en el análisis de varianza, se sugiere que los tratamientos de caldos microbiales y dosis no tuvieron un efecto significativo en la germinación de las semillas de maní. Esto implica que las diferencias observadas en los promedios de germinación entre los tratamientos pueden deberse al azar o a otros factores no considerados en el estudio.

Por lo tanto, en este contexto, el valor del 15.15% de coeficiente de variación se considera aceptable, ya que indica que la variabilidad en los resultados de germinación no es alta y que las diferencias observadas entre los tratamientos no son estadísticamente significativas. Esto proporciona cierta confianza en la consistencia y estabilidad de los resultados obtenidos en la variable de germinación en este estudio de investigación.

El tratamiento T2 con 250 ml/5 l de H₂O de caldo cabeza de pescado (CCP1) mostró el mayor promedio de germinación, con un valor de 79.63%. Le sigue el tratamiento T3, con un promedio de germinación de 75.92%. En contraste, los demás tratamientos con aminoácidos mostraron porcentajes de germinación similares, siendo el menor valor de 57.14% con 250 ml/5 l de H₂O de aminoácidos.

Estos resultados indican que los diferentes caldos microbiales y dosis evaluadas no tuvieron un efecto significativo en la germinación de las semillas de maní.

3.4. Peso de vainas/planta

En la variable peso de vainas/planta, no se encontraron diferencias significativas para el Factor A (Caldos Microbiales), el Factor B (Dosis) y la interacción del Factor AB (Caldos MicrobialesDosis) ($p>0.05$). El coeficiente de variación obtenido, de 24.82%, indica una moderada variabilidad en los datos.

El tratamiento T4 con 125 ml/5 l de H₂O de caldo fortificado de aminoácidos (CFA2) mostró el mayor promedio de peso de vainas, con un valor de 405.18 g. En comparación, el tratamiento T3 con 375 ml/5 l de H₂O de caldo cabeza de pescado (CCP1) alcanzó un promedio de peso de vainas de 396.21 g.

Los resultados indican que los diferentes caldos microbiales y dosis evaluadas no tuvieron un efecto significativo en el peso de las vainas de maní por planta.

3.5. Rendimiento

En la variable peso de vainas/planta, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para el Factor A (Caldos Microbiales), el Factor B (Dosis) y la interacción del Factor AB (Caldos MicrobialesDosis) ($p>0.05$). El coeficiente de variación obtenido fue de 25.93%, lo que indica una moderada variabilidad en los datos.

Es importante tener en cuenta que el rendimiento en peso de vainas por planta por sí solo no es suficiente para evaluar la superioridad de una línea. Para determinar la superioridad de una línea es necesario comparar su rendimiento con el de la variedad comercial más destacada, cultivando en condiciones lo más similares posible [7].

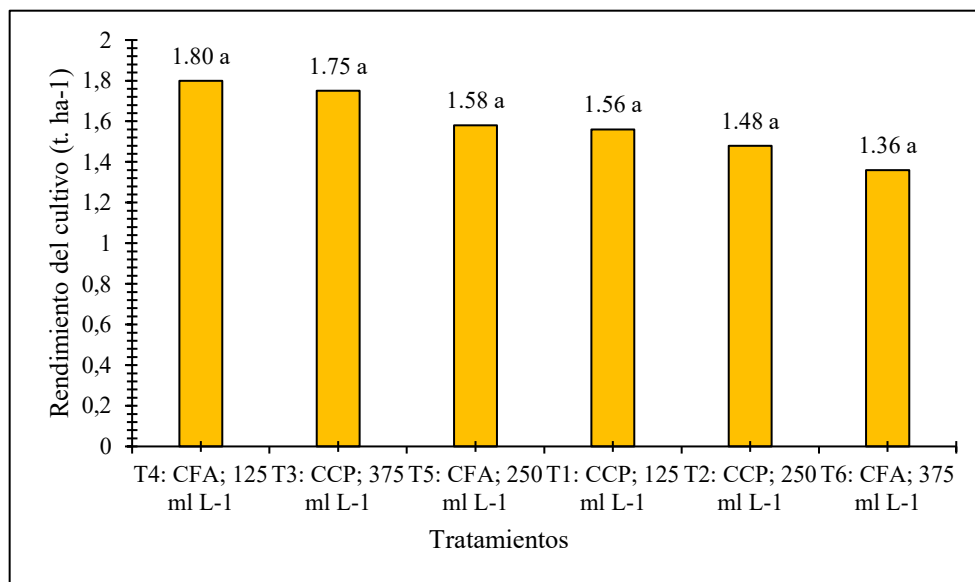


Figura 4. Rendimiento del cultivo (t. ha-1) en la evaluación de caldos microbiales en el rendimiento del maní INIAP 380 (*Arachis hypogaea*)

4. DISCUSIÓN

En el presente estudio se evaluaron los efectos de diferentes caldos microbiales en el rendimiento del cultivo de maní, utilizando el cultivar INIAP-380. Para una mejor comprensión de los resultados, es relevante conocer la composición de los caldos microbiales utilizados, la cual se obtuvo a partir de las siguientes referencias bibliográficas:

Según Sabbah [1], el maní se caracteriza por ser una excelente fuente de proteínas, grasas saludables, fibra, vitaminas del complejo B, vitamina E y minerales como magnesio, fósforo, zinc y hierro.

El estudio de Ullaury et al. [2] proporciona información sobre el cultivar INIAP-381, que es similar al cultivar INIAP-380 utilizado en nuestro estudio. Ambos cultivares son considerados variedades de maní precoz y se adaptan a zonas semisecas. Esta similitud en las características genéticas es relevante al comparar nuestros resultados con investigaciones previas.

En cuanto a la composición de los caldos microbiales, se utilizó caldo de cabeza de pescado y caldo fortificado de aminoácidos. De acuerdo con Terralia [4], los restos de pescado son utilizados en la producción de abonos orgánicos, lo que sugiere una posible fuente de nutrientes y microorganismos benéficos presentes en el caldo de cabeza de pescado. Por otro lado, el caldo fortificado de aminoácidos, según la referencia de Chaluiza [10], puede proporcionar una fuente adicional de nutrientes y estimular el crecimiento de las plantas de maní.

Ahora, analizando los resultados obtenidos en nuestro estudio y comparándolos con los hallazgos de investigaciones previas, es posible discutir los efectos de los caldos microbiales en el rendimiento del cultivo de maní:

Con relación al crecimiento de las plantas, nuestro estudio encontró que la variedad INIAP-380 alcanzó una altura de 13.80 cm a los 30 días, lo cual es consistente con el estudio previo

realizado por Ullaury et al. [2]. Además, el tratamiento con caldo de cabeza de pescado a una dosis de 375 ml/5 l H₂O logró una altura de 16.04 cm, lo que indica un posible efecto positivo de este caldo en el crecimiento del cultivo [9].

Respecto a la floración, Chaluisa [10] reportó que la variedad Rosita alcanzó un número elevado de flores por planta utilizando abonos orgánicos. En nuestro estudio, el tratamiento con caldo fortificado de aminoácidos (125 ml/5 l H₂O) mostró un promedio de 5.13 flores/planta, un valor inferior a los encontrados en el estudio mencionado. Esto sugiere que los caldos microbiales podrían tener un efecto limitado en la estimulación de la floración del maní en comparación con otros tratamientos.

Con respecto a la germinación de las semillas de maní, el presente estudio reveló que el tratamiento con 250 ml/5 l H₂O de caldo de cabeza de pescado logró un promedio de germinación de 79.63%. Este resultado es considerablemente mayor que los valores mencionados en un estudio previo [12]. Por lo tanto, se puede inferir que los caldos microbiales, en particular el caldo de cabeza de pescado, podrían tener un efecto positivo en la germinación de las semillas de maní.

Los resultados sugieren que los caldos microbiales, en particular el caldo de cabeza de pescado y el caldo fortificado de aminoácidos, podrían tener efectos positivos en el crecimiento, germinación y rendimiento del cultivo de maní. Sin embargo, es importante tener en cuenta que las condiciones específicas del estudio, como el cultivar utilizado, la dosis de los caldos microbiales y otros factores ambientales, pueden influir en los resultados obtenidos. Se recomienda realizar más investigaciones para profundizar en la comprensión de los efectos de los caldos microbiales en el cultivo de maní y compararlos con otros tratamientos agronómicos disponibles.

5. CONCLUSIONES

Rendimiento del cultivo: El tratamiento T4, con una dosis de 125 ml/5 l de H₂O, mostró el mayor rendimiento con 1.80 t. ha⁻¹, mientras que el tratamiento T3, con 375 ml/5 l de H₂O, presentó un rendimiento casi similar de 1.75 t. ha⁻¹. Estos resultados indican que los caldos microbiales pueden influir positivamente en el rendimiento del cultivo de maní.

Germinación de las semillas: El tratamiento T2, con una dosis de 250 ml/5 l de H₂O de caldo de cabeza de pescado, mostró el mayor promedio de germinación con 79.63%, seguido por el tratamiento T1, con un 75.93% de germinación utilizando una dosis de 125 ml/5 l de H₂O de caldo de cabeza de pescado.

Análisis beneficio/costo: Se realizó un análisis beneficio/costo para evaluar la rentabilidad de los tratamientos. El tratamiento T2, con 250 ml/5 l de H₂O, mostró la mayor rentabilidad con una relación beneficio/costo de 1.36 USD. Esto significa que por cada dólar invertido, se obtuvo una ganancia de 0.36 USD. Por otro lado, el tratamiento T4 presentó la menor ganancia, con 0.11 centavos de dólar por cada dólar invertido, lo que equivale a una rentabilidad del 10.89%.

REFERENCIAS

- [1] Redacción RPP, «Conociendo el valor nutricional del maní,» 2015. [Online]. Available: <https://rpp.pe/lima/actualidad/conociendo-el-valor-nutricional-del-mani-noticia-781805> .
- [2] J. Ullaury, Z. Mendoza y J. Guamán, « Nueva Variedad de maní precoz para zonas semisecas de Loja y Manabí. Guayaquil, Ecuador. Estación Experimental Boliche,» Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. Boletín Divul, INIAP 381-Rosita, 2003.

- [3] J. Carrera, «Respuesta agronómica del cultivo de rábano (*Raphanus sativus* L.) a la aplicación de abonos orgánicos [Tesis de Pregrado],» La Maná-Ecuador, 2015.
- [4] R. Terralía, «Abono orgánico en base a restos de pescado[Tesis de Pregrado],» Guayaquil-Ecuador, 2016.
- [5] Hidroponía. ¿Como afectan los hongos a los cultivos? [Online].; 2017 [cited 2022 Diciembre]. Available from: <http://hidroponia.mx/como-afectan-los-hongos-a-los-cultivos/>.
- [6] P. RURAL y PRONAGRO, «Serie: producción orgánica de hortalizas de clima templado.,» p, 27., Honduras. Cooperación Suiza para América Latina., 2011.
- [7] J. Poelhman, «Mejoramiento genético de las cosechas. México D.F. Mex.,» Limusa., 1996, pp. p, 41..
- [8] E. Lucio y A. Zamora, «Adaptabilidad de dos variedades de maní (*Arachis hypogaea* L.) INIAP381 y caramelo Loja, con abonos orgánicos (humus y bio) e inorgánicos (10-30-10 y sulpomag) en diferentes dosis[Tesis de Pregrado],» La Maná., 2011.
- [9] J. Carranza, «Comportamiento agronómico y productivo de cuatro variedades de maní (*Arachis hypogaea*) [Tesis de Pregrado],» Quevedo-Ecuador, 2012.
- [10] M. Chaluísa, «Comportamiento agronómico del maní (*Arachis hypogaea*) con abonos orgánicos en la parroquia el Carmen Cantón la Mana [Tesis de Pregrado],» La Maná-Ecuador, 2015.
- [11] S. Sánchez, A. Muñoz y A. González, «Evaluación de la resistencia a sequía de variedades de cacahuate (*Arachis hypogaea*) de hábito de crecimiento rastrero y erecto. Universidad Autónoma Chap.,» *Revista Chapingo Serie Horticultura*, vol. 12, no. 1, pp. 77-84, 2006.
- [12] S. Ruiz, D. Canul, A. Pacheco, A. Pérez y S. Horacio, «Efecto de tratamientos pre germinativos e inoculación microbiana en maní,» *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 6, no. 6, pp. 1177-1187.
- [13] A. Castillo, «Producción de maní (*Arachis hypogaea* L.) con diferentes dosis de biol en el sector El Paraíso [Tesis de Pregrado],» La Maná-Ecuador, 2017.
- [14] A. Cirilo. (2016,). *¿Cómo afecta al rendimiento la fecha de siembra?* [Online]. Available: <http://www.agritotal.com/nota/como-afecta-el-rendimiento-la-fecha-de-siembra>
- [15] J. Ayón, «Evaluación Agronómica de Líneas Promisorias de Maní (*Arachis hypogaea*) sembrados en la Zona de Taura Provincia del Guayas [Tesis de Pregrado],» Guayaquil-Ecuador, 2010.





Más artículos científicos aquí