

REVISTA DE LA ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO 2024

ISSN: 2518-4725. No.1. Vol.14.



ESCUELA DE ESTUDIOS DE
POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA

La Revista de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería publica investigaciones originales de los diferentes campos de la ingeniería. Constituye una publicación en formato digital en la plataforma institucional Repositorio USAC, en línea y anual en formato impreso.

REEP Año 14 Nº 1. 2024	Autores	Escuela de Estudio de Postgrado EEP (Facultad de Ingeniería USAC).
	Título	Revista de la Escuela de Estudios de Postgrado, FIUSAC.
	Imp / Ed.:	Guatemala: Escuela de Estudios de Postgrado, USAC, 2024.
	Idioma	Esp.
	Descripción	#P. ; ll. 27 cm.
	Ejemplares	2024: Año 14, Nº 1(publicación anual)
	ISSN	2518-4725.
	Temas	Ingeniería - Revistas.



ESCUELA DE ESTUDIOS DE
POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA

Autoridades de la Facultad de Ingeniería

Ing. José Francisco Gómez Rivera, DECANO a.i.

Mtr. Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez, SECRETARIO ACADÉMICO.

Junta Directiva

Ing. José Francisco Gómez Rivera, DECANO a.i.

Ing. Mario Renato Escobedo Martínez, VOCAL II.

Ing. Juan Carlos Molina Jiménez, VOCAL III.

Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente, VOCAL IV.

Ing. Fernando José Paz Gonzales, VOCAL V.

Mtr. Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez, SECRETARIO ACADÉMICO.

Directorio

Revista de la Escuela de Estudios de Postgrado, Vol. 14, No. 1
Escuela de Estudios de Postgrado, Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala,
Edificio S11, Primer nivel, Ciudad Universitaria, zona 12

CONSEJO EDITORIAL

Mtr. Aurelia Anabela Cordova Estrada.
Directora de la Escuela de Estudios de Postgrado de
Ingeniería.
USAC.

Dra. Mayra Virginia Castillo Montes. Editora.
Profesora de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.
USAC.

Dr. Alfredo Salvador Gálvez Sinibaldi.
Profesor de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.
USAC.

Mtr. Edwin Adalberto Bracamonte Orozco.
Profesor de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.
USAC.

Mtr. Hilda Palma de Martini.
Profesora de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.
USAC.

Mtr. Hugo Humberto Rivera Pérez.
Profesor de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.
USAC.

Dr. José Luis Argueta Mayorga.
Profesor de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.
USAC.

COMITÉ CIENTÍFICO

Mtr. Anabelle Castro Castro.
Instituto Tecnológico de Costa Rica.
anabellecc@gmail.com

Mtr. Francisco Alarcón Ahumada.
Universidad Michoacana San Nicolás de Hidalgo.
francisco.aahumada@gmail.com

Mtr. Esteban Ballesterio Alfaro.
Instituto Tecnológico de Costa Rica.
eballesterio@gmail.com

COMITÉ EDITORIAL

Mtr. Ángel Eduardo Polanco Anzueto.
Empresa Eléctrica de Guatemala. EEGSA.
apolanco@eegsa.net

Dr. Dennis Salvador Argueta Mayorga.
Facultad de Ingeniería. USAC.
arguetadennis@gmail.com

Mtr. Edgar Darío Álvarez Cotí.
Facultad de Ingeniería. USAC.
edalvarezc95@gmail.com

Mtr. Gerald Dean Anderson Argueta Girón
Facultad de Ingeniería. USAC.
iqqfgeraldargueta@gmail.com

Mtr. Guillermo Alexander Cotto Ramos.
Naturaceites S. A.
cottoguillermo@gmail.com

Dra. María Gabriela Paniagua Cabarrús.
Facultad de Ingeniería. USAC.
gabycabarrus@gmail.com

Mtr. Mayra Virginia Carvajal Castillo.
Facultad de Ingeniería. USAC
mayracarvajalcastillo91@gmail.com

Mtr. Vladimir Iván Pérez Soto.
Facultad de Ingeniería. USAC.
ing.perezsoto@gmail.com

Mtr. Walter Arnoldo Bardales Espinoza.
Facultad de Ingeniería. USAC.
bardaleswa@gmail.com

COORDINACIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA

Mtr. Aurelia Anabela Cordova Estrada.
**Directora de la Escuela de Estudios de Postgrado de la
Facultad de Ingeniería.**

Dra. Mayra Virginia Castillo Montes.
Editora.

Mtr. René Oswaldo Monge López.
Asistente de Dirección.

Br. Abner Josué Jereda Rodas.
Diseño y Diagramación.

Mtr. Hilda Myriam Méndez Castillo de Avila.
Revisión Lingüística

FACULTAD DE INGENIERÍA

Universidad de San Carlos de Guatemala

MISIÓN

Formar profesionales de la ingeniería con valores éticos, capaces de generar y adaptarse a los cambios del entorno, conscientes de la realidad nacional y comprometidos con la sociedad, para que, a través de la aplicación de la ciencia y la tecnología apropiada, contribuyan al bien común y desarrollo sostenible del país y la región.

VISIÓN

Ser una institución académica con incidencia en la solución de la problemática nacional, formando profesionales emprendedores en distintas áreas de la ingeniería, con sólidos conceptos científicos, tecnológicos, éticos y sociales, fundamentados en la investigación y promoción de procesos innovadores orientados hacia la excelencia profesional.

ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

MISIÓN

Formar maestros de la ingeniería para que sean competitivos y fomenten el desarrollo del país, a través de su emprendimiento de forma ética y responsable con la realidad nacional.

VISIÓN

Ser innovadores en la formación profesional a nivel de postgrado, con liderazgo y sólidos conocimientos de la ciencia y la tecnología, sin olvidar a la sociedad que demanda la excelencia académica.

Editorial

En un mundo en constante evolución, la ingeniería surge como el motor que impulsa el desarrollo tecnológico de la sociedad. Desde la inteligencia artificial hasta la sustentabilidad energética, las disciplinas ingenieriles desempeñan un papel fundamental en la creación de soluciones para los desafíos globales. En esta edición de nuestra revista, exploramos las tendencias emergentes, los avances científicos y los proyectos disruptivos que están marcando la diferencia en diversos sectores.

La Escuela de Estudios de Postgrado no solo representa la continuación de la formación académica, sino que también constituye un espacio donde la investigación y la innovación convergen para generar impacto real en la industria y la sociedad. Dentro de este ámbito, los programas doctorales se posicionan como un eje clave en la generación de conocimiento avanzado, permitiendo que se profundice en la resolución de problemas complejos y contribuyan al desarrollo de nuevas tecnologías con un enfoque crítico y metodológico.

La especialización y la actualización constante son imperativas en un entorno donde la obsolescencia tecnológica es cada vez más rápida. Por ello, este número reúne artículos de investigadores académicos y profesionales que analizan como las nuevas tecnologías están moldeando el presente y definirán el futuro de la ingeniería.

En este número, también exploramos los sistemas de gestión ambiental aplicados al manejo de desechos de la industria automotriz, un sector que enfrenta retos significativos en la reducción de su impacto ecológico. Asimismo, discutimos el papel de la energía eléctrica renovable intermitente en la conformación de una matriz energética sostenible, destacando los avances en almacenamiento y regulación de la oferta energética.

Además, abordamos la importancia de la colaboración interdisciplinaria y la integración de enfoques innovadores para resolver problemas complejos. La convergencia entre ingeniería, ciencias de datos, biotecnología y nuevas fuentes de energía abre un panorama de posibilidades inexploradas. Es momento de que los profesionales del futuro no solo dominen su campo de estudio, sino que también desarrollen habilidades que les permitan liderar y transformar el mundo con un enfoque ético y sostenible.

Invitamos a nuestros lectores a sumergirse en esta edición y descubrir como la ingeniería sigue siendo el eje del progreso. Porque en cada ecuación resuelta, en cada diseño optimizado y en cada proyecto ejecutado con excelencia se forja el porvenir de la humanidad.

Ing. José Francisco Gómez Rivera.

Decano en Funciones.
Facultad de Ingeniería.

Tabla de contenidos

PREFACIO

Mtr. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada 17

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN

Autocorrelación espacial de la cobertura del suelo y el fenómeno de El Niño oscilación del sur en su fase extrema El Niño, años 2015 - 2016. 21

Dr. Alfredo Salvador Gálvez Sinibaldi, Dra. Mayra Virginia Castillo Montes, Dr. Jose Luis Argueta Mayorga, Mtr. Walter Arnoldo Bardales Espinoza, Br Eugenio Miguel Polanco Sotoj

PROGRAMAS DOCTORALES

Análisis del residuo sólido resistente derivado del vermicompostaje de Stevia Rebaudiana 35

Mtr. Katy Elizabeth López Calvillo, Dr. Alfredo Salvador Gálvez Sinibaldi

Biomonitoreo utilizando macroinvertebrados acuáticos en la parte alta, media y baja de la subcuenca del Río Cotón, Baja Verapaz, Guatemala 45

Mtr. Wagner Guillermo Alonzo de León, Dr. Pedro Julio García Chacón, Mtr. Norma Edith Gil Rodas

Una revisión sistemática de la relación entre seguridad alimentaria nutricional y economía 55

Mtr. Ariel Cristina Marín Rodriguez, Dr. Alfredo Salvador Gálvez Sinibaldi

ÁREA DE GESTIÓN Y SERVICIOS

Optimización de un sistema de limpieza CIP (Clean In Place) a temperatura ambiente, en los tanques de almacenaje de cerveza filtrada 67

Mtr. Edgar Augusto Morales Reyes, Mtr. Claudia Carolina Ronquillo Blau

Sistema de gestión ambiental para el manejo de desechos de la industria automotriz 73

Mtr. Eddy Reynaldo García Oliva, Mtr. Claudia Larissa Díaz Castillo

Aplicación de un modelo estadístico de pronósticos utilizando el método Winter para la logística inversa del vidrio post consumo 79

Mtr. Marvin Wilfredo Arévalo Pineda, Mtr. Julio Roberto Ramírez Romero

Aplicación de la metodología DMAIC para la reducción de la variabilidad en un proceso de compresión de tabletas 85

Mtr. Steffany Yolanda Flores Contreras, Mtr. Lucía Cecilia Flores Contreras

ÁREA DE CIENCIAS APLICADAS

Modelo de regresión logística para estimar la probabilidad de retención de clientes profesionales, en una empresa minorista 93

Mtr. Pedro Pablo Morales Ortiz, Mtr. José Ronaldo Chávez Salazar

Desarrollo de una galleta con sustitución parcial de harinas de maíz y frijol biofortificados 99

Mtr. Erick Ricardo Aguilar Castillo, Mtr. Byron Rodas Aroche

ÁREA DE DESARROLLO SOCIOAMBIENTAL Y ENERGÉTICO

Propuesta de modificaciones al marco regulatorio regional, para permitir la implementación de contratos de largo plazo en el mercado eléctrico regional de Centroamérica 107

Mtr. Sergio Gabriel Noriega Buch, Mtr. José Emilio Zambrano Quinteros

Incorporación de energía eléctrica renovable intermitente para la matriz de generación del sistema aislado de la isla de Utila, Honduras 113

Mtr. David Enrique Lagos Figueroa, Mtr. Edwin Manolo Tock Amézquita

Instrucciones los para autores 119

PREFACIO

Mtr. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Mtr. en Gestión Industrial

Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería
ingaana47@gmail.com

Se presenta el Volumen 14, Número 1 de la Revista Científica de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Este volumen recopila investigaciones originales y artículos de revisión que reflejan la diversidad y riqueza de los programas académicos, abordando temas de vanguardia en diversos campos del saber. Los artículos incluidos ofrecen hallazgos y reflexiones de expertos en sus respectivas áreas sobre los desafíos y oportunidades que enfrenta la sociedad actual.

Esta edición reafirma el compromiso con la sociedad guatemalteca y la comunidad internacional. Los artículos presentados en este volumen abordan problemas y desafíos relevantes para el desarrollo sostenible. Esta publicación busca contribuir a la toma de decisiones informadas y la generación de soluciones innovadoras para los retos actuales.

La edición 2024 presenta una selección de artículos de interés para investigadores, docentes y profesionales en formación, organizados en secciones temáticas. La Unidad de Investigación e Innovación lidera la primera sección, centrada en el estudio de la autocorrelación espacial entre la cobertura del suelo y el fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENSO). En el ámbito doctoral, se presentan tres ensayos de revisión de literatura que surgieron del proceso formativo, sentando las bases para futuras investigaciones. Además, la formación en maestría se refleja en tres secciones especializadas: Gestión y Servicios, Ciencias Aplicadas y Desarrollo Socioambiental y Energético. Estos artículos se fundamentan en estudios aplicados que abordan problemas específicos en cada campo profesional.

Se reconoce la valiosa contribución del Consejo Editorial, del Comité Editorial y del Comité Científico de la revista, así como el apoyo del personal involucrado en la edición del presente número. Los artículos presentados en este volumen buscan inspirar y contribuir al debate y la investigación, por lo que esta edición refleja el compromiso y dedicación de la comunidad académica con la excelencia y la innovación.

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN



AUTOCORRELACIÓN ESPACIAL DE LA COBERTURA DEL SUELO Y EL FENÓMENO DE EL NIÑO OSCILACIÓN DEL SUR EN SU FASE EXTREMA EL NIÑO, AÑOS 2015-2016

Spatial Autocorrelation of Land Cover and El Niño Southern Oscillation on its extreme El Niño phase of years 2015-2016

Alfredo Salvador Gálvez Sinibaldi

Dr. en Geomquímica
alfredog0707@gmail.com

Mayra Virginia Castillo Montes

Dra. en Educación
mayracastillom@yahoo.com

Jose Luis Argueta Mayorga

Dr. en Ciudad Territorio y Sostenibilidad
jlam.argueta@gmail.com

Walter Arnoldo Bardales Espinoza

Mtr. en Recursos Hidráulicos
bardaleswa@gmail.com

Eugenio Miguel Polanco Sotoj

Estudiante de Ingeniería Industrial
eugenio.polanco.ing@gmail.com

Recibido: 9 de mayo de 2024 | Revisado: 17 de junio de 2024 | Aprobado: 15 de julio de 2024

Resumen

El estudio de la autocorrelación espacial de la cobertura del suelo y el fenómeno El Niño Oscilación del Sur – ENSO, pone de manifiesto la influencia de este fenómeno sobre el territorio de Guatemala. Se determinó que existe una correlación espacial positiva para las tierras agrícolas en la fase de La Niña del ENSO, y de la misma manera una correlación positiva para pastizales en la fase El Niño del ENSO. El análisis del agrupamiento de LISA permite establecer regiones del territorio que comparten similitudes en los valores de correlación espacial. Los pastizales, en la región oriental del país, se extienden durante los años El Niño. Mientras las tierras agrícolas disminuyen en el mismo período. En el caso de las tierras forestales, los valores de autocorrelación y agrupamiento no son estadísticamente significantes y se muestran dispersos en las regiones tradicionalmente consideradas bosques naturales.

Palabras clave

El Niño Oscilación del Sur, ENSO, El Niño, La Niña, autocorrelación espacial, LISA, Moran I, Corredor seco de Guatemala.

Abstract

The study of the spatial autocorrelation of land cover and the El Niño Southern Oscillation – ENSO phenomenon, reveals the influence of this phenomenon on the national territory. It was determined that there is a positive spatial correlation for agricultural lands in the La Niña phase of ENSO, and in the same way a positive correlation for grasslands in the Niño phase of ENSO. The LISA cluster analysis allows to establish regions of the territory that share similarities in the spatial correlation values. Grasslands, in the eastern region of the country, extend during El Niño years, while agricultural lands decrease in the same period. In the case of forest lands, the autocorrelation and clustering values are not statistically significant and are dispersed in the regions traditionally considered natural forests.

Keywords

El Niño Southern Oscillation, ENSO, El Niño, La Niña, , spatial autocorrelation, LISA, Moran I, Guatemala's Dry Corridor.

Introducción

Los parámetros estadísticos como el índice de Morán (Moran I) o el Índice de Geary (Geary C), son ampliamente utilizados en el análisis de autocorrelación espacial (Chen, 2020). El índice de Moran I, ha sido adoptado para caracterizar los patrones espaciales en datos de cobertura del suelo (Su, et al., 2011; Das & Ghosh, 2017), o para medir perturbaciones del paisaje (Pierre, et al., 2015). Cambios en la cobertura del suelo, como la deforestación o el aumento de las áreas urbanas, pueden detectarse desde el espacio por los satélites que recogen datos constantemente de la superficie terrestre.

El período 2015-2016 se caracteriza por sus condiciones extremas en el fenómeno El Niño Oscilación del Sur (ENSO) en su fase El Niño, al presentar un índice ONI3-4, que mide la anomalía de temperatura sobre la superficie del océano Pacífico, de 1.52, un valor muy por encima del 0.5 que indica el inicio de condiciones El Niño.

Los resultados que se presentan en este artículo forman parte de una investigación que utiliza datos de teledetección del satélite Landsat 8, para proporcionar una visión integral de las transformaciones que ocurren dentro de la región conocida como el Corredor Seco de Guatemala. Las imágenes multiespectrales de alta resolución (30 m/píxel) del satélite ofrecen información fidedigna sobre el uso del suelo y los cambios en el uso del suelo a lo largo del tiempo.

Al aprovechar esta tecnología, este estudio tuvo como objetivo analizar la interacción entre los fenómenos climáticos naturales, como el fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENSO), y las actividades humanas, incluida la agricultura y la deforestación, en la configuración del paisaje del Corredor Seco de Guatemala.

Desarrollo del estudio

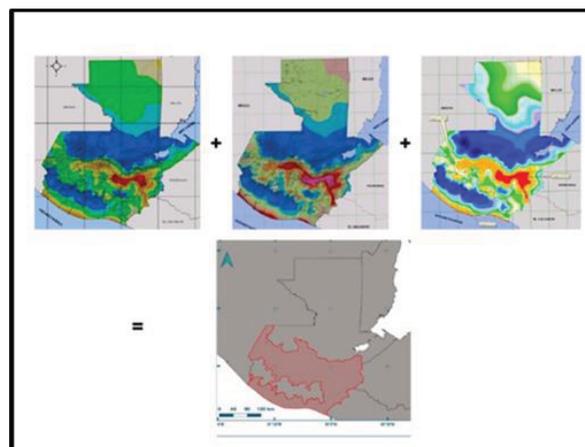
1. Delimitación del área de estudio

Para determinar el área de estudio se combinan los datos de los mapas de Amenaza de Sequía (MAGA, 2005; INSIVUMEH, 2014), el mapa de Probabilidad de Ocurrencia de Sequías

(Rainforest, 2020) y el mapa de Aridez (Pons, et al., 2018). Estos datos se conjugan con el análisis de precipitación y temperatura de Thornthwaite y se calcula el índice estandarizado de precipitación (SPI). Como resultado de esa combinación de datos y mapas se establecen los límites del área de estudio, la cual difiere considerablemente con el área definida por las entidades gubernamentales (SEGEPLAN, MAGA) como Corredor Seco de Guatemala. El área así definida comprende 199 municipios, una superficie de más de 50,000 Km² y afecta potencialmente a una población de aproximadamente 11 millones de habitantes. La Figura 1 muestra el área de estudio.

Figura 1.

Mapa del área de estudio



Nota. Mapa del área de estudio. Elaboración propia.

2. Correlación de Pearson

El índice de correlación de Pearson es una medida estadística que cuantifica la relación lineal entre dos variables cuantitativas. En este caso se calcula el índice de correlación de Pearson para cada una de las clases con el Índice del Niño Oceánico publicado en el portal de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos de América (NOAA).

Para los propósitos de la correlación espacial, se utilizan los datos de cobertura del suelo que incluyen los años 1999, 2003, 2010 obtenidos por interpretación de las bases de datos del MAGA y del período 2013 a 2022 derivados de la interpretación de las imágenes del satélite Landsat 8 y se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1.

Valores anuales de cobertura del suelo, por clase (Km²), y valor del Índice ONI

Años	T. Forestales	T. Agrícolas	Pastizales	Humedales	Infraestructuras	Otras Tierras	ONI 3.4
1999	10364.9	22009.2	6443.2	480.2	402.1	110.3	-1.23
2003	9169.1	12845.6	16878.3	1180.4	21.8	61.8	0.267
2010	8739.3	14548.8	15307.5	450.8	763.4	348	-0.43
2013	13525.5	11068.7	14471.8	203.8	602.6	77.2	-0.263
2014	8218.9	13806.6	17388.8	180.1	521.1	69.8	0.17
2015	9961.8	13904.2	15624	185.7	478.3	52.6	1.52
2016	8038.6	11510.5	19837.4	164	586.6	68.8	0.391
2017	8275.1	11248.2	19520.3	156.6	892.6	115.3	-0.143
2018	9575.1	12885.9	16960.4	168.5	564.9	51.7	0.071
2019	8689.8	13174.8	17497.2	157.8	640.5	47.6	0.475
2020	8287	12781.9	18304.1	158.4	627.9	48.7	-0.367
2021	11160.3	10559.3	17463.2	174.5	732.8	76.8	-0.725
2022	9519.1	12336	17317.3	175	750	51.9	-0.942

Nota. Elaboración propia.

3. Autocorrelación Espacial

Índice de Correlación de Moran I

El índice de Moran I, es una medida estadística que se utiliza para evaluar la autocorrelación espacial, es decir, la similitud de valores para una variable determinada en ubicaciones vecinas del espacio geográfico bajo estudio. El índice de Moran evalúa si los valores de una variable están agrupados, dispersos o distribuidos aleatoriamente en el espacio geográfico.

Se calcula mediante la fórmula:

$$I = \frac{N}{W} \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

donde:

N: número total de puntos analizados,

w_{ij}: es la matriz de pesos espaciales (contigüidad)

x_i y x_j son los valores de la variable de interés en las ubicaciones i y j respectivamente.

\bar{x} : es el promedio de la variable de interés en todos los puntos.

W: es la suma de todos pesos espaciales w_{ij}, es decir, $\sum_i \sum_j w_{ij}$.

En el presente estudio la matriz de pesos w_{ij} se calcula utilizando el criterio de contigüidad, el cual se basa en los vecinos más cercanos para explicar cómo la proximidad inmediata entre unidades afecta la relación espacial.

El criterio de contigüidad, en el análisis de correlación espacial, se refiere a cómo se determinan las relaciones o conexiones espaciales entre las diferentes unidades geográficas o puntos en el espacio. Este criterio es fundamental para definir la matriz de pesos espaciales w_{ij}, que es crucial en el cálculo de medidas de autocorrelación espacial, como el Índice de Moran.

Cuando se utiliza el método de vecinos más cercanos k=4, el criterio de contigüidad se basa en identificar las cuatro unidades geográficas o puntos más cercanos a cada unidad o punto de interés. Es decir, para cada punto o área en el análisis, se determinan sus cuatro vecinos más cercanos, y estas conexiones se utilizan para definir la matriz de pesos espaciales.

Gráfico de dispersión de Moran

El índice de Moran I, y el gráfico de dispersión de Moran son herramientas utilizadas para determinar la dependencia espacial de las

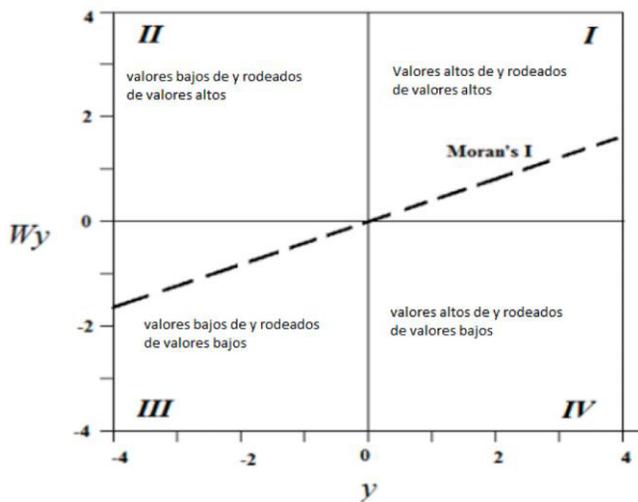
variables estudiadas. El valor-p del índice de Moran, se calcula para determinar la presencia de dependencia espacial. El eje “X” del diagrama de dispersión muestra el valor estandarizado de la variable evaluada, mientras el eje “Y” muestra el valor del rezago espacial estandarizado de la misma variable. Esto produce un diagrama dividido en 4 cuadrantes, donde:

- Cuadrante I: valores altos de “y” rodeados de valores altos.
- Cuadrante II: valores bajos de “y” rodeados de valores altos.
- Cuadrante III: valores bajos de “y” rodeados de valores bajos.
- Cuadrante IV: valores altos de “y” rodeados de valores bajos.

El gráfico de dispersión del índice de Morán se explica en la Figura 2 que se presenta a continuación.

Figura 2.

Explicación del gráfico de dispersión de Moran



Nota. La pendiente de la línea corresponde al Índice de Moran.

Agrupamiento de LISA

El agrupamiento de LISA, (Local Indicators of Spatial Association, por sus siglas en inglés), se refiere a una técnica en análisis espacial que busca identificar patrones de agrupación espacial a nivel local. En contraste con las medidas globales de autocorrelación espacial, como el Índice de Moran, los indicadores LISA permiten detectar

áreas donde existe una concentración significativa de valores similares (altos o bajos), revelando así la presencia de clusters espaciales o la existencia de patrones espaciales aleatorios.

Para cada ubicación i , se calcula un indicador LISA, que típicamente es una versión local del Índice de Moran. Este indicador local de Moran I_i se calcula de acuerdo con la expresión 2:

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{S^2} \sum_{j=1}^n w_{ij}(x_j - \bar{x}) \quad (2)$$

donde:

x_i : es el valor de la variable de interés en la ubicación i .

\bar{x} : es el valor promedio de la variable de interés en todas las ubicaciones.

S^2 : es la varianza de los valores de la variable de interés.

w_{ij} : es un elemento en la matriz de pesos espaciales que define la relación espacial entre las ubicaciones i y j .

n : es el número total de ubicaciones.

Resultados obtenidos

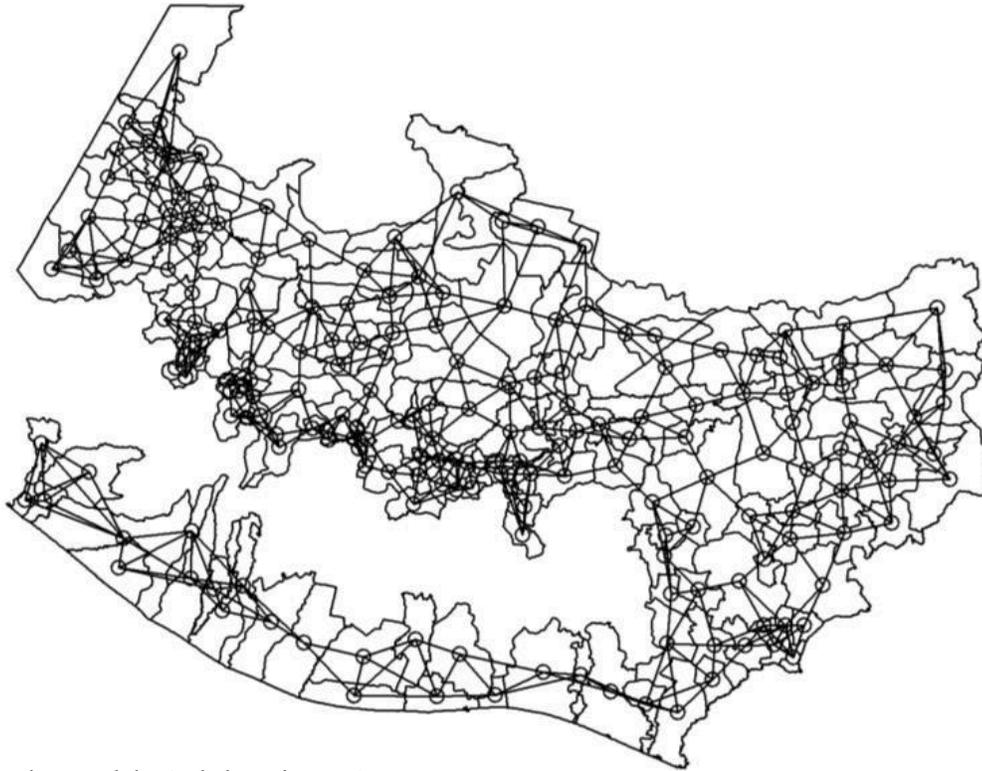
El análisis espacial de las imágenes satelitales permite establecer el tipo de cobertura del suelo a todo lo largo del área de estudio. Se generan mapas de cobertura para cada año del período estudiado, detectándose cambios en la cobertura del suelo que podrían estar relacionados con las condiciones climáticas imperantes en los años comprendidos en el período de estudio que abarca del 1999 al 2022, principalmente relacionadas con las fases extremas del Fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENSO).

Correlación Espacial

Se determina la contigüidad de los datos utilizando el método de k vecinos más cercanos (kNN) con un criterio de $k=4$. Este procedimiento brinda, al mismo tiempo, la matriz de pesos espaciales utilizada posteriormente en el cálculo del Índice de Moran y el agrupamiento de LISA (Anselin, 1995). Como resultado se observa, en la Figura 3, que existe contigüidad en los datos del área de estudio.

Figura 3.

Patrón espacial de la contigüidad de los datos

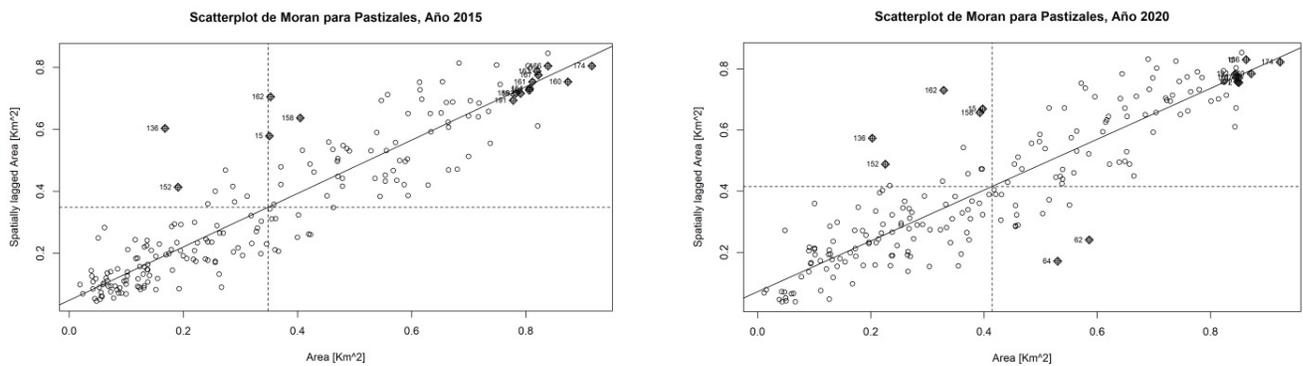


Nota. Se utiliza la metodología de k vecinos más cercanos.

Se calcula el índice de Moran I, para las clases Tierras Forestales, Tierras Agrícolas y Pastizales, y posteriormente, se construye el diagrama de dispersión correspondiente para cada clase y año del período de estudio. En la Figura 4, se presenta el diagrama de dispersión para el año 2015 (Niño) y para el año 2020 (Niña) para la cobertura del suelo perteneciente a la clase Pastizales.

Figura 4.

Diagrama de dispersión de Moran para la clase pastizales



Nota. La representación corresponde al evento Niño (2015) y el inicio de un evento Niña (2020). Elaboración propia.

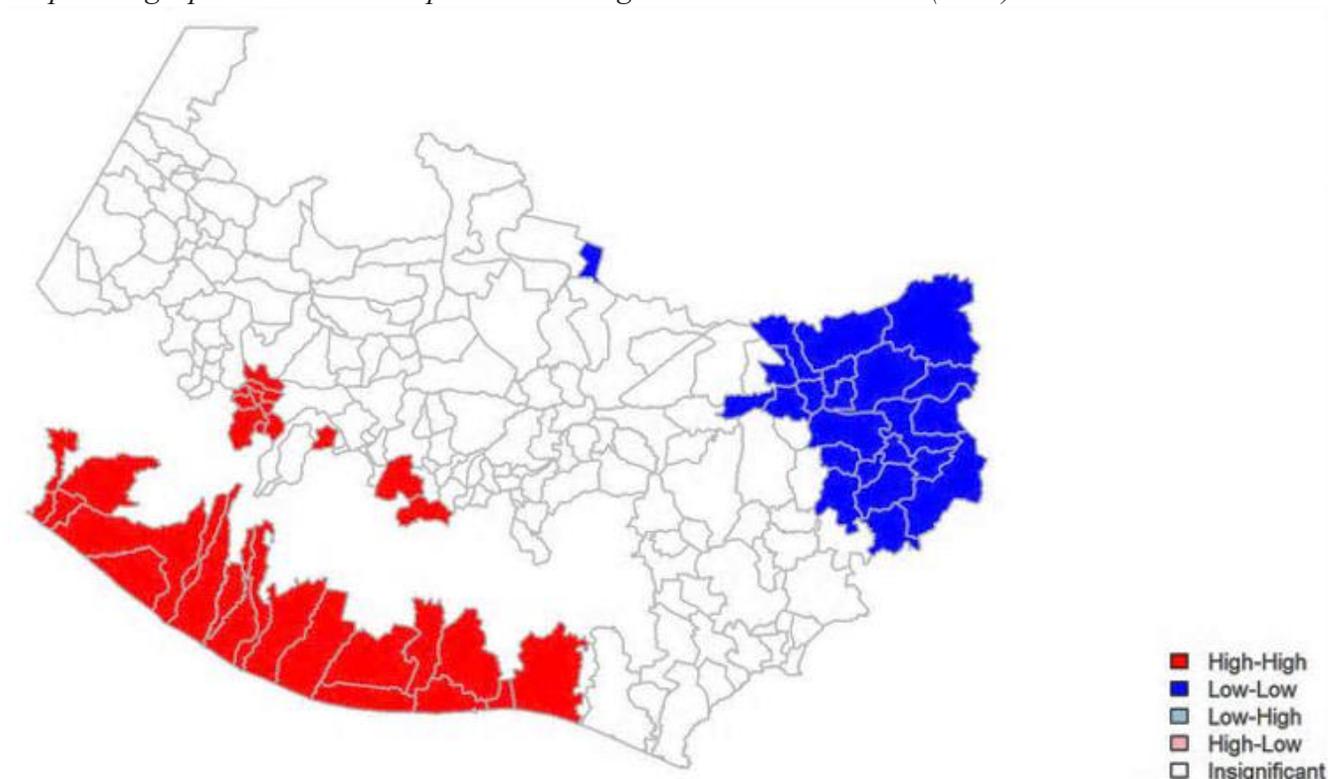
Una vez realizada la autocorrelación espacial (cálculo del índice de Moran y diagrama de dispersión), se procede a elaborar los mapas de agrupamiento de LISA. Esta metodología permite visualizar, de una mejor manera, el agrupamiento de los datos y su relación con los eventos del fenómeno ENSO.

Para el año 2015 (Niño), en la clase de Tierras

Agrícolas, se distinguen dos regiones de agrupamiento focalizado: por un lado la costa sur del país que es una región eminentemente agrícola con relaciones de Cuadrante I: valores altos de “y” rodeado de valores altos y de Cuadrante III, valores bajos de “y” rodeado de valores bajos en la región oriental del país donde abundan los pastizales. Lo cual puede observarse en la Figura 5.

Figura 5.

Mapa de agrupamiento de LISA para Tierras Agrícolas en el año 2015 (Niño)



Nota. Elaboración propia.

Para interpretar el agrupamiento de LISA, se atribuyen los puntos (en este caso los municipios) de valores altos rodeados de valores altos (en rojo), a aquellos lugares donde la correlación entre la cobertura espacial y la fase del fenómeno de El Niño tiene valores altos.

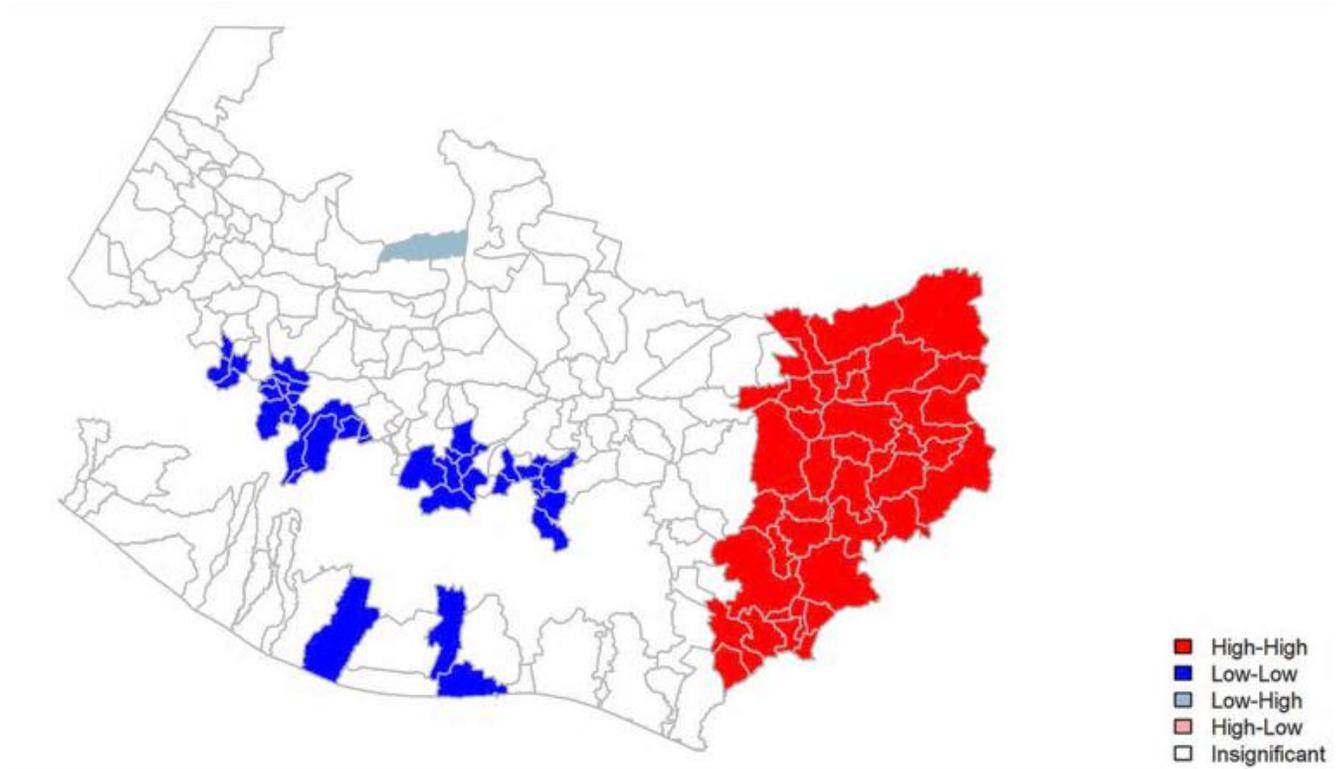
En el caso de las tierras agrícolas la correlación es negativa, pero con valores altos. El área cubierta por pastizales presenta valores bajos cuando se evalúa la cobertura de tierras agrícolas,

y sobresale por lugares con valores bajos rodeados de valores bajos.

Alternativamente, en la Figura 6, se presenta el mapa correspondiente al agrupamiento espacial de LISA para la cobertura del suelo perteneciente a la clase pastizales para el mismo año. Este gráfico muestra una correlación alta-alta para la zona oriental y baja-baja para las regiones predominantemente forestales del altiplano y las agrícolas de la costa sur.

Figura 6.

Mapa de agrupamiento de LISA para Pastizales en el año 2015 (Niño)



Nota. Elaboración propia.

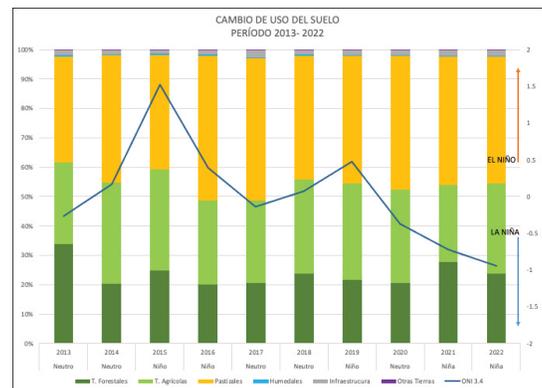
Discusión de resultados

Se identifican cambios a nivel anual en las clases de interés tomando como línea base la interpretación de la imagen satelital representativa del año 2013. La Figura 7 muestra un resumen de los datos de cobertura del suelo generados por la interpretación de las imágenes satelitales que corresponden al período 2013 a 2022.

Se atribuye el cambio, en parte, al impacto del fenómeno El Niño Oscilación del Sur – ENSO. Esto se comprueba al correlacionar las clases de cobertura del suelo con la fase correspondiente al fenómeno ENSO en cada año, como se demostró en los resultados y se muestra en la Figura 7.

Figura 7.

Influencia de la fase del fenómeno El Niño sobre la cobertura del suelo en el área de estudio



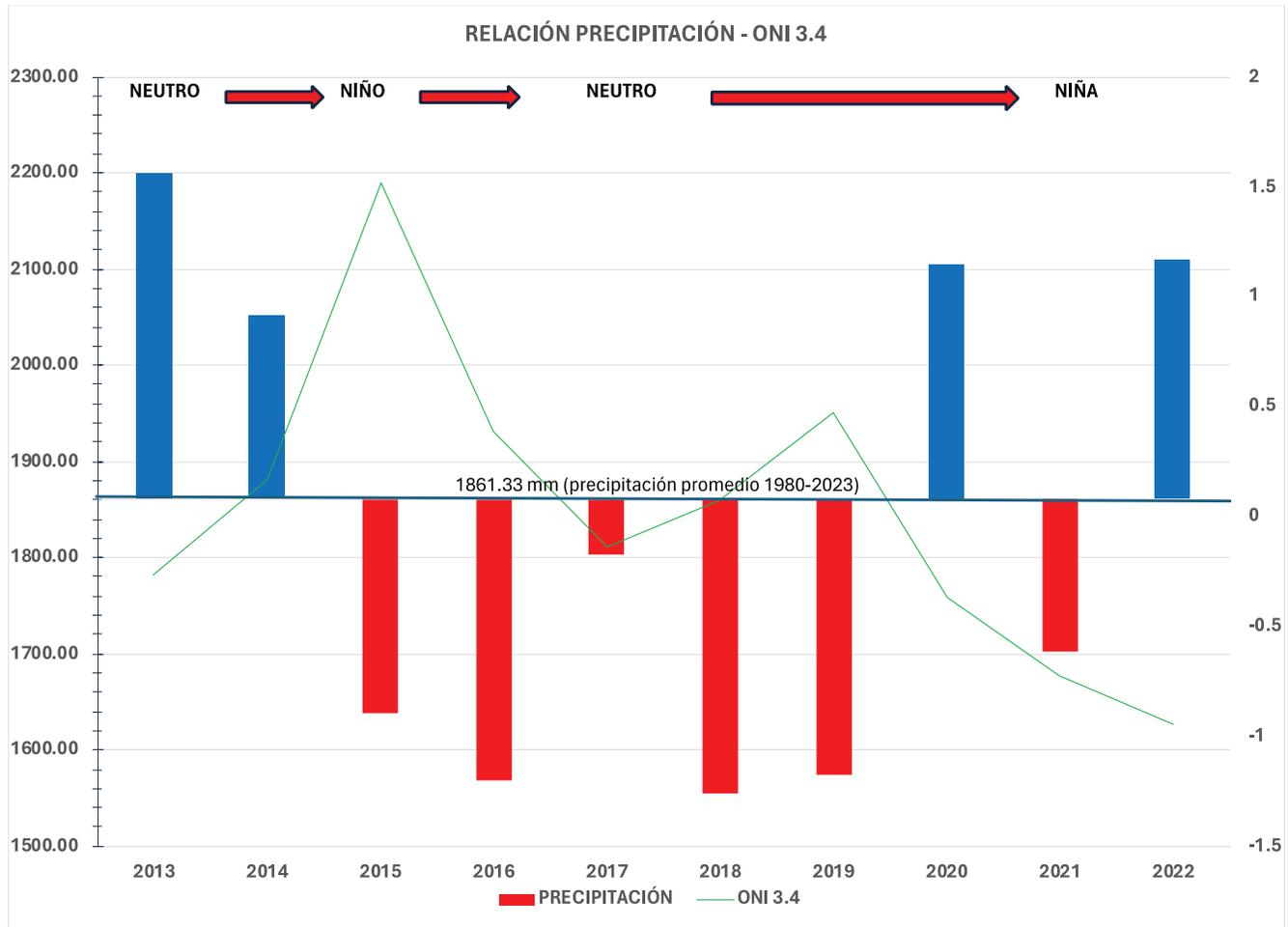
Nota. Elaboración propia.

Como se aprecia en la Figura 8, la fase del ENSO influye en los patrones de precipitación y por lo tanto en la cantidad de lluvia que recibe el país en un año determinado. De especial atención es el

período 2015 a 2019, en el cual el país recibe cantidades de lluvia por debajo del promedio establecido para el período 1980-2023, el cual es de 1861 mm de lluvia anualmente.

Figura 8.

Relación de la precipitación anual (mm) y el valor promedio anual del Índice Oceánico El Niño (ONI)



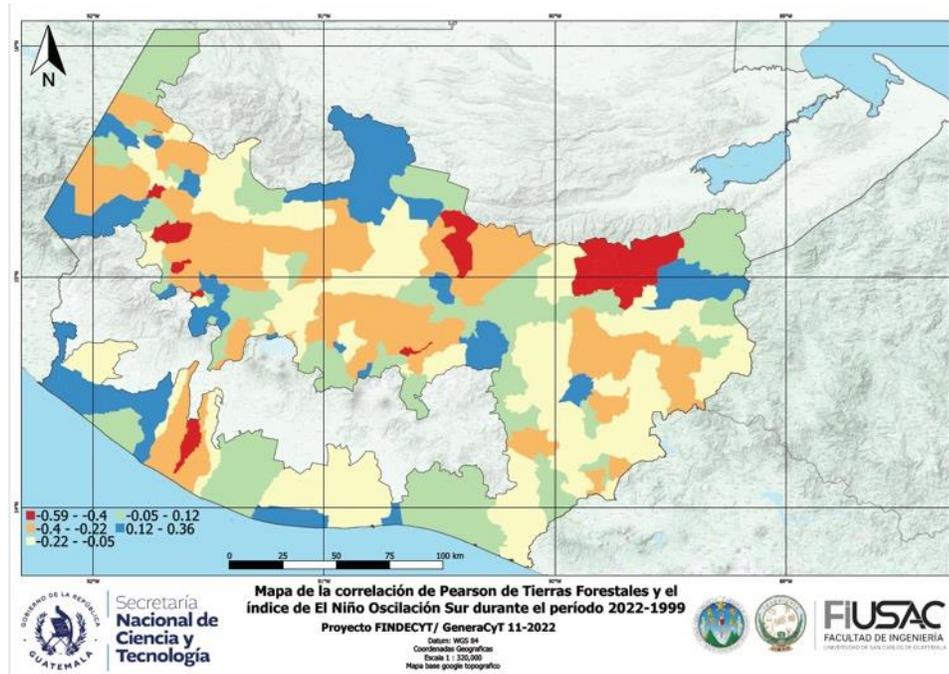
Nota. Periodo de 2013 a 2022. Elaboración propia.

Existe un grado de correlación entre la fase del ENSO (El Niño/La Niña) y las diferentes coberturas que se analizan en esta investigación. En el caso de las tierras forestales, el índice de correlación de Pearson tiene un valor negativo al considerar el período de estudio. Sin embargo, al relacionar el valor del índice con la ubicación geográfica de la distribución de tierras forestales,

ver la Figura 9, se observan regiones cercanas con valores disímiles tanto en el altiplano como en el oriente del país. Así como regiones con valores homogéneos, lo cual sugiere que existe cierto grado de correlación espacial en los datos. Ese patrón se repite, con diferente distribución espacial, para las clases Tierras Agrícolas y Pastizales.

Figura 9.

Distribución espacial de los valores del índice de Pearson



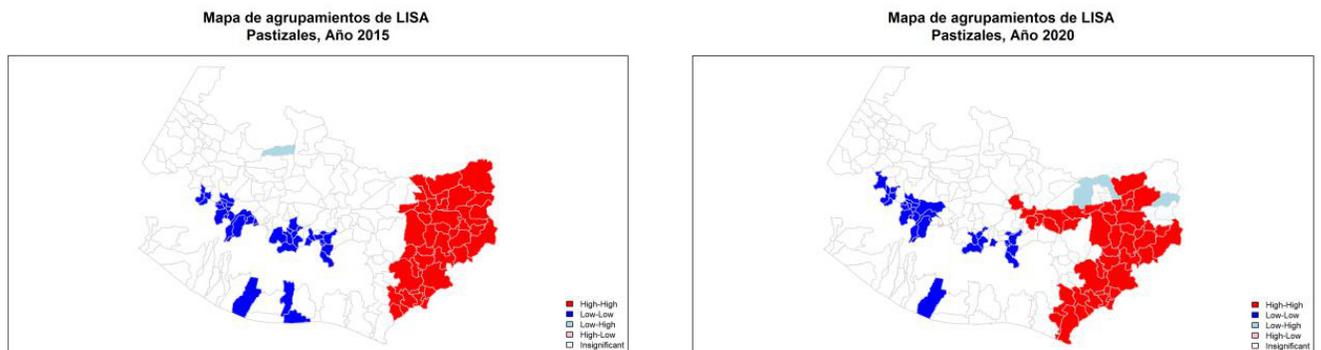
Nota. La figura muestra la correlación entre la cobertura de Tierras Forestales y la fase del fenómeno ENSO durante el período 1999-2022. Elaboración propia.

Al realizar el análisis de autocorrelación espacial, utilizando los índices de Pearson, Geary C y Getis para cada una de las clases, en cada uno de los años del período de estudio, se obtienen los gráficos de dispersión de Moran y se puede luego elaborar el mapa de agrupamiento espacial de LISA.

En la Figura 4 se muestra, como ejemplo, los gráficos de dispersión de Morán para la cobertura de pastizales durante los años 2015 (fase El Niño) y 2020 (inicio de La Niña). A continuación, en la Figura 10, se presentan los mapas que comparan la distribución del agrupamiento espacial de LISA para la cobertura de Pastizales en los años 2015 y 2020.

Figura 10.

Agrupamiento espacial de Lisa para valores del índice de correlación de Pearson



Nota. La representación muestra la relación entre la cobertura de Pastizales y la fase del ENSO correspondiente (valor ONI3.4). Elaboración propia.

Conclusiones

El Corredor Seco de Guatemala, tal y como es definido en este estudio, es una región que puede abarcar hasta el 40% del territorio nacional, expandiéndose desde el altiplano en Huehuetenango hasta la frontera con Honduras en el departamento de Chiquimula, continuando hacia la costa sur a través del graben de Ipala, hasta alcanzar la frontera con México en el departamento de San Marcos. A lo largo de este territorio viven alrededor de 11 millones de personas, según el último Censo de Población (INE, 2019).

Esta investigación representa el primer esfuerzo en el estudio de la dinámica espacial del corredor seco a nivel de Guatemala. Estudios anteriores (por ejemplo: Hidalgo, et al., 2019; Gotlieb y García Giron, 2020) se han enfocado en las causas climáticas por un lado y en la deforestación como consecuencia del avance de la frontera agrícola para explicar la extensión del corredor seco a nivel centroamericano.

De allí la importancia de este estudio y que concluye con los siguientes enunciados:

1. La superficie del Corredor Seco de Guatemala no es estática. Su dinámica responde a las variaciones climáticas tanto estacionales como regionales afectando principalmente los medios de producción en la agricultura de subsistencia.
2. El corredor seco de Guatemala, definido en función de los parámetros utilizados en este estudio, abarca 199 municipios distribuidos en 19 departamentos de la República donde habitan aproximadamente 11.19 millones de habitantes, según la proyección del INE (INE, 2018)
3. En este estudio se evalúa la influencia del fenómeno El Niño Oscilación del Sur sobre la extensión del corredor seco, estableciéndose que existe correlación espacial entre las fases del fenómeno y la extensión territorial de ciertas clases de cobertura del suelo.
4. Los pastizales presentan la mayor correlación espacial positiva con la fase Niño del

fenómeno ENSO. Mientras las tierras agrícolas manifiestan una correlación espacial negativa para la misma fase en cuestión.

Recomendaciones

1. Extender el estudio del cambio de cobertura y cambio de uso del suelo a todo el territorio nacional con el objeto de medir la dinámica forestal ante los efectos del cambio climático, en virtud que esta investigación determina que las tierras forestales presentan la mayor pérdida de cobertura en el período de estudio.
2. Utilizar los datos del análisis de correlación espacial para identificar los municipios mas afectados por el impacto de las condiciones de sequía asociados al fenómeno ENSO en su fase Niño.
3. Estudiar si existe relación entre el fenómeno de migración y los episodios de sequía que acompañan a la fase Niño del fenómeno ENSO y su posible impacto a la transición de Niño a condiciones neutras que son las más abundantes en el período estudiado.

Referencias

- Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association LISA. *Geographical Analysis*, 27(2) 93-115.
- Chen, Das, M & Ghosh, S.K. (2017). Measuring Moran's I in a Cost-Efficient manner to describe a land cover change pattern in large scale remote sensing imagery. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(6), 2631-2639. DOI:10.1109/jstars.2017.266076
- Depsky, N. and Pons, D. (2021). Meteorological droughts are projected to worsen in Central America's dry corridor throughout the 21st century. *Environmental Research Letters*, 16(1).
- Instituto Nacional de Estadística (2019). *Estimaciones y proyecciones de población a largo plazo. 1950-2050*. https://www.ine.gob.gt/ine/wp-content/uploads/2020/08/Estimaciones_y_proyecciones_de_

poblacion-1950-2050.xlsx

Instituto Nacional, de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (2014). *Mapa de Amenaza a Sequias de Guatemala*. 1:50,000, Guatemala.

Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación. (2005). *Mapa de amenaza a sequias*, 1:250,000, Guatemala.

Pierre, J.P., Abolt, C.J., and Young, M.H. (2015). Impacts from above-ground activities in the eagle ford shale plan on landscapes and hydrologic flows. *La Salle County, Texas. Environ. Manage*,55(6),1262-1275.

Rainforest (2020). *Mapa de probabilidad de ocurrencia de sequias*. Guatemala.

Rivera S., Pedraza, D. and Perez Briceño, P.M., (2019). *Climate migration in the dry corridor of Central America Integrating a gender perspective (Report)*. https://www.christianaid.org.uk/sites/default/files/2020-03/2019_migration_gender_climate_change_Central_America.pdf

Su, S., Jiang, Z., Zhang, Q., and Zhang, Y. (2011). Transformation of agricultural landscapes under rapid urbanization: A threat to sustainability in Han Jia-Hu region, China. *Appl. Geography*, 3(2), 439-449.

Información los autores

Dr. Alfredo Gálvez Sinibaldi, Escuela de Estudios de Postgrado, Facultad de Ingeniería, USAC.

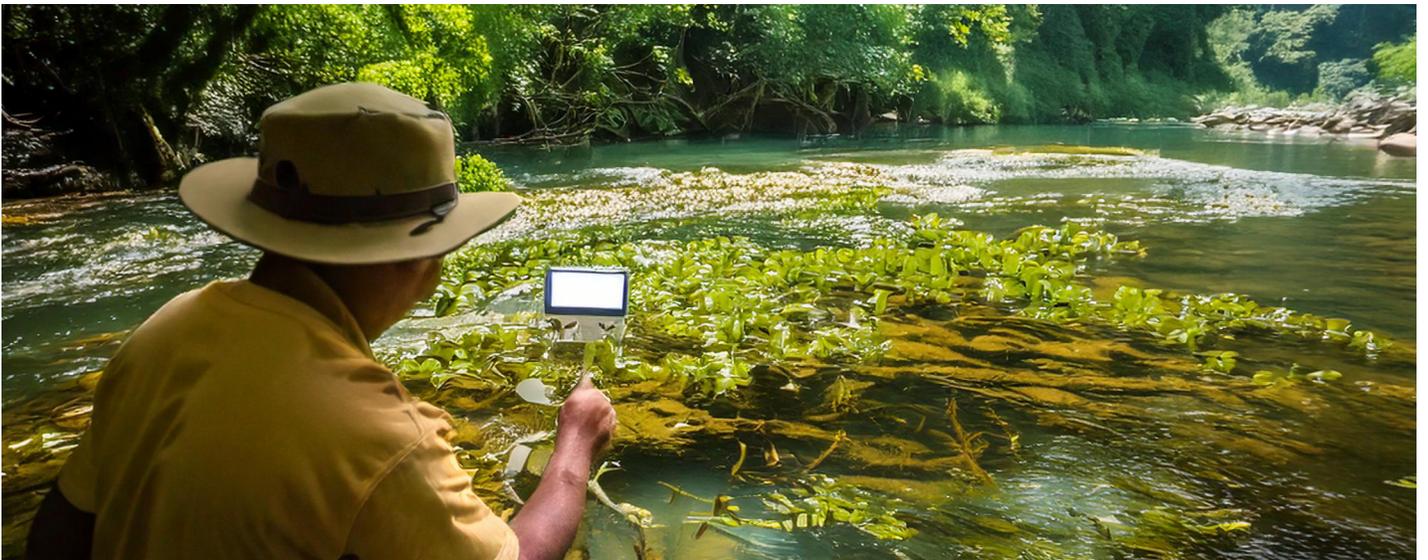
Dra. Mayra Castillo Montes, Escuela de Estudios de Postgrado, Facultad de Ingeniería, USAC.

Dr. José Luis Argueta, Escuela de Estudios de Postgrado, Facultad de Ingeniería, USAC.

M.Sc. Walter Bardales Espinoza, Escuela de Estudios de Postgrado, Facultad de Ingeniería, USAC.

Br. Eugenio Polanco Sotoj, Estudiante de Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, Facultad de Ingeniería, USAC.

PROGRAMAS DOCTORALES



ANÁLISIS DEL RESIDUO SÓLIDO RESISTENTE DERIVADO DEL VERMICOMPOSTAJE DE STEVIA REBAUDIANA

Analysis of resistant solid residue derived from vermicomposting of stevia rebaudiana

Katy Elizabeth López Calvillo

Mtr. en Ciencia y Tecnología de Alimentos
kelopez@iabrand.com

Alfredo Salvador Gálvez Sinibaldi

Dr. en Geoquímica.
1739807750101@postgrado.ingenieria.usac.edu.gt

Recibido: 15 de abril de 2024 | Revisado: 8 de junio de 2024 | Aprobado: 24 de julio de 2024

Resumen

El secuestro del carbono en el suelo surge como una medida de mitigación ante el calentamiento global. El carbono orgánico en el suelo representa el reservorio más grande de carbono en el planeta. En esta investigación se estudia el papel que los residuos sólidos resistentes, derivados de los tejidos de las plantas, pueden tener como vía para el secuestro de carbono al ser sujetos a compostaje y su posterior aplicación como enmiendas al suelo. Muestras de material compostado de Stevia rebaudiana se analizan a intervalos de 30 días, durante 120 días que tarda el proceso de vermicompostaje. El análisis permite aislar un residuo sólido resistente, el cual bajo el microscopio electrónico presenta vestigios de tejido vegetal asociado a tallos de Stevia r. El análisis gravimétrico termodiferencial del residuo confirma que el mismo se compone de celulosa, hemicelulosa y lignina. Este material resistente a la degradación química y microbiológica es un candidato ideal para el proceso de captura de carbono en el suelo.

Palabras clave

Captura de carbono, microscopía electrónica, biopolímero resistente, análisis termogravimétrico diferencial.

Abstract

Soil carbon sequestration has emerged as an important strategy for mitigating global warming. Soil organic carbon represents the largest carbon reservoir on Earth. This study investigates the potential of resistant solid waste, derived from plant tissues, to sequester carbon through composting and its subsequent application as soil amendments. During this research, samples of composted Stevia rebaudiana material were analyzed at 30-day intervals throughout a 120-day vermicomposting process. The analysis enabled the isolation of a resistant solid residue, which, under scanning electron microscopy, revealed traces of plant tissue associated with Stevia stems. Thermogravimetric analysis confirmed that this waste is composed of cellulose, hemicellulose, and lignin. Due to its resistance to chemical and microbiological degradation, this material is a promising candidate for long-term soil carbon capture.

Keywords

Carbon Capture, Scanning Electron Microscopy, Resistant Biopolymer, Differential Thermogravimetric Analysis,

Introducción

El secuestro de carbono en el suelo se reconoce cada vez más como una estrategia alternativa para mitigar el cambio climático mediante la reducción de los niveles de CO₂ atmosférico (Nair et al., 2015; Goh, 2004). Los suelos agrícolas pueden actuar como fuentes o sumideros de CO₂, dependiendo de las prácticas de manejo (Nair et al., 2015). Se estima que el potencial global de secuestro de carbono en el suelo es de entre 0.4 y 1.2 Gt C/año (Nair et al., 2015), y algunos modelos sugieren que podrían almacenarse entre 0.5 y 4 Gt C/años adicionales en los suelos y la vegetación debido a los efectos de la fertilización con CO₂ (Gifford, 1994).

Prácticas como la agricultura de conservación, la agricultura orgánica, la gestión adecuada del pastoreo y la aplicación de biocarbón han demostrado ser eficaces para aumentar el carbono orgánico del suelo (SOC) (Nair et al., 2015; Lal, 2021). Sin embargo, la acumulación de carbono en el suelo está limitada por un nivel de saturación (Goh, 2004). En suelos degradados, la restauración del SOC es crucial para avanzar en la seguridad alimentaria y climática, ofreciendo una solución agrícola a los desafíos ambientales (Lal, 2021).

Los materiales lignocelulósicos desempeñan un papel crucial en la dinámica de la materia orgánica del suelo (MOS) y en la salud del suelo. Estos materiales, derivados de las plantas y compuestos principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, constituyen la mayor reserva de carbono del suelo (Baldrian y Šnajdr, 2010). Durante la descomposición de los tejidos vegetales, la celulosa proporciona energía para las transformaciones microbianas, mientras que la lignina contribuye a la formación de humus, mejorando la retención de agua y la capacidad de intercambio iónico del suelo (Hubbe et al., 2010).

Los microorganismos del suelo, especialmente los hongos, son actores clave en la transformación de la lignocelulosa, produciendo enzimas que degradan tanto los polisacáridos como los polifenoles (Baldrian y Šnajdr, 2010).

Este proceso de descomposición está influenciado por varios factores, como la temperatura del

suelo, la humedad, el oxígeno, el contenido de nitrógeno y la calidad del sustrato de carbono (Khatoon et al., 2017).

El compostaje de materiales lignocelulósicos no solo puede resolver problemas de gestión de residuos, sino que también mejora la fertilidad del suelo (Hubbe et al., 2010). Comprender estos procesos es fundamental para la modelización del carbono en el suelo y la toma de decisiones relacionadas con el secuestro de carbono y la mitigación del cambio climático (Khatoon et al., 2017).

En esta investigación, el compostaje se presenta como una herramienta valiosa para estudiar la evolución de la materia orgánica en los suelos. Durante este proceso, la materia orgánica experimenta transformaciones significativas: mientras que la celulosa y la hemicelulosa se degradan rápidamente, la lignina, por su parte, muestra una mayor resistencia (Kalakodion et al., 2017). El proceso puede modelarse para predecir la calidad del compost y comprender la dinámica de la fracción orgánica (Zhang et al., 2012).

Los ácidos húmicos formados durante el compostaje consisten en fracciones estables y lábiles, siendo los composts más evolucionados aquellos que contienen mayores cantidades de carbono aromático recalcitrante (Adani y Spagnol, 2008). Estos estudios subrayan la complejidad de la evolución de la materia orgánica durante el compostaje y sus implicaciones para la enmienda del suelo.

Finalmente, la formación de humus durante el compostaje es un proceso clave para la captura y almacenamiento de carbono en los suelos. Sin embargo, los factores que controlan la tasa y la calidad de la formación de humus aún no se comprenden completamente. Dado el impacto potencial en la mitigación del cambio climático, este estudio busca aportar conocimientos clave sobre estos procesos.

Mediante el uso de técnicas como la microscopía electrónica y el análisis gravimétrico termodiferencial, se investigan los cambios en la estructura y composición de la materia orgánica, con el fin de aportar al conocimiento relacionado

con la evolución de la materia orgánica, desde tejido vegetal hasta carbono orgánico en el suelo.

La microscopía electrónica de barrido permite visualizar los cambios en la estructura de la materia orgánica a nivel microscópico, mientras que el análisis gravimétrico termodiferencial proporciona información crucial sobre la composición química y la estabilidad térmica de los compuestos orgánicos.

Desarrollo del estudio

Compostaje de la materia orgánica

El tejido vegetal que se utiliza en el proceso de compostaje se obtiene de los residuos de *Stevia rebaudiana* generados en el proceso de fabricación de *Stevia*, en el departamento de Zacapa, Guatemala.

Los tallos y hojas procesados de *Stevia r.* se mezclan con estiércol de ganado vacuno y ovino en iguales proporciones (1:1:1). Pilas de compostaje de 4 m de largo, 2 m de ancho y, 0.80 m de altura son elaboradas y los parámetros de temperatura y humedad se miden rutinariamente. A intervalos de 3 días y durante los primeros 15 días, el material se voltea con la ayuda de una pala, para asegurar el ataque microbiano a la materia orgánica.

Luego de los primeros 15 días, el material se transfiere a las pilas de vermicompost, en donde también es sujeto a la acción de las lombrices rojas californianas *Elserie foetida*. De esta manera se forma una comunidad de lombrices-hongos-bacterias que contribuyen al proceso de descomposición de la materia orgánica. La pila se voltea cada 3 días. El control de temperatura se lleva a cabo dos veces al día durante los primeros 21 días, y luego una vez al día hasta completar los 120 días del ciclo de compostaje.

Muestras del material vermicompostado se extraen a los 30, 60, 90 y 120 días.

Aislamiento de sustrato orgánico resistente

Aproximadamente 1 g de muestra se somete a hidrólisis en medio alcalino, utilizando NaOH 0.5N, en condiciones de reflujo durante 12 horas.

El residuo sólido resultante, se somete a hidrólisis ácida utilizando para el efecto H_2SO_4 0.5 N, en condiciones de reflujo durante 12 horas. El residuo sólido resultante se lava con agua destilada, hasta que el agua de lavado presente un pH=7. Este sólido se considera un residuo resistente (RR) derivado de la materia orgánica presente en las muestras.

Este material se somete a los análisis por microscopía electrónica de barrido y análisis termogravimétrico diferencial.

Equipo

- Microscopio electrónico de barrido.
- Microscopio SEM marca Jeol, modelo JSM-T-500.
- Operando a 10 Pa de vacío, y 15 Kv de voltaje en el filamento.
- Analizador termogravimétrico.
- Marca Mettler Toledo, modelo TGA 1 Star System. Operando con atmósfera inerte de nitrógeno. Flujo de N_2 20 ml/min.

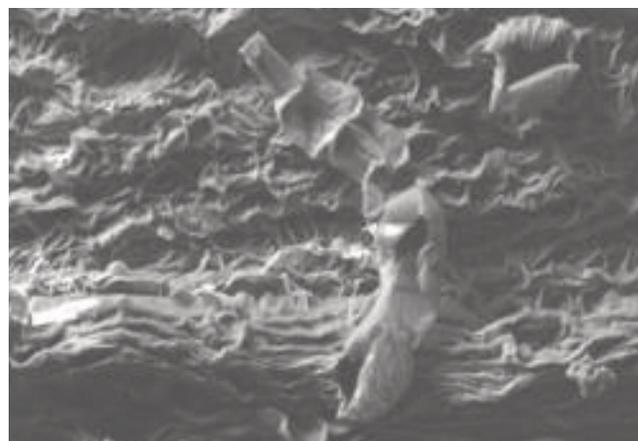
Resultados obtenidos

Microscopía electrónica de barrido

A continuación, se presentan las microfotografías que se obtienen en el análisis bajo el microscopio electrónico de barrido, del material resistente aislado de las muestras de vermicompostaje.

Figura 1.

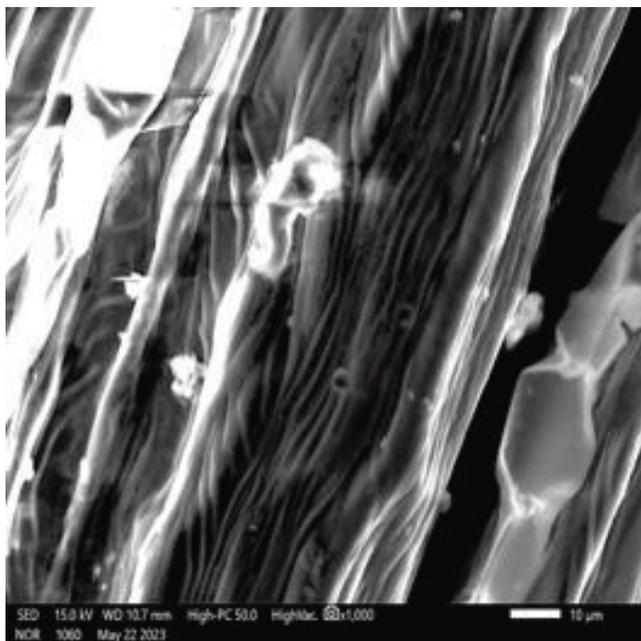
Micrografía electrónica del material original, hojas de Stevia procesada. Aumento 500 X



Nota. Elaboración propia.

Figura 2.

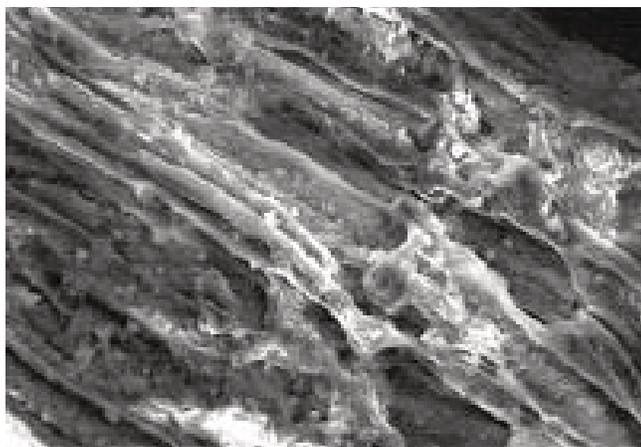
Micrografía electrónica del material original, tallo de Stevia procesado. Aumento 1,000 X



Nota. Elaboración propia.

Figura 3.

Micrografía electrónica del material resistente compostado (hojas y tallos de Stevia) durante 15 días. Aumento 1,000 X

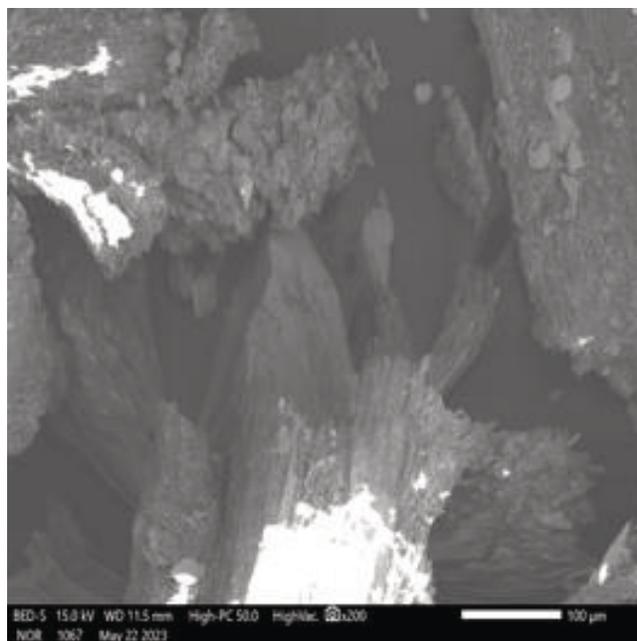


Nota. Elaboración propia.

Resalta en la Figura 3, la estructura reconocible de fragmentos de tallo, luego de 15 días de compostaje. Este material se somete luego a vermicompostaje y es muestreado sistemáticamente a los 30, 60, 90 y 120 días.

Figura 4.

Micrografía electrónica del material resistente vermi compostado (hojas y tallos de Stevia) durante 30 días. Aumento 200 X

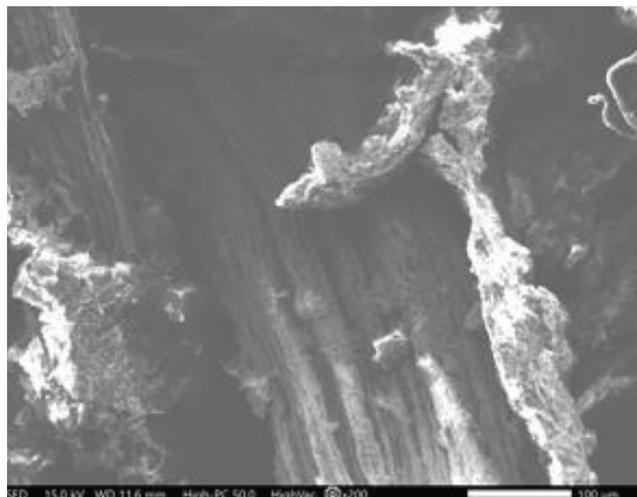


Nota. Elaboración propia.

En el centro y la parte inferior (iluminada) se puede discernir un tallo de luego de 30 días de vermicompostaje.

Figura 5.

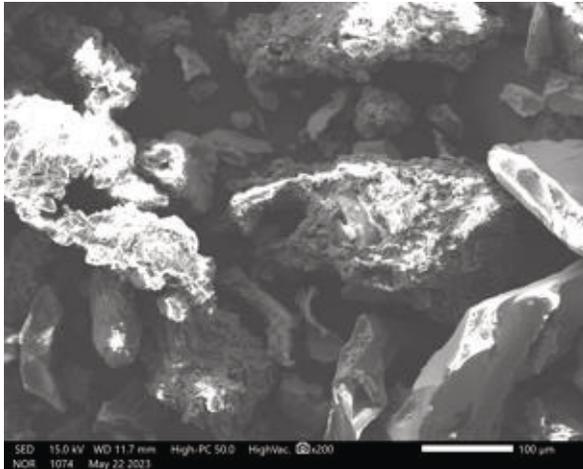
Micrografía electrónica del material resistente vermicompostado (hojas y tallos de Stevia) durante 60 días. Aumento 200 X



Nota. Elaboración propia.

Figura 6.

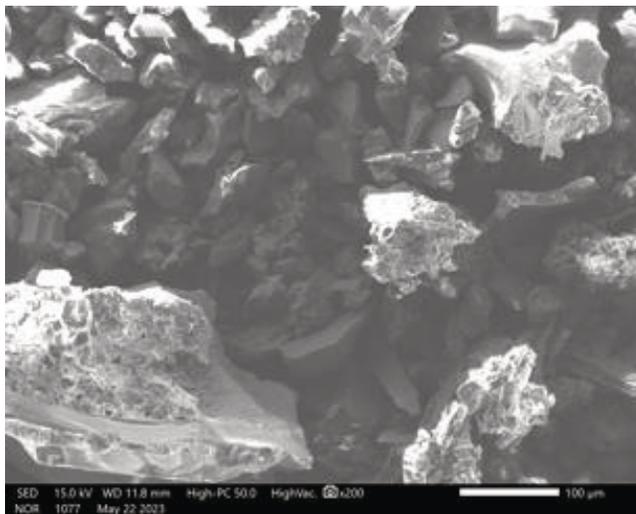
Micrografía electrónica del material resistente vermicompostado(hojas y tallos de Stevia) durante 90 días. Aumento 200 X



Nota. Elaboración propia.

Figura 7.

Micrografía electrónica del material resistente vermicompostado(hojas y tallos de Stevia) durante 120 días. Aumento 200 X



Nota. Elaboración propia.

Termogravimetría Diferencial

A continuación, se presentan los resultados del análisis gravimétrico termodiferencial. Esta técnica de análisis fisicoquímico permite

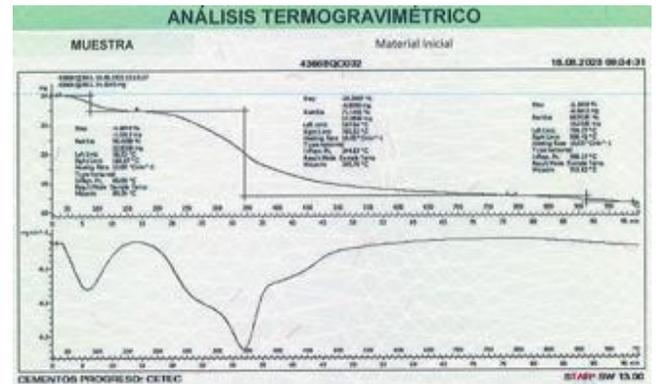
comprender el comportamiento térmico de los materiales.

El análisis permite identificar las temperaturas en las cuales ocurren cambios físicos o químicos, tales como deshidratación, decomposición, o transiciones de fase. Permite medir la cantidad de masa que se pierde en cada evento, lo cual puede servir para generar información relativa a la composición de la muestra.

Las figuras 8, 9, 10, 11 y 12, muestran los termogramas previo al proceso y al cumplir 30, 60, 90 y 120 días, respectivamente.

Figura 8.

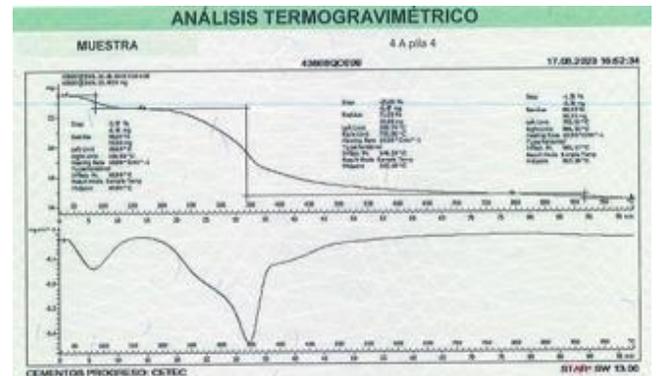
Termograma del material resistente previo al proceso de vermicompostado



Nota. Elaboración propia.

Figura 9.

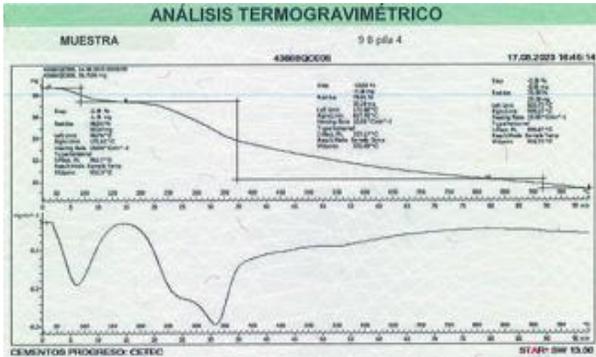
Termograma del material resistente vermicompostado durante 30 días



Nota. Elaboración propia.

Figura 10.

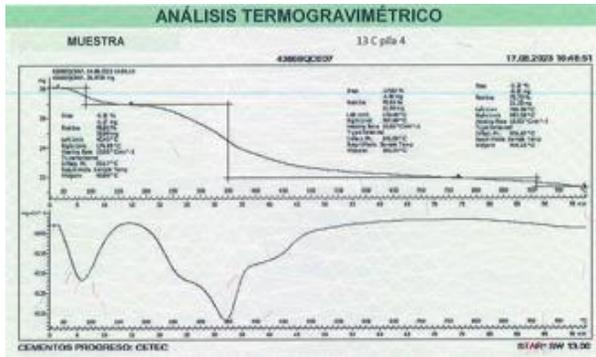
Termograma del material resistente vermicompostado durante 60 días



Nota. Elaboración propia.

Figura 11.

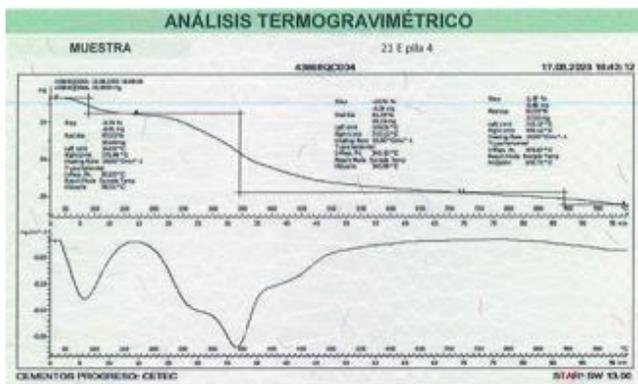
Termograma del material resistente vermicompostado durante 90 días



Nota. Elaboración propia.

Figura 12.

Termograma del material resistente vermicompostado durante 120 días



Nota. Elaboración propia.

Las imágenes obtenidas durante el análisis de microscopía electrónica de barrido muestran que a lo largo del proceso de compostaje y vermicompostaje al que son sometidos los residuos de Stevia r, existen estructuras persistentes derivadas de las hojas y tallos de la planta.

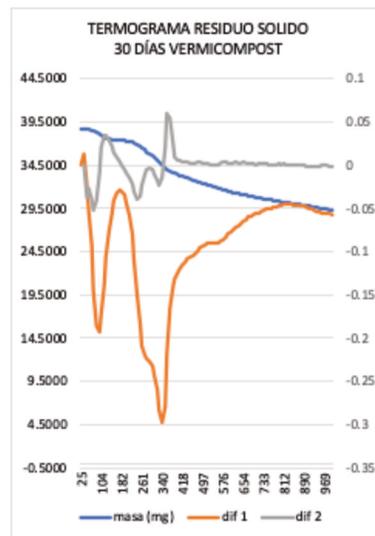
Los fragmentos que se observan se hacen cada vez mas pequeños, a medida que se alcanza la madurez del compost a los 120 días de proceso. Sin embargo, a pesar del ataque microbiano, aún se reconocen algunos rasgos estructurales que no dejan duda alguna respecto a su origen.

Este hecho es confirmado luego con el análisis termodiferencial en el cual se pueden observar cambios importantes en la estructura del residuo sólido objeto del análisis.

Debe notarse que el perfil del termograma no cambia a lo largo de los 120 días de vermicompostaje. Esto indica que el residuo sólido resistente no se altera a lo largo del proceso. La figura 13, permite hacer un análisis más detallado del termograma, al observar la pérdida de peso a lo largo del proceso. Se calculan la primera y segunda derivada de los datos de peso y con ello se pueden hacer mejores observaciones.

Figura 13.

Análisis del Termograma del material resistente de Stevia r



Nota. Elaboración propia.

El primer cambio importante sucede a una temperatura de entre 85 y 90 °C. Este cambio se atribuye a la pérdida de agua en las moléculas de celulosa. El siguiente cambio, entre 180 y 220 °C, se asocia a la descomposición pirolítica de los compuestos de hemicelulosa por pérdida de CO₂ derivado de la ruptura de los enlaces en los grupos de cetona y ésteres que pueden estar presentes y, por último, la degradación de la molécula de celulosa entre 300 y 400 °C.

Estos resultados concuerdan con la investigación realizada por Carrier, et al (2011) en la cual se propone al análisis termogravimétrico diferencial como una nueva técnica para la determinación de la composición lignocelulósica de biomasa.

Conclusiones

Esta investigación permite enunciar las siguientes conclusiones:

1. El material vegetal proveniente de las hojas y tallos de *Stevia rebaudiana*, presenta una fracción que es resistente al ataque químico (hidrólisis ácida/hidrólisis alcalina), al ataque microbiano (compostaje) y al vermicompostaje (lombriz roja: *Elserie foetida*).
2. Las observaciones al microscopio electrónico de barrido demuestran que el material resistente tiene estructuras que se identifican como derivadas de los tallos de *S. rebaudiana*.
3. El análisis termogravimétrico diferencial permite establecer que el residuo sólido resistente al compostaje, vermicompostaje e hidrólisis en medio alcalino y medio ácido, tiene una composición lignocelulósica.
4. Este material resistente, al escapar al ataque microbiano y degradación química tiene el potencial de almacenar carbono atmosférico al ser producto de la fotosíntesis.

Recomendaciones

Esta investigación es la primera en su género en el Doctorado en Cambio Climático y Sostenibilidad, por lo que a la Escuela de Estudio

de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la USAC, se recomienda:

1. Fortalecer esta línea de investigación en el programa doctoral y en la Unidad de Investigación e Innovación con personal, equipo y materiales para realizar investigaciones de alto nivel dentro de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
2. Continuar la investigación de tecnologías que permitan remediar el incremento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera como medida de mitigación al calentamiento global.

Referencias

- Baldrian, P., Šnajdr, J. (2010). Lignocellulose-Degrading Enzymes in Soils. In: Shukla, G., Varma, A. (eds) *Soil Enzymology. Soil Biology*, (22.) Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-14225-3_9
- Carrier, M., Loppinet-Serani, A., Denux, D., Lasnier, JM., Ham-Oichavant, F., Cansell, F., and Aymonier, C. (2011). *Thermogravimetric analysis as a new method to determine the lignocellulosic composition of biomass*. *Biomass and Bioenergy*, 25 (2011), 298-307.
- Gifford, R. (1994). *The global carbon cycle: a viewpoint on the missing sink*. *Australian Journal of Plant Physiology*, 21, 1-15.
- Goh, K.M., (2004) Carbon sequestration and stabilization in soils: Implications for soil productivity and climate change, *Soil Science and Plant Nutrition*, 50(4), 467-476, DOI: 10.1080/00380768.2004.10408502
- Hubbe, M.A., Nazhad, M.M., & Sánchez, C. (2010). Composting as a way to convert cellulosic biomass and organic waste into high-value soil amendments: a review. *Bioresources*, (5), 2808-2854.
- Khatoon, H., Solanki, P., Narayan, M., Tewari, L., & Rai, J.P. (2017). Role of microbes in organic carbon decomposition and maintenance of soil ecosystem.

International Journal of Chemical Studies, (5), 1648-1656.

Lal, R. (2021). Soil management for carbon sequestration. *South African Journal of Plant and Soil*, (38), 231 - 237.

Nair, R.R., Mehta, C.R., & Sharma, S. (2015). Carbon sequestration in soils-A Review. *Agricultural Reviews*, (36), 81-99.

Agradecimientos

Esta investigación se hizo posible gracias a la colaboración de Cementos Progreso a través del Centro de Investigación y Desarrollo, facilitando el uso de los equipos y el personal para llevar a cabo los análisis cuyos resultados se presentan en este artículo.

Así mismo, se debe reconocer la colaboración de Green Fabric S.A., al permitir el uso del material procesado de *Stevia rebaudiana* y facilitar las muestras del proceso de compostaje.

Información de los autores

Katy Elizabeth López Calvillo

Ingeniera en Alimentos. Facultad de Ingeniería, Centro Universitario de Sur Occidente, CONSUROC, Universidad de San Carlos de Guatemala, (2002). Maestra en Ciencia y

Tecnología de Alimentos. Universidad del Valle de Guatemala (2005). Maestra en Gestión Industrial, Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala (2007).

Maestra en Ingeniería Sanitaria, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala (2011).

Candidata a Doctor en Cambio Climático y Sostenibilidad. Escuela de Estudios de Postgrado, Facultad de Ingeniería, USAC.

Afiliación laboral: Green Fabric S.A.

Alfredo Salvador Gálvez Sinibaldi

Licenciado en Química, Escuela de Química, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, (1983).

Magister of Science, Graduate College, School of Geology & Geophysics, The University of Oklahoma, Norman, Oklahoma, United States of América (1988).

Philosophy Doctor, Graduate College, School of Geology & Geophysics, The University of Oklahoma, Norman, Oklahoma, United States of América (1993).

Afiliación laboral: Escuela de Estudios de Postgrado, Facultad de Ingeniería, USAC.

BIOMONITOREO UTILIZANDO MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EN LA PARTE ALTA, MEDIA Y BAJA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO COTÓN, BAJA VERAPAZ, GUATEMALA.

Biomonitoring using aquatic macroinvertebrates in the upper, middle and lower part of the Cotón river subbasin, Baja Verapaz, Guatemala.

Wagner Guillermo Alonzo De León

Mtr. en Producción y Uso de plantas Medicinales
wagneralonzo@yahoo.com

Pedro Julio García Chacón

Dr. en Recursos Naturales para el Desarrollo
invespj@gmail.com

Norma Edith Gil Rodas

Mtr. en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente
normadecastillo1965@yahoo.com

Recibido: 6 de febrero de 2024 | Revisado: 8 de marzo de 2024 | Aprobado: 20 de julio de 2024

Resumen

Se evalúa la composición de macroinvertebrados acuáticos y la calidad del agua en la subcuenca del río Cotón, Baja Verapaz; se realizan muestreos en la parte baja, media y alta durante la época seca y lluviosa del año 2023. Utilizando diversos índices se calcula la riqueza específica, diversidad, equitatividad y dominancia de las comunidades de macroinvertebrados. Los resultados demuestran que, las comunidades presentan alta riqueza de especies, diversidad media, baja uniformidad y dominancia baja a moderada. Durante la época seca la calidad del agua es buena en la parte baja y media de la subcuenca, y regular en la parte alta. Durante la época lluviosa la calidad del agua en la parte baja es muy buena, en la parte media es buena y mala en la parte alta. Esto es importante en la búsqueda de una adecuada protección y gestión sostenible de los ecosistemas acuáticos; además, pueden ser utilizados como un sistema de alerta temprana ante cambios ambientales y el cambio climático.

Palabras clave

Biomonitoreo, índice biótico EPT, calidad del agua, macroinvertebrados.

Abstract

To evaluate the composition of aquatic macroinvertebrates and water quality in the sub-basin of the Cotón River, Baja Verapaz, sampling was carried out in the lower, middle and upper reaches during the dry and rainy seasons of the year 2023. The specific richness, diversity, equitability and dominance of macroinvertebrate communities are calculated using various indices. The EPT biotic index is used to determine water quality. The results of this study show that the communities have high species richness, medium diversity, low evenness and low to moderate dominance. During the dry season, water quality is good in the lower and middle part of the sub-basin, being regular in the upper part. On the other hand, during the rainy season, water quality in the lower part is very good and good, in the middle part it is good and bad in the upper part. These data are important in the search for adequate protection and sustainable management of aquatic ecosystems and can also be used as an early warning system for environmental changes and climate change.

Keywords

Biomonitoring, biotic index EPT, water quality, macroinvertebrates.

Introducción

Debido a su alta diversidad biológica, los ecosistemas acuícolas son considerados uno de los recursos naturales renovables más importantes para la vida (Meza et al., 2012). Sin embargo, las actividades antropogénicas, como la agricultura, la ganadería y otras, generan impactos negativos sobre estos. Para evaluar la calidad de los ecosistemas acuícolas se suele utilizar mayormente parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, pero estos tienen la limitante que representan únicamente la condición del agua en el momento del muestreo (Springer, 2010).

A diferencia de los análisis fisicoquímicos, el uso de macroinvertebrados muestra tendencias a través del tiempo, por lo cual lo convierte en una herramienta útil, sencilla, rápida y de bajo costo que lleva años empleándose (Roldán, 1996; Springer, 2010 y Rosales y Sánchez, 2013).

El biomonitoreo consiste en la evaluación de perturbaciones en el medio ambiente utilizando diversos organismos, el objetivo es utilizar dicha información en el control de la calidad del ecosistema (Sumudumali y Jayawardana, 2021).

Por ello, se busca determinar la calidad del agua en la subcuenca del río Cotón, ubicada en la jurisdicción de los municipios de Granados y Cubulco, en el departamento de Baja Verapaz (IGN, 1976).

Se recolectan macroinvertebrados acuáticos que posteriormente son contados e identificados mediante estereomicroscopio y claves taxonómicas; por último, se aplica el índice biótico EPT para determinar la calidad del agua (Carrera y Fierro, 2001; López Mendoza et al., 2019).

Este índice se basa en la presencia y abundancia de tres órdenes de insectos acuáticos: Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera. Estos órdenes son sensibles a la contaminación del agua y su presencia suele indicar buena calidad del agua.

El propósito de esta investigación es contribuir al reconocimiento de la biodiversidad acuática de la subcuenca del río Cotón y evaluar la calidad ambiental mediante el biomonitoreo. El conocimiento generado es útil para plantear estrategias efectivas en la utilización y conservación del recurso hídrico.

Desarrollo del estudio

El alcance del estudio es descriptivo y explicativo, en el cual se utilizan las comunidades de macroinvertebrados para determinar la calidad del agua. El diseño es no experimental, debido a que las comunidades de macroinvertebrados se analizan en su estado original, sin ningún tipo de manipulación.

La población está conformada por las comunidades de macroinvertebrados de la subcuenca del río Cotón, se utiliza un muestreo del tipo estratificado aleatorio, en el que cada zona de vida representa un estrato. Se toman cinco puntos de muestreo, los cuales se seleccionan a lo largo de la cuenca tomando en cuenta la representatividad del área y que sean accesibles para la toma de muestras.

Con base en una visita de campo consistente en un recorrido previo en toda la subcuenca, se recolecta información del área de estudio la cual se complementa con mapas hidrográficos y de zonas de vida.

La Figura 1 muestra la delimitación de la subcuenca del río Cotón, y los puntos de muestreo seleccionados como referencia para el estudio.

Para la recolección de muestras de macroinvertebrados acuáticos se emplea la metodología estandarizada de muestreo multihabitat, la cual utiliza la red "D" propuesta por Semeño et al., (2010). En cada sitio de muestreo se toman 3 submuestras.

Cálculo del índice de Margalef

En la Ecuación 1 se presenta la expresión que se aplica para el cálculo de riqueza específica de Margalef (1958, p 50):

$$D_{MG} = \frac{(S - 1)}{\ln N} \quad (1)$$

donde:

S : número de especies.

$\ln N$: logaritmo natural de la abundancia.

Un índice con valores menores a 2 indica una baja riqueza de especies, por el contrario, valores cercanos a 5 o superiores denotan una riqueza de especies alta (Mora-Donjuán et al., 2017).

Cálculo del Índice de Shannon-Weaver

En la Ecuación 2 se describe el índice de Shannon & Weaver (1949), los autores indican que este índice “corresponde a la sumatoria de la proporción de la especie i multiplicado por el logaritmo natural de esta proporción” (p.14), se define como:

$$H' = -\sum_{i=1}^n \frac{n_i}{n} \ln \frac{n_i}{n} \quad (2)$$

donde:

n_i : número de individuos de la especie i .

n : número de individuos totales.

El índice de Shannon-Weaver, varía entre 1 y 5, valores menores de 2 se interpretan como diversidad baja, de 2 a 3.5 media y más de 3.5 como alta (Margalef, 1972).

Cálculo del índice de Pielou

En la Ecuación 3 se describe el índice de equidad de Pielou (1969), que “corresponde a la proporción entre el índice de diversidad de Shannon H' y la diversidad máxima (H_{max}), que existiría si todas las especies estuvieran en una condición de igualdad de abundancia” (p.75), está definido como:

$$J' = \frac{H'}{H_{max}} \quad (3)$$

donde:

H' : diversidad de Shannon.

H : $\ln S$; S : corresponde al número de especies.

El índice de Pielou varía entre 0 y 1, el 0 indica la ausencia de uniformidad y el número 1 señala que todas las especies son igualmente abundantes (Martella et al., 2012).

Cálculo del índice de Simpson

En la Ecuación 4 se define el índice de dominancia de Simpson (1949) el cual representa “la probabilidad de que dos individuos escogidos al azar pertenezcan a la misma especie” (p.688).

$$D = 1 - \sum_{i=1}^n \frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)} \quad (4)$$

donde:

n_i : número de individuos de la especie i .

N : número de individuos totales.

Cuánto más alta es esta probabilidad, menos diversa es la comunidad. Un índice con valores más cercanos a 1 indican menor diversidad del hábitat, es decir, mayor es la probabilidad de dominancia de una especie. Mientras tanto, valores más cercanos a 0 indican mayor diversidad del hábitat (Martínez-Arévalo, 2022).

Cálculo del Índice EPT

El índice EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera) se refiere al número de individuos de dichos órdenes presentes en la muestra. Se calcula dividiendo el número de individuos de los órdenes Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera por el número total de individuos colectados (Galindo et al., 2017).

Resultados obtenidos

a. Composición espacial y temporal

El río Cotón presenta diferencia en sus características dependiendo de la época en la que se analice. Así, el ancho y la profundidad aumentan durante la época lluviosa comprendida entre los meses de mayo a octubre. En la época seca se recolectan un total de 5,289 macroinvertebrados mientras que en la época lluviosa el total es de 5,039.

La fauna acuática está representada por 14 órdenes y 49 familias durante la época seca. Siendo el orden Ephemeroptera el más abundante con un 31 % del total de organismos recolectados. Seguido de Trichoptera con un 26 %; luego Diptera con un 21 %, Coleoptera con un 16 %, Plecoptera con un 3 %, Hemiptera y Odonata con un 1 % para un total de 99 %, el restante 1 % lo conforman Blattodea, Oligochaeta, Lepidoptera, Megaloptera, Neophora, Sphaeriidae y Trombidiformes.

Las familias mejor representadas son Leptohiphidae-Ephemeroptera con 805 individuos, Elmidae-Coleoptera con 753, Chironomidae-Diptera con 756 y por último Hydroptilidae 609 y Hydropsychidae 537 ambas familias del género Trichoptera para un 65 %.

Por otra parte, durante la época lluviosa están presentes 14 órdenes y 44 familias. El orden más abundante es Ephemeroptera con un 38 %, luego Trichoptera con 28.8 %, Coleoptera con 14.9 % y Diptera con un 12.5%, Odonata con 1.8 %, Plecoptera con 1.6 % y Hemiptera con 1.1% para un total de 98.7%, el restante 1.3% lo conforman Basommatophora, Collembola, Lepidoptera, Megaloptera, Neophora, Sphaeriidae y Trombidiformes.

Las familias más representativas son Leptohiphidae-Ephemeroptera con 1138 individuos, Hydroptilidae-Trichoptera con 898, Elmidae-Coleoptera con 722 y Baetidae-Ephemeroptera con 674.

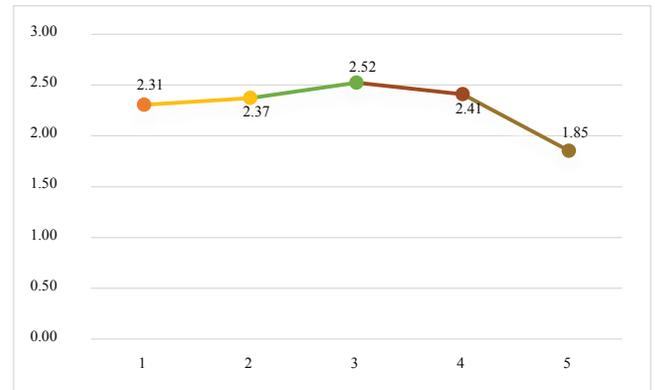
Diversidad

En cuanto al índice de Shannon-Weaver, la Figura 2 muestra que los valores están en el rango de

2.31 bits/ind en el punto de muestreo 1 (parte baja), 2.5 bits/ind en el punto de muestreo 3 (parte media) y 1.8 bits/ind en el punto de muestreo 5 (parte alta). Esto sugiere un valor de moderado a bajo con respecto a la diversidad de especies.

Figura 2.

Índice de diversidad Shannon-Weaver



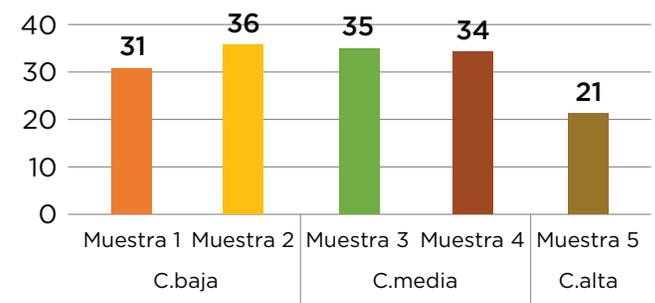
Nota. Elaboración propia.

Riqueza

En la Figura 3 se observa el número de familias recolectadas por sitio de muestreo, la muestra dos que corresponde a la parte baja, es donde se identifica mayor riqueza, hay 36 familias de las 49 en total. Seguida de la muestra tres y cuatro que corresponden a la parte media con 35 y 34 familias presentes.

Figura 3.

Riqueza taxonómica por sitio de muestreo

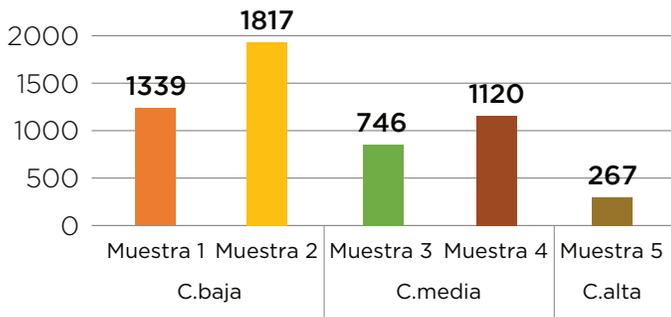


Nota. Elaboración propia.

En la Figura 4 se aprecian los valores para el índice de riqueza Margalef, en la parte baja de la cuenca el valor obtenido es de 4.17, en la parte media se registra el valor mayor con 5.14 y en la parte alta el menor valor con 3.58. Los valores indican que la riqueza de especies oscila de moderada a alta existiendo una gran variedad de especies.

Figura 4.

Índice de riqueza Margalef



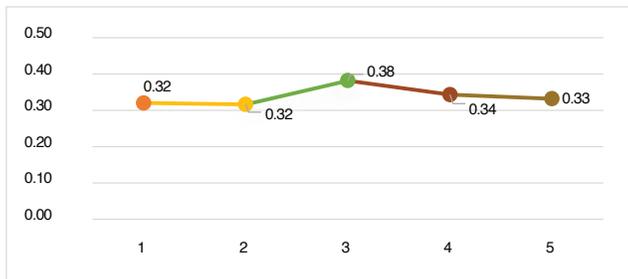
Nota. Elaboración propia.

Abundancia

En la Figura 5 se observa la abundancia de individuos recolectados por sitio de muestreo. La parte baja es la que mayor cantidad de individuos aporta con 3,156. Seguidamente, la parte media con 1,886 y, por último, la parte alta con 267.

Figura 5.

Abundancia por sitio de muestreo



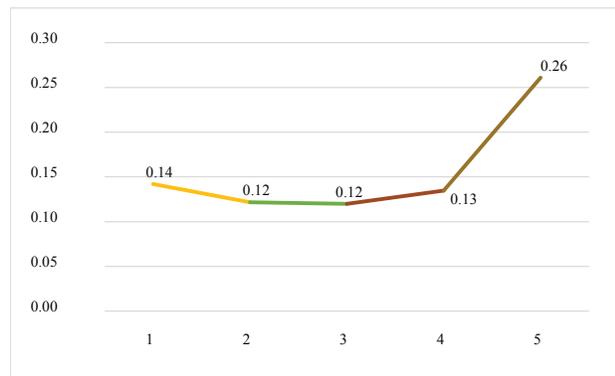
Nota. Elaboración propia.

Equitatividad

En la Figura 6 se aprecian los valores del índice de Pielou, que oscilan entre 0.32 en la parte baja, 0.38 en la parte media y 0.33 en la parte alta. Estos valores indican un bajo nivel de uniformidad, las comunidades de macroinvertebrados están dominadas por unas pocas especies y las otras se encuentran en menor abundancia.

Figura 6.

Índice de uniformidad de Pielou

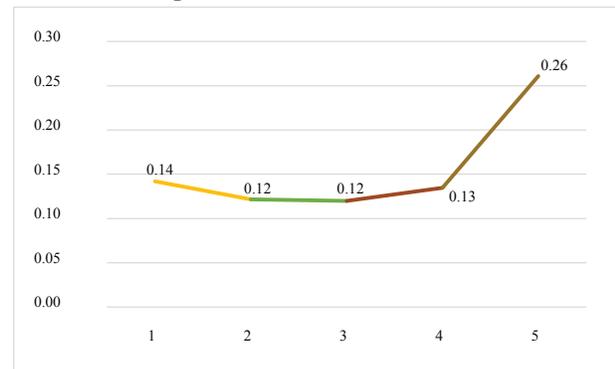


Nota. Elaboración propia.

En la Figura 7 se aprecian los valores para el índice de Simpson, estos varían entre 0.12 y 0.14 en la parte baja y media lo cual indica una alta diversidad con pocas especies dominantes. Mientras tanto, la parte alta presenta un valor de 0.26 lo cual refleja una alta diversidad, pero con cierta dominancia de algunas especies.

Figura 7.

Dominancia por sitio de muestreo



Nota. Elaboración propia.

b. Calidad del agua

Índice biótico EPT

La calidad del agua es similar en la época seca y lluviosa. Durante la época seca, en la parte baja y media de la cuenca el agua tiene una calidad buena mientras que en la parte alta es regular. Por el contrario, en la época lluviosa en la parte baja se registra una calidad muy buena para la muestra 1 y buena para la 2. La parte media reporta una calidad de agua buena y en la parte alta, la calidad del agua es mala.

Tabla 1.

Índice calidad de agua EPT época seca

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Ephemeroptera	311	704	207	376	55
Plecoptera	54	45	26	26	2
Trichoptera	422	542	177	217	42
Abundancia	787	1291	410	619	99
% EPT	58.8	71.1	55.0	55.3	37.1
	Buena	Buena	Buena	Buena	Regular

Nota. Elaboración propia.

Tabla 2.

Índice calidad de agua EPT época lluviosa

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Ephemeroptera	579	354	405	565	10
Plecoptera	19	23	29	9	
Trichoptera	858	219	249	123	4
Abundancia	1456	596	683	697	14
% EPT	80	60	67	70	7
	Muy buena	Buena	Buena	Buena	Mala

Nota. Elaboración propia.

Tabla 3.

Valores del índice EPT

Índice EPT (%)	Calidad de Agua
75 - 100	Muy buena
50 - 74	Buena
25 - 45	Regular
0 - 24	Mala

Nota. Adaptado de Carrera y Fierro (2001), p. 43.

Discusión de resultados

El índice de Shannon-Weaver oscila entre valores de 1.85 a 2.52 bits/ind lo cual indica que son valores medios y compagina con lo mencionado por Nuñez y Fragoso-Castilla (2019). La riqueza de Margalef presenta valores entre 3.58 a 5.14, lo que indica una riqueza de moderada a alta, estos valores son superiores a los reportados por Purihuamán-Leonardo y Sánchez-Bustamante (2022), cuyo estudio reporta valores de riqueza media de 2.30. Los valores del índice de Simpson varían entre 0.12 y 0.26, lo cual indica que la parte baja y media del río presenta baja dominancia (Nuñez y Fragoso-Castilla, (2019).

Además, la riqueza y abundancia de taxones disminuye conforme se aumenta el gradiente de altitud de la parte baja de la cuenca (1095 msnm) hacia la parte alta (1928 msnm), esto se debe a que la altitud juega un papel importante en el desarrollo de los ciclos de las especies. Estudios han demostrado que las comunidades de macroinvertebrados en lagos alpinos a lo largo de un gradiente altitudinal, tienden a tener una menor riqueza de especies en altitudes más altas debido a condiciones ambientales más extremas, como temperaturas del agua más frías y temporadas de crecimiento más cortas (Arana et al., 2021).

Existe poca diferencia entre los valores de la época seca y la lluviosa, la diferencia entre los valores puede deberse principalmente a que durante la época lluviosa parte de los macroinvertebrados son arrastrados por las corrientes, lo que deja menor cantidad de individuos por colectar (González-Tuta et al., 2023).

Otra situación por tomar en cuenta es la pendiente y el ancho del río, en la parte baja y media, la anchura del río y su pendiente es menor que en la parte alta. Al existir una mayor pendiente y disminuir el ancho del río en la parte alta, ocasiona que los macroinvertebrados tengan baja adhesión y sean fácilmente arrastrados por el río.

Conclusiones

1. Las comunidades de macroinvertebrados evaluadas en el río Cotón presentan una

diversidad de especies de moderada a baja; en cuanto a la riqueza de especies, estas se encuentran en valores de moderada a alta. Además, presentan bajos niveles de uniformidad. Por último, las comunidades presentan valores bajos de dominancia lo cual sugiere una buena mezcla de especies en la comunidad.

2. El río Cotón presenta una calidad de agua buena y muy buena en la parte baja y media de la subcuenca, pero en la parte alta la calidad de agua varía de regular a mala dependiendo de la estación en la que se analice. Estos resultados proveen información importante y se considera como un complemento a los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos para el análisis de un cuerpo de agua.

Recomendaciones

1. Realizar estudios para explicar cómo varían las comunidades de macroinvertebrados según la altitud, ya que este aspecto es importante para evaluar la salud de los ecosistemas de agua dulce y para desarrollar estrategias efectivas de conservación y manejo.

Referencias

- Arana, J., Tolentino, D., Álvarez, Miranda, R., Tobes, I., Araujo-Flores, J., Carrasco-Badajoz, C., & Rayme-Chalco, C. (2021). Distribución altitudinal de macroinvertebrados acuáticos y su relación con las variables ambientales en un sistema fluvial amazónico (Perú). *Revista De La Academia Colombiana De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales*, 45(177), 1097–1112.
- Carrera, C. y Fierro, K. (2001). *Manual de monitoreo los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. Fundación EcoCiencia. Quito. Ecuador.
- IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1976. *Mapa topográfico de la república de Guatemala; hoja cartográfica Granados 2060 I. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.*
- González-Tuta, A.L., Gil-Padilla, L.N, & Pinilla-Agudelo, G.A. (2023). Evaluación del estado ecológico del río Ánimas mediante índices multimétricos en Cerinza, Boyacá. *Acta Biológica Colombiana*, 28(2), 239-250.
- López Mendoza, Santiago; Huertas Pineda, David; Jaramillo Londoño, Ángela María; Calderón Rivera, Dayam Soret; Díaz Arévalo, José Luis Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua del río Teusacá (Cundinamarca, Colombia) *Ingeniería y Desarrollo*, 37(2), 2019.
- Margalef, D.R. 1958. *Information Theory in Ecology. General Systematics*, 3: 36-71.
- Margalef, R. 1972. Homage to Evelyn Hutchinson, or why is there an upper limit to diversity. In: *Growth by Intussusception. Ecological Essays in honor of G.E. Hutchinson*. E.S. Deevey ed. *Trans. Connecticut Acad. Arts & Sci.*, 44: 211-235.
- Martella, M. B., Trumper, E. V, Bellis, L. M., Renison, D., Giordano, P. F., Bazzano, G., & Gleiser, R. M. (2012). Manual de ecología: Evaluación de la biodiversidad esfuerzo de muestreo. *In Reduca (Biología)*, 5(1), 71–115.
- Martínez-Arévalo, J. V. (2022). El cálculo de diversidad biológica. Parte I: Diversidad biológica alfa. *Revista Tikalia*. 41(1), 48-62.
- Meza, A.; Rubio, J.; Dias, L. y Walteros, J. (2012). *Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná. Caldasia*. 34(2), 443-456.
- Mora-Donjuán, C. A., Burbano-Vargas, O. N., Méndez-Osorio, C., & Castro-Rojas, D. F. (2017). Evaluación de la biodiversidad y caracterización estructural de un Bosque de Encino (*Quercus L.*) en la Sierra Madre del Sur, México. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 14(35), 68–75.

- Nuñez, J. & Fragoso-Castilla, P. (2019). Uso de Macroinvertebrados Acuáticos como Bioindicadores de Contaminación del Agua de la Ciénaga Mata de Palma (Colombia). *Información tecnológica*, (30). 319-330.
- Pielou, E.C. 1969. *An Introduction to Mathematical Ecology*. Wiley-Interscience. New York. 286 pp.
- Purihuamán-Leonardo, C. N., & Sánchez-Bustamante, E. F. (2022). Comunidades de macroinvertebrados bentónicos como bioindicador de calidad de agua en un sector del río Chotano, Perú. *Revista Tecnología En Marcha*, 35(3), 117–127.
- Shannon, C. E. y W. Weaver. 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. University Illinois Press, Urbana, IL.
- Simpson, E.H. 1949. Measurement of Diversity. *Nature*, 163: 688.
- Roldán, G. (1996). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos* del Departamento de Antioquia. Fondo Fen Colombia/Colciencias/Universidad de Antioquia. p. 234
- Rosales, LE & Sánchez, MS 2013. Uso de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad del agua del río Palacagüina, Norte de Nicaragua. *Revista Científica de FAREM-Estelí. Medio Ambiente, tecnología y desarrollo*, 8:66-75.
- Springer, M. (2010). Capítulo 3: Biomonitorio acuático. *Rev. Biol. Trop.* 58(4), 53-59
- Sumudumali, R.G.I., Jayawardana, J.M.C.K. A Review of Biological Monitoring of Aquatic Ecosystems Approaches: with Special Reference to Macroinvertebrates and Pesticide Pollution. *Environmental Management* 67, 263–276 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00267-020-01423-0>

Información de los autores

Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía, Wagner Guillermo Alonzo De León, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2013. Maestro en Producción y Uso de Plantas Medicinales, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2018. Candidato a Doctor en Doctorado en Cambio Climático y Sostenibilidad, 2024.

Afiliación laboral: Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario de Chimaltenango (CUNDECH).

Ingeniero Agrónomo, Pedro Julio García Chacón Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1985. Maestro en Conservación y Gestión del Medio Natural: Integración de Sistemas Naturales y Humanos. Universidad Internacional de Andalucía España, 2003. Doctor en Recursos Naturales para el Desarrollo, UNED/UNA/UNAM, Costa Rica/México. 2015

Afiliación laboral: Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, CEMA, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Norma Edith Gil Rodas de Castillo, Química Bióloga, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1992. Maestra en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente, Facultad de Ingeniería Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008.

Afiliación laboral: Centro de Estudios del Mar y Acuicultura CEMA Universidad de San Carlos de Guatemala.

UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA RELACIÓN ENTRE SEGURIDAD ALIMENTARIA NUTRICIONAL Y ECONOMÍA

A systematic review of the relationship between nutritional food security and economy

Ariel Cristiana Marín Rodríguez

Mtr. en Alimentación y Nutrición
acmarinr93@gmail.com

Alfredo Salvador Gálvez Sinibaldi

Dr. en Geomquímica
1739807750101@postgradoingenieria.usac.edu.gt

Recibido: 18 de mayo de 2024 | Revisado: 16 de junio de 2024 | Aprobado: 24 de julio de 2024

Resumen

La relación entre economía y seguridad alimentaria nutricional es un tema importante de estudio y reflexión (Fernández y Lindiasari, 2022), debido a que representa dos aspectos fundamentales para el desarrollo social. A través de la revisión sistemática de literatura que explora la relación entre economía y seguridad alimentaria nutricional de 2018 a 2023, se encuentra que existen dos corrientes de investigación. La primera sostiene que es la seguridad alimentaria nutricional la que influye en la economía y la segunda que sucede, al contrario. Sin embargo, un nuevo estudio sugiere una relación bidireccional. En la revisión sistemática se utiliza principalmente: metodología cuantitativa, análisis de panel y análisis documental; la variable más investigada de Seguridad Alimentaria Nutricional (SAN) es la productividad agrícola y de economía, el Producto Interno Bruto (PIB); las bases de datos más consultados son del Banco Mundial y de FAOSTAT y únicamente 5 artículos incluyeron el factor de la aparición de la pandemia por COVID-19. El principal hallazgo es que el estudio más reciente revela una relación bidireccional.

Palabras clave

Seguridad alimentaria nutricional, economía, Objetivos de Desarrollo Sostenible, COVID-19.

Abstract

The close relationship between economy and nutritional food security is an important topic of study and reflection to date (Fernández and Lindiasari, 2022), due to the fact that they represent two fundamental aspects for social development. Through the systematic literature review that explores the relationship between economy and nutritional food security from 2018 to 2023, it was found that there are two streams of research. The first maintains that it is nutritional food security that influences the economy, the second that it happens the other way around. However, it turned out that a new study suggests a bidirectional relationship. In general, the systematic review of 19 scientific articles in the aforementioned years mainly used: (1) quantitative methodology; (2) panel analysis and documentary analysis; (3) the most investigated variable in food security was agricultural productivity and in economics the Gross Domestic Product (GDP); the most consulted databases are from the World Bank and FAOSTAT and only 5 articles included the factor of the appearance of the COVID-19 pandemic.

Keywords

Nutritional food security, economy, Sustainable Development Goals, COVID-19

Introducción

A medida que se acerca el 2030, alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) se convierte en un desafío cada vez mayor. La economía y la Seguridad Alimentaria Nutricional (SAN) son dos temas de principal interés para ello, puesto que precisamente los primeros dos ODS son poner fin a la pobreza y poner fin al hambre. Este artículo se centra en la revisión de cómo se ha estudiado la relación entre economía y SAN. Es de suma importancia recalcar que ambos influyen directamente en la calidad de vida de las personas y el desarrollo económico de las naciones (Fernández y Lindiasari, 2022).

De hecho, el primer ODS menciona que, para el 2030, se busca erradicar la pobreza extrema y disminuir a la mitad la proporción de personas que viven en la pobreza. El segundo ODS señala que se debe poner fin al hambre y al problema de malnutrición para que todas las personas accedan a una alimentación saludable y suficiente todos los días del año (ONU, 2016). Sin embargo, resulta alarmante que la aparición de la pandemia por COVID-19 ha revertido los esfuerzos previos para alcanzar las metas y estas se vuelven cada vez más distantes (ONU, 2024).

Fernández y Lindiasari (2022) plantean que el estudio de la relación entre economía y seguridad alimentaria nutricional sigue siendo un tema de debate actual. El dilema se centra en determinar si es la seguridad alimentaria nutricional la que influye en la economía o si sucede al contrario. Sin embargo, se formula la interrogante: ¿es posible que esta relación pueda variar dependiendo de las situaciones del contexto y que la relación sea bidireccional?

Ante la falta de consenso, es de suma importancia una revisión sistemática de cómo ha sido abordada la relación entre economía y seguridad alimentaria en los últimos 5 años (2018-2023) para identificar las fuentes de datos, metodologías y tipos de estudios más utilizados y de esta forma, contribuir a la información disponible para el alcance de los ODS.

Desarrollo del estudio

a) Revisión sistemática de literatura

Este estudio presenta una revisión sistemática de la literatura sobre la relación entre la economía y la seguridad alimentaria y nutricional en el periodo de 2018 a 2023. Se realiza siguiendo las pautas de una revisión sistemática con metaanálisis conocida como PRISMA.

Cabe destacar que se utilizan recursos como Research Rabbit y Litmaps como gestores bibliográficos. Google académico y Science Direct también se incluyeron como parte del proceso de búsqueda.

Se identifican 29 artículos, de los cuales 10 se excluyen por no tener una postura clara o no abordar directamente la relación entre las variables de interés investigativo. Consiguientemente, se seleccionan 19 artículos científicos que evalúan la relación y se les realiza análisis de contenido que se presenta a continuación.

En la figura 1 se presenta el resumen de los pasos para la revisión sistemática de literatura.

Figura 1.

Diagrama de flujo PRISMA de búsqueda y revisión de literatura



Nota. La figura 1 representa los pasos para la identificación de literatura bajo el modelo PRISMA. Fuente: elaboración propia.

b) Análisis de contenido

Una vez seleccionados los 19 artículos científicos para la revisión sistemática, se analizan los siguientes aspectos: tipos de estudios, metodología, variables utilizadas, fuentes de datos, alcance territorial, situación de crisis. Dentro de estas categorías se entiende que:

1. Se identifica si los estudios son de tipo cuantitativo, cualitativo o mixto.
2. En la metodología se determina la estadística aplicada a los estudios de tipo cuantitativo o si fue por revisión bibliográfica.
3. Se reconocen las variables de SAN y las variables económicas.
4. Las fuentes de datos se refieren al lugar donde se originan los datos utilizados en los artículos.
5. El alcance territorial se entiende como internacional si estudian más de 5 países, regional si son de 2 a 5 países o nacional (1 país).
6. Se analiza si en el contexto de cada estudio existe crisis sanitaria por COVID-19.

Resultados obtenidos

Se encuentra que, de los 19 artículos científicos revisados, 10 artículos exploran si la seguridad alimentaria es la que influye en la economía (primera corriente de investigación), 8 artículos determinan que la economía es la que influye en la seguridad alimentaria nutricional (segunda corriente de investigación) y solo 1 artículo considera que la relación puede ser bidireccional (nueva corriente de investigación).

En la tabla 1 se visualizan los artículos científicos de la primera corriente de investigación contemplados para la revisión sistemática. Cabe destacar que, de los 10 artículos que se revisan, 9 consideran que efectivamente la seguridad alimentaria nutricional influye en la economía. Sin embargo, un único autor (Susislatuti, 2018) menciona que no es así, pero únicamente considera a la producción agrícola como variable de SAN.

Lo anteriormente descrito permite identificar que no existe consenso entre los diferentes autores y grupos de investigación, en cuanto a la relación entre variables que intervienen en la seguridad

alimentaria y variables económicas, por lo que esta relación se constituye en un tema de interés investigativo.

Tabla 1.

Artículos científicos que exploran si la SAN influye en la economía

No.	Año de publicación	Título de la Investigación	Relación
1	2022	<i>Exploring linkages between food security and economic growth: a Systematic mapping literature review.</i> <i>The effects of Agriculture Productivity,</i>	✓
2	2022	The effects of Agriculture Productivity, Land Intensification, on Sustainable Economic Growth: A panel analysis from Bangladesh, India, and Pakistan Economies.	✓
3	2021	The economy and Food security in the Arab world in the midst of the corona crisis.	✓
4	2021	Impact of food quality on the economic security of the region	✓
5	2021	The Impact of Sustainability Goals on Productivity Growth: The Moderating Role of Global Warming.	✓
6	2020	Food Affordability and Economic Growth.	✓
7	2019	Food Security and Economic Growth. International Journal of Modern Trends in Social Sciences.	✓
8	2018	Can food availability influence economic growth – the case of African countries.	✓
9	2018	Food Security and Economic growth. Journal of Nutrition and Food Security.	✓
10	2018	Agricultural Production and its Implications on Economic Growth and Poverty Reduction	✓

Nota. Esta tabla muestra los artículos científicos que exploran si la SAN influye en la economía y señala si existe o no una relación. Elaboración propia.

En la tabla 2 se detallan los artículos científicos de la segunda corriente de investigación, que sostiene que es la economía la que influye en la SAN. Se encuentra que, de los 8 artículos revisados, 7 concluyen que ciertamente es la economía la que influye en la SAN. Y, solo Poudel y Gopinath (2021) niegan que el crecimiento económico influya en la seguridad alimentaria.

Tabla 2.

Artículos científicos que exploran si la economía influye en la SAN

No.	Año de publicación	Título de la Investigación	Relación
1	2021	<i>Exploring the disparity in global food security indicators.</i>	X
2	2022	A Correlation of Socio-economic Determinants and Food Security Status in Pakistan.	✓
3	2021	Food system resilience and COVID-19 – Lessons from the Asian experience.	✓
4	2021	Cross-national analysis of food security drivers: comparing results based on the Food Insecurity Experience Scale and Global Food Security Index.	✓
5	2021	Food Security, Agricultural Sector Resilience, and Economic Integration: Case Study of ASEAN+3.	✓
6	2020	Assuring food security in Singapore, a small island state facing COVID-19.	✓
7	2019	Economic aspects of the resolution of the issue of food security: a case Study.	✓
8	2018	Economic growth versus. The issue of food security in selected regions and countries worldwide.	✓

Nota. Esta tabla muestra los artículos científicos que exploran si la economía influye en la SAN y señala si existe o no una relación. Elaboración propia.

En la tabla 3 se presenta el artículo científico que aborda una nueva línea de investigación y es que la seguridad alimentaria nutricional y economía guardan una relación bidireccional.

Tabla 3.

Artículos científicos que exploran relación entre la SAN y la economía

No.	Año de publicación	Título de la Investigación	Relación
1	2021	<i>Exploring the disparity in global food security indicators.</i>	⇔

Nota. Esta tabla muestra el artículo científico que exploran que la relación entre SAN y economía es bidireccional. Elaboración propia.

A continuación, en la tabla 4 se presentan los tipos de estudio más utilizados en las investigaciones que exploran la relación entre economía y seguridad alimentaria nutricional.

Tabla 4.

Tipos de estudio más utilizados en las investigaciones que exploran la relación entre SAN y economía

Tipo de estudio	SAN → Economía	Economía → SAN	Relación bidireccional	Total
Cuantitativo	7/10	5/8	0/1	12/19
	1/1	2/10	2/8	5/19
Mixto	1/10	1/8	0/1	2/19

Nota. Esta tabla muestra los tipos de estudios más utilizados en los artículos científicos que exploran la relación entre SAN y economía. Elaboración propia.

Se encuentra que el tipo de estudio más utilizado en general es el de tipo cuantitativo. Desglosado en cada línea de investigación, en las dos primeras corrientes es también cuantitativo. Hay que destacar que en la línea de investigación en que se

identifica una relación bidireccional el estudio es de tipo cualitativo. Sin embargo, es significativo mencionar la falta de estudios que incorporen una metodología mixta, puesto que solo 2 de los 19 artículos utilizan ambas para explicar la relación.

Con respecto a la metodología más utilizada, la tabla 5 presenta un resumen que permite identificarlas.

Tabla 5.

Metodologías más utilizadas en las investigaciones que exploran la relación entre SAN y economía

Metodologías	SAN → Economía	Economía → SAN	Relación bidireccional	Total
Revisión documental	3/10	3/8	1/1	7/19
Análisis de panel	4/10	2/8	0/1	6/19
Análisis de regresión	1/10	1/8	0/1	2/19
Regresión lineal multivariable	0/10	1/8	0/1	1/19
Estadística descriptiva	0/10	1/8	0/1	1/19
Barro growth model	1/10	0/8	0/1	1/19
Path Analysis	1/10	0/8	0/1	1/19

Nota. Esta tabla muestra las metodologías más utilizadas en los artículos científicos que exploran la relación entre SAN y economía. Fuente: Elaboración propia.

Se detecta que en la primera corriente de investigación la metodología más utilizada es en el análisis de panel; dentro de la segunda corriente la revisión bibliográfica y la tercera y más novedosa, también lo fue la revisión bibliográfica.

Ahora, en términos de variables más utilizadas se encuentra que en todos los casos la seguridad alimentaria nutricional es entendida principalmente como “producción agrícola” y la

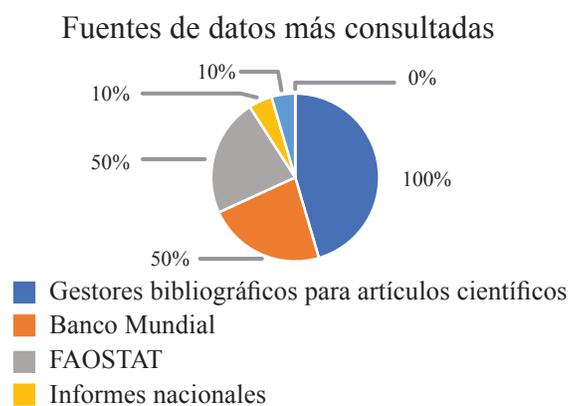
economía como “Producto Interno Bruto (PIB) o crecimiento per cápita.

Por otro lado, al hacer revisión de las fuentes de datos, se revela que las fuentes de datos más comunes son las bases de datos del Banco Mundial y de la Organización de las Naciones Unidas.

La figura 2 revela a mayor detalle esta información.

Figura 2.

Fuentes de datos más consultadas



Nota. Esta figura muestra las metodologías más utilizadas en los artículos científicos que exploran la relación entre SAN y economía. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al alcance territorial se determina que, en todas las corrientes de investigación, la mayoría de las investigaciones tienen un alcance internacional, es decir, que analizan los datos de más de 5 países. Es importante mencionar que, a medida que se incluyen más países en el análisis de la relación, disminuyen las características comunes entre ellos y el análisis puede ser muy redundante y global. Para poder alcanzar las metas de los ODS es importante recabar más información propia de regiones.

Es muy importante enfatizar que los enfoques nacionales han sido muy poco abordados y que también el enfoque bidireccional con contexto regional y nacional tampoco han sido estudiados.

Tabla 6.

Alcance territorial en las investigaciones que exploran la relación entre SAN y economía

Alcance territorial	SAN → Economía	Economía → SAN	Relación bidireccional	Total
Internacional	6/10	3/8	1/1	10/19
Regional	4/10	3/8	0/1	7/19
Nacional	0/10	2/8	0/1	2/19

Nota. Esta figura muestra el alcance territorial en los artículos científicos que exploran la relación entre SAN y Economía. Elaboración propia.

Finalmente, con relación a si se considera la crisis sanitaria ocasionada por la pandemia por COVID-19, hay que destacar que únicamente 5 de los 19 artículos científicos que se incluyen en la revisión sistemática, mencionan la aparición del COVID-19. No obstante, los datos utilizados son únicamente en el año 2020, cuando fue el pico más alto de contagios. Ante esta situación, resulta valioso indicar que, debido a la pandemia de COVID-19, se experimentó una acelerada inflación de los alimentos y pérdidas de empleo, lo cual provocó un retroceso en los avances logrados en el primero y segundo ODS.

Síntesis conclusiva

En conclusión, se determina que la mayoría de las investigaciones utilizan un enfoque cuantitativo; la metodología más común dentro del enfoque cuantitativo es el análisis de panel y dentro del enfoque cualitativo es la revisión documental; la variable más estudiada de SAN es la productividad agrícola y la económica, el producto interno bruto per cápita; las fuentes de datos más consultadas son las bases de datos del Banco Mundial y de FAOSTAT; y únicamente 5 artículos científicos comentan acerca de la aparición de la crisis sanitaria ocasionada por la pandemia por COVID-19.

Se hace principalmente énfasis en los siguientes aspectos:

1. Se encuentra una nueva vertiente investigativa que sustenta y justifica un enfoque bidireccional de comportamiento de SAN y economía, y viceversa. Esto invita a la comunidad científica a continuar con la discusión y contemplar este nuevo panorama. Sin embargo, el único estudio bidireccional únicamente utiliza una metodología cualitativa.
2. Según las bases de datos, se observa que se utilizan variables proporcionadas por instituciones y no se emplea una metodología propia para la recolección de datos o información, ya sea a nivel internacional, regional o nacional.
3. Otro aporte importante para demarcar es el contexto territorial, ya que los estudios se centran en comparar los países o demarcarlo por regiones y no permite que se enfoquen en profundizar en variables nacionales o que provengan de levantamiento de información particular por país y que aborde propiamente las diferencias contextuales.
4. Solo se ha estudiado el enfoque COVID-19 únicamente en los picos de contagios y decisiones. Y no se han comparado antes del COVID-19 y la era POST-COVID-19. Además, también la crisis sanitaria COVID-19 tiene comportamientos variados a lo largo de la misma.

Ante estos resultados, se ve la necesidad de un abordaje mixto y nuevas variables poco estudiadas a nivel regional que aporte una comprensión más completa y precisa que permita con mayor claridad diseñar políticas económicas informadas para poner fin a la pobreza y asegurar la seguridad alimentaria.

Referencias

- Abdul, N. y Wana, N. (2019). Food Security and Economic Growth. *International Journal of Modern Trends in Social Sciences*. DOI: 10.35631/IJMTSS.280011

- Agboola, M. y Balcilar, M. (2018). *Can food availability influence economic growth – the case of African countries. Agric. Econ. – Czech*, 60, (5), 232–245
- Alle, A., Lynd, L. & Vaze, V. (2021). *Cross-national analysis of food security drivers: comparing results based on the Food Insecurity Experience Scale and Global Food Security Index*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12571-021-01156-w>
- Eva, A. y Marius, P. (2021). *The economy and Food security in the arab world in the midst of the corona crisis*. DOzcxI: 10.33727/JRISS.2020.2.12:98-104
- Fan, S., Teng, P., Chew, P., Smith, G. y Copeland, L. (2021). *Food system resilience and COVID-19 – Lessons from the Asian experience*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100501>
- Fernández, M. y Lindiasari, P. (2022). *Exploring linkages between food security and economic growth: a Systematic mapping literature review. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. DOI: <https://doi.org/10.5219/1734>
- Maté, D., Novotny, A. y Meyer, D. (2021). *The Impact of Sustainability Goals on Productivity Growth: The Moderating Role of Global Warming*. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph182111034>
- Melnikov, A., Mikhailushkin, P., Poltarykhin, A. y Dibrova, Z. (2019). *Economic aspects of the resolution of the issue of food security: a case study. Entrepreneurship and sustainability issues*. [http://doi.org/10.9770/jesi.2019.7.1\(41\)](http://doi.org/10.9770/jesi.2019.7.1(41))
- Mudrack, R., Lagodiienko, V., Lagodiienko, N. y Rybchak, V. (2020). *Food Affordability and Economic Growth*. DOI: <https://doi.org/10.18421/TEM94-32>
- Organización de las Naciones Unidas. (2016). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Encontrado en: <https://n9.cl/qugr1>
- Organización de las Naciones Unidas. (2024). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Encontrado en: <https://acortar.link/jwmrRC>
- Poudel, D y Gopinath, M. (2021). *Exploring the disparity in global food security indicators*. ELSEVIER. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100549>
- Pourreza, A., Geravandi, A. y Pakdaman, M. (2018). *Food Security and Economic growth. Journal of Nutrition and Food Security*. DOI: <http://dorl.net/dor/20.1001.1.24767417.2018.3.3.1.6>
- Rasheed, R., Nadeem Ishaq, M. y Akbar, M. (2022). *A Correlation of Socio-economic Determinants and Food Security Status in Pakistan*. DOI: <https://doi.org/10.52131/pjhss.2022.1001.0206>
- Salaev, B., Solodova, S., Slozhenkina, M., Fedotova, G., y Mosolova, D. (2021). *Impact of food quality on the economic security of the region*. DOI: [doi:10.1088/1755-1315/677/3/032008](https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/3/032008)
- Susilastuti, D. (2018). *Agricultural Production and its Implications on Economic Growth and Poverty Reduction*. DOI: <https://doi.org/10.35808/ersj/949>
- Swietlik, K. (2018). *Economic growth versus the issue of food security in selected regions and countries worldwide*. DOI: <https://doi.org/10.30858/zer/94481>
- Ten, P. (2020). *Assuring food security in Singapore, a small island state facing COVID-19*. <https://doi.org/10.1007/s12571-020-01077-0>
- Yaqoob, N., Ammad, S., Kannaiah, D., Khan, N., Shahzad, M., Bilal, K. y Tabash, M. (2022). *The effects of Agriculture Productivity, Land Intensification, on Sustainable Economic Growth: A panel analysis from Bangladesh, India, and Pakistan Economies*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-18471-6>
- Yudhatama, P., Nurjanah, F., Diaraningtyas, C. y Dian, M. (2021). *Food Security*,

Agricultural Sector Resilience, and Economic Integration: Case Study of ASEAN+3. DOI: <https://doi.org/10.18196/jesp.v22i1.9605>

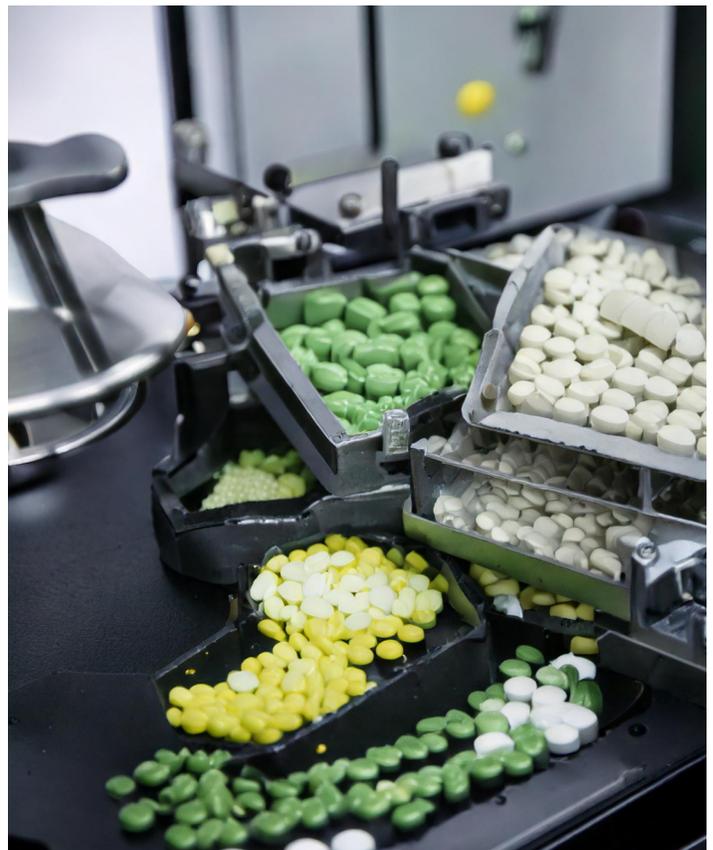
Información de los autores

Licenciada en Nutrición, Ariel Cristiana Marín Rodríguez, Instituto Politécnico de la Salud, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, 2016. Maestra en Alimentación y Nutrición, Escuela de Estudios de Postgrado, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, 2019. Afiliación laboral: Universidad Rafael Landívar

Licenciado en Química, Alfredo Salvador Gálvez Sinibaldi, Escuela de Química, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, (1983). Magister of Science, Graduate College, School of Geology & Geophysics, The University of Oklahoma, Norman, Oklahoma, United States of América (1988). Philosophy Doctor, Graduate College, School of Geology & Geophysics, The University of Oklahoma, Norman, Oklahoma, United States of América (1993).

Afiliación laboral: Escuela de Estudios de Postgrado, Facultad de Ingeniería, USAC.

ÁREA DE GESTIÓN Y SERVICIOS



OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE LIMPIEZA CIP (CLEAN IN PLACE) A TEMPERATURA AMBIENTE, EN LOS TANQUES DE ALMACENAJE DE CERVEZA FILTRADA

Optimization of a CIP (clean in place) cleaning system at ambient temperature, in filtered beer storage tank,

Edgar Augusto Morales Reyes

Mtr. en Gestión Industrial
aumore25@gmail.com

Claudia Carolina Ronquillo Blau

Mtr. en Ciencias de la Cerveza y Tecnología de Bebidas
claudiaronquillo@icasa.com.gt

Recibido: 22 de noviembre de 2023 | Revisado: 5 de marzo de 2024 | Aprobado: 15 de junio de 2024

Resumen

Una planta productora de cerveza presenta un alto costo por circuitos de limpieza CIP (clean in place) de siete pasos, debido a la alta demanda de producción. Se optimiza la operación al convertir el proceso a un sistema de limpieza de cinco pasos. Se logra una limpieza más rápida, ahorrar recursos y reducir costos en soluciones de limpieza. Se evalúa la capacidad instalada de la empresa, la cual cumple con las condiciones de logística y parámetros operacionales, para usar una solución dual de ácido-desinfectante. Al realizar estudios de microbiología de acuerdo con la Norma COGUANOR NGO 34 155 h2, h3 y h4, se determina que la limpieza a CIP a cinco pasos es eficaz. La empresa se beneficia con la implementación del sistema de limpieza que le permite obtener un ahorro económico e implementar el procedimiento establecido en esta investigación para otros procesos, gracias a su efectividad y reproducibilidad.

Palabras clave

Producción, optimización, efectividad, evaluación, microbiología.

Abstract

The beer production plant has a high cost for 7-step CIP cleaning circuits due to the high production demand. This was addressed by optimizing the operation and process of a 7-step to 5-step CIP cleaning system. It achieved faster cleaning, saving resources and reducing costs in cleaning solutions. The evaluation of the installed capacity of the company was carried out, which complies with the logistics and operational parameters, in order to use a dual acid-disinfectant solution. Microbiological studies were carried out according to the COGUANOR NGO 34 155 h2, h3 and h4 standard, it was determined that the 5-step CIP cleaning is effective. The company benefits from the implementation of the 5-step CIP cleaning system to obtain economic savings and to be able to implement the procedure established in this research for other processes, thanks to its effectiveness and reproducibility.

Keywords

Production, optimization, effectiveness, evaluation, microbiology.

Introducción

El estudio se centra en la evaluación y optimización de un sistema de limpieza CIP de cinco pasos a temperatura ambiente para los tanques de almacenaje de cerveza filtrada en una fábrica de la industria cervecera. La problemática de la empresa se da en el gasto de recursos debido al uso de un sistema de limpieza CIP a siete pasos, a causa de la demanda de la producción. La solución se encuentra en implementar el uso de un sistema de limpieza optimizado, tomando en cuenta la microbiología y parámetros de calidad de los equipos. El resultado de la investigación aporta a la empresa un ahorro de recursos con el uso de un ácido-desinfectante. Se realizan estudios microbiológicos y económicos, y se establece un procedimiento que garantiza la efectividad del CIP de cinco pasos en la industria cervecera.

Desarrollo del estudio

La idea central de la investigación surge debido a la necesidad del ahorro en el uso de productos químicos utilizados para el sistema de limpieza CIP, de los equipos utilizados para el almacenaje de cerveza. Se consultan los registros históricos, del sistema de limpieza CIP a siete pasos. Se recolecta la información de 12 tanques de almacenaje de cerveza filtrada y se analizan 36 resultados microbiológicos para cada uno de los tanques durante seis meses.

La efectividad del sistema CIP a cinco pasos se determina mediante el análisis microbiológico, con base en las normas COGUANOR 34 155 h2, h3 y h4. Al comparar el gasto que se tiene en un sistema CIP de siete pasos y el sistema CIP de cinco pasos, se determina el ahorro para la empresa. La investigación finaliza con la implementación del uso del sistema de limpieza CIP a cinco pasos, para los tanques de almacenaje de cerveza filtrada; empleando la nueva mezcla automática que se deja parametrizada y aprobada por los análisis microbiológicos, que garantizan su efectividad y reproducibilidad en otras áreas.

Resultados obtenidos

Para determinar la efectividad del CIP a cinco pasos se realizan siembras microbiológicas, de las muestras tomadas de los últimos enjuagues con agua, para identificar la presencia de microorganismos, que pudieran estar presentes después del CIP de cinco pasos.

Tabla 1.

Resultados microbiológicos del CIP a 5 pasos

Controles Microbiológicos			
BBT No.	Promedio recuento total < 25 UFC/ 100ml	Promedio coliforme 0 UFC/100ml	Promedio moho y levadura < 10 UFC/100ml
1 al 12	1	0	1

Nota. Control microbiológico BBT para limpieza CIP a 5 pasos. Elaboración propia.

En la tabla 1 se muestran los resultados microbiológicos promedio del CIP a cinco pasos, según la norma COGUANOR NGO h2 (recuento total), h3 (coliformes) y h4 (moho y levadura), con todos los resultados dentro de los parámetros establecidos. Por esta razón se determina que la limpieza CIP a cinco pasos para todos los tanques de almacenaje es eficaz.

Tabla 2.

Ahorro del uso de CIP a 5 pasos

Consumos anuales	CIP a 7 pasos	CIP a 5 pasos	Ahorro anual
Tiempo (h)	3456	2592	864
Costo horas hombre (Q.)	Q33,592.32	Q25,194.24	Q8,398.08
Energía eléctrica (Q.)	Q217,451.52	Q163,088.64	Q54,362.88
Agua (Q.)	Q782,092.80	Q403,660.80	Q378,432.00
Desinfectante (Q.)	Q3,510,604.80		Q3,510,604.80
		Total	Q3,951,797.76

Nota. Comparación de inversiones en procesos CIP de 7 y 5 pasos. Elaboración propia.

En la evaluación económica se utilizan los precios estándares de cada parámetro en análisis. El ahorro de energía eléctrica, agua, tiempo, horas hombre y químicos, se obtiene por la comparación de los resultados entre el CIP de siete pasos y el de cinco pasos, y en su conjunto determinan el ahorro anual. En la tabla 2 se detalla el ahorro obtenido. El ahorro total anual por el uso del sistema de limpieza CIP de cinco pasos, es de Q.3,951,797.76.

Para la propuesta de implementación del sistema de limpieza reducido a cinco pasos, se determinan el tiempo y conductividad, mínima y máxima que debería tener la receta automática del proceso. Esta receta se ve reflejada en la tabla 3. Con esta se garantiza la estandarización y la efectividad de la limpieza en los tanques de almacenaje de cerveza filtrada.

Tabla 3.

Parámetros de la receta automática de CIP a 5 pasos

Pasos	Conductividad (ms)	Tiempo máximo (min)	Tiempo mínimo (min)
Recirculación de agua	0	40	20
Recirculación de soda cáustica	70	60	40
Recirculación de agua	0	30	15
Recirculación de ácido-desinfectante	24	60	40
Recirculación de agua	0	45	20

Nota. Proceso de limpieza CIP de cinco pasos. Elaboración propia

Discusión de resultados

La confiabilidad de los resultados que se presentan se basa en el análisis del registro histórico del sistema de limpieza CIP a siete pasos que se aplica en la empresa, así como de los medidores de presión, tiempo y flujo en línea. Los resultados reflejan que la empresa no ha invertido en nuevas tecnologías de CIP, aun teniendo la capacidad operativa necesaria para llevarlos a cabo y obtener soluciones que se adapten a sus nuevos ritmos de producción.

Los resultados obtenidos corresponden a la implementación del sistema de limpieza CIP a cinco pasos. La herramienta que se utiliza para la evaluación, optimización e implementación de dicho sistema de pasos puede ser generalizada a otros equipos de almacenaje ya que cumple con la definición de Moerman (2014), sobre CIP, la cual indica que es “Un método perfeccionado y automático de limpieza dirigido a eliminar la suciedad del equipamiento de una planta y las conducciones sin necesidad de desmontar dicho equipamiento” (p.305).

Torres (2012), comenta que “El beneficio para las industrias que utilizan el CIP es que la limpieza es más rápida, menos mano de obra y más repetible, y presenta menos riesgo de exposición a sustancias químicas a las personas” (p.17). En el caso de estudio estos beneficios anteriormente mencionados se ven mejorados con el diseño e implementación del sistema de limpieza CIP a cinco pasos.

Los resultados principales de la investigación que se pueden relacionar con la base teórica son: la evaluación, optimización y diseño de un sistema de limpieza. Se confirma que esta implementación es importante e indispensable para que la empresa incursione en nuevas opciones tecnológicas; para obtener un ahorro de tiempo, agua, energía eléctrica y costo de horas hombre.

Por otra parte, “aunque por razones de índole económica, se han venido haciendo intentos para reducir los consumos, inicialmente mediante procesos de sedimentación, flotación y centrifugación” (Jung, 1996, pág. 32), estos estudios han revelado ser ineficaces, debido a su alto costo de implementación y mantenimiento.

En el estudio que se reporta, la optimización de un sistema de limpieza CIP, aporta soluciones que aplican tecnologías actuales combinadas con resultados microbiológicos contundentes. Tal y como se observa en la presentación de resultados. El nuevo sistema CIP de cinco pasos permitió un ahorro anual de Q3,951,797.76, lo que representa una reducción del 25 % en los costos operativos, sin invertir en procesos y equipos adicionales,

únicamente usando la capacidad que ya se tiene instalada, por lo que se considera de alta eficacia.

Conclusiones

1. Se determina que la capacidad de los equipos cumple con los parámetros de presión entre 2.8 bar y 3.2 bar, el caudal en 24 m³/h y 25 m³/h, velocidad mayor de 3 m/s y la correlación de conductividad del ácido-desinfectante de 99 %, para la utilización de un sistema de limpieza CIP a cinco pasos.
2. El sistema de limpieza interna CIP a cinco pasos en los tanques de cerveza es eficiente, ya que cumple con lo establecido en la norma COGUANOR NGO 34 155 h2, h3 y h4, dado que el recuento total reporta un resultado menor a 1 UFC/100 ml, negativo en todos los valores la presencia de coliformes y el recuento de mohos y levaduras, menores a 10 UFC/100ml.
3. El ahorro anual de energía eléctrica, costo de horas hombre, agua y químicos, para 576 circuitos de limpieza, utilizando un sistema de limpieza CIP a cinco pasos en los 12 tanques de almacenaje de cerveza filtrada es de Q.3,951,797.76.

Recomendaciones

1. Revisar los parámetros de presión, caudal, velocidad y conductividad, por lo menos una vez al mes, para verificar que el sistema de limpieza CIP a cinco pasos, en los tanques de almacenaje de cerveza filtrada, cumpla con la capacidad instalada de los equipos.

2. Realizar el análisis microbiológico con base en las normas COGUANOR NGO 34 155 h2, h3 y h4, de todos los tanques de almacenaje de cerveza filtrada por lo menos una vez al mes, para garantizar la efectividad del sistema de limpieza.

Referencias

- Estrada, B. (2007). *Análisis Técnico-Económico de sistemas de limpieza para líneas de producción en la industria de alimentos* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1028_Q.pdf
- Jung, C. (1996). *The recovery of washing caustic from CIP wastewater. European Dairy Magazine*, 32-34. <https://hal.archives-ouvertes.fr/index/index>
- Mendoza J.D. (1993). *Manual técnico de limpieza en sitio CIP*. España: Gea.
- Moerman F, Rizoulières P, Majoor FA. (2014) Cleaning in place (CIP) in food processing. *Hygiene in Food Processing: Principles and Practice, Second Edition*, p.305-383. doi:10.1533/9780857098634.3.305.
- Torres, C. (2012). *Diseño de un sistema de limpieza en el sitio de tipo sanitario (cip) para una línea de llenado en un salón de embotellado en la industria de cerveza*, (Tesis de licenciatura), Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/19391/1/Edgar%20Augusto%20Morales%20Reyes%20200914945.pdf>

Información de los autores

Ingeniero químico, Edgar Augusto Morales Reyes, graduado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2020.

Especialización en Administración industrial de la Escuela de Estudios de Postgrado de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería, USAC, 2021.

Afiliación laboral: Cervecería Centro Americana S.A.

Ingeniera química, Claudia Carolina Ronquillo Blau, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2000. Maestra en Ciencias de la Cerveza y Tecnología de Bebidas, Universidad Técnica de Múnich, 2010.

Afiliación laboral: Cervecería Centro Americana S.A.

SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA EL MANEJO DE DESECHOS DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

Proposal of an environmental management system for waste management in the automotive industry

Eddy Reynaldo García Oliva

Mtr. en Gestión Industrial
eddy.garciaoliva@gmail.com

Claudia Larissa Díaz Castillo

Mtr. en Gestión Industrial
larissa.diaz@gmail.com

Recibido: 30 de octubre de 2024 | Revisado: 5 de abril de 2024 | Aprobado: 15 de junio de 2024

Resumen

Esta investigación consiste en proponer un sistema de gestión ambiental para optimizar los procesos relativos al manejo de desechos automotrices, utilizando una metodología que involucra variables cuantitativas y cualitativas a fin de evaluar el procedimiento bajo el cual la empresa investigada trata sus principales desechos. Se identifican las causas de la ausencia de un sistema de gestión ambiental que sistematice su manejo y se desarrollan indicadores de gestión para validar el cumplimiento de la propuesta presentada.

Los resultados obtenidos muestran la forma en que la empresa gestiona sus principales desechos, formulando indicadores que den validez a la propuesta presentada. Se concluye al evidenciar la necesidad de fortalecer la estrategia de tratamiento y disposición final de los desechos, priorizando todo lo relacionado con la gestión ambiental dentro de la empresa.

Palabras clave

Gestión ambiental, desechos automotrices, reciclaje, disposición final, indicadores clave.

Abstract

This research consists of proposing a system governed by environmental management indicators that seek to optimize the processes related to the management of automotive waste using a methodology with a mixed approach between quantitative and qualitative variables in order to evaluate the procedure under which the investigated company treats its main wastes, identifying the causes of the absence of an environmental management system that systematizes its management and developing management indicators that validate compliance with the proposal presented.

The results obtained show the way in which the company manages its main wastes, formulating indicators that validate the proposal presented and concludes with the need to strengthen the strategy of treatment and final disposal of waste, prioritizing everything related to environmental management within the company.

Keywords

Environmental management, automotive waste, recycling, final disposal, key indicators.

Introducción

Recinos (2018), detalla que la mayoría de los residuos generados no se clasifican para un posterior manejo y descarte, lo cual implica el inicio de potenciales impactos negativos en el medioambiente al tratarse a todo el cúmulo de desechos de la misma manera, validando entonces que “un plan adecuado de gestión desarrollado, minimiza los procedimientos adecuados para la clasificación, recolección, almacenamiento y disposición final de los residuos peligrosos generados en las actividades de los talleres automotrices” (Bendezú, 2019, p. 73). La falta de control documental de las variables relacionadas con los desechos generados en la empresa investigada dificulta su gestión indistintamente de su clasificación, tipo de resguardo y forma de descarte. La importancia de esta investigación radica en generar credibilidad y transparencia en la presentación de información relacionada con el control de desechos a través de indicadores de gestión ambiental, así como la estandarización de procesos documentales sujetos a auditorías.

Desarrollo del estudio

El desarrollo de este trabajo tiene un enfoque mixto con un diseño no experimental para una muestra de 30 estaciones de trabajo de las 45 con que cuenta la empresa estudiada. Durante la primera fase se realiza la revisión de documentos históricos para identificar información relacionada con reglas de operación, licencias y certificaciones que den cuenta de la certeza de la forma de disposición final de los desechos generados en el taller a partir del momento de entrega a los proveedores contratados para su recolección.

En la segunda fase se evalúa el procedimiento utilizado para la gestión de estos desechos.

Dicha evaluación requiere la medición de dimensiones físicas de colectores para el almacenamiento temporal de aceite usado, la medición de los espacios destinados al almacenamiento temporal de baterías de ácido – plomo, neumáticos y chatarra metálica. También se realizan visitas de campo y entrevistas al

personal operativo y de las empresas contratadas para el retiro y disposición final de desechos.

En la tercera fase se categorizan las causas de la ausencia de una estrategia de administración de desechos, verificando registros, entrevistas y listas de cotejo con jefes de taller y supervisores de grupo para validar los procesos vigentes para el manejo de desechos, utilizando también para este efecto un diagrama de Ishikawa.

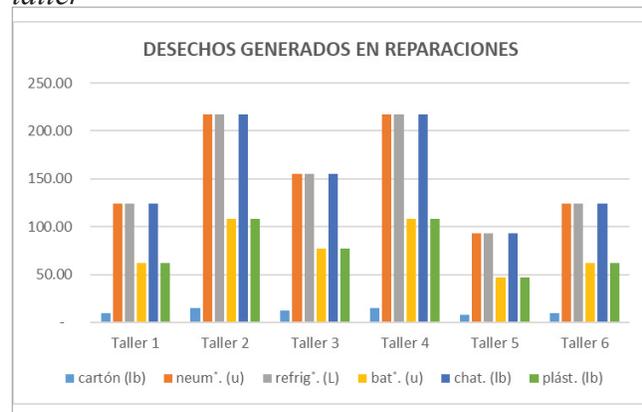
La cuarta fase consiste en la identificación del sistema de gestión ambiental que dé visibilidad al sistema de gestión. Estos indicadores se proponen bajo la seguridad de que son representativos de la población en estudio, están basados en datos fiables, son predictivos a efecto de alertar sobre posibles evoluciones negativas y presentan un equilibrio razonable entre su costo y su efectividad.

Resultados obtenidos

En la figura 1 se muestran los tipos y cantidades de desechos generados, pero no controlados, en un mes en las estaciones de trabajo estudiadas, siendo esta información de importancia relevante en la evaluación del procedimiento que la empresa utiliza, ya que la forma de registrarlos es en una libreta de notas sin fecha, nombre de quien registra, información del taller, entre otras omisiones de importancia.

Figura 1.

Gráfico de desechos generados en labores de taller



Nota. Gráfico que muestra la relación entre cantidades y tipos de desechos generados en taller. Elaboración propia, realizado con Excel.

La tabla 1 muestra la frecuencia y los montos percibidos en cada taller por concepto de venta de aceite usado a los proveedores del servicio de recolección y disposición final de desechos, previa y debidamente certificados por la empresa investigada

Tabla 1.

Frecuencia y pagos por extracción de aceite por taller

Frecuencia e Ingresos (Q) por extracción de aceite y filtros.			
Consumos anuales	Colectores fijos (1,040 L)	Frecuencia mensual	Ingresos aprox. Q/mes
Taller 1	0.80	1.00	Q1,000.00
Taller 2	1.40	2.00	Q1,750.00
Taller 3	1.00	1.00	Q1,250.00
Taller 4	1.40	2.00	Q1,750.00
Taller 5	0.60	1.00	Q750.00
Taller 6	0.80	1.00	Q1,000.00
TOTALES	6.00	8.00	Q7,500.00

Nota. Detalle tabulado de la frecuencia mensual y monto total percibido por taller por concepto de extracción de aceite usado. Elaboración propia.

Se detectan cinco causas principales que han hecho que la empresa falle en los intentos de sistematizar el control y manejo de los desechos: falta de conocimiento sobre temas medioambientales, nulo seguimiento a iniciativas fugaces para el control de desechos, la calidad medioambiental no es prioridad, costos elevados para dar forma a un sistema de gestión ambiental y legislación poco conocida.

Finalmente, se proponen cinco indicadores que permiten el ordenamiento operacional de los talleres estudiados:

- Tasa de reciclaje de desechos (%).
- Multas o infracciones (Q).
- # de incidentes reales / mes.
- Tiempo perdido por incidentes reales (min).
- Puntuación otorgada por auditoría interna (#).

La propuesta presentada permite sistematizar lo concerniente a las actividades del taller relacionadas con la generación de desechos.

Discusión de resultados

Al finalizar este estudio se confirma que, en la empresa investigada, cada taller toma sus propias decisiones sobre lo relacionado con el almacenaje temporal y disposición final de desechos, coincidiendo con el estudio de Recinos (2018) en el que detalla que los procedimientos se adecuan a las necesidades de la operación. Existe también concordancia entre este estudio y el hecho de que “las municipalidades no tienen control sobre las recicladoras existentes en el área” (Letona, 2018, p. 116). Este estudio, al igual que el de García (2018), presenta la necesidad de establecer indicadores de desempeño ambiental orientados a evaluar y controlar el comportamiento de los desechos generados. Por su parte, López (2021) menciona estos indicadores como una necesidad para “la verificación de que, en efecto, se están teniendo los resultados requeridos para disminuir los efectos del impacto ambiental” (López, 2021, p. 104).

Conclusiones

- Para que el procedimiento bajo el cual se gestiona la disposición final de desechos sea efectivo, deben fortalecerse los controles documentales y establecerse un programa de auditorías ambientales dirigidas por un departamento de control interno, con el fin de asegurar el cumplimiento de las disposiciones que la empresa establezca en materia de desechos contaminantes generados en las labores de mantenimiento y reparaciones automotrices.
- Toda vez se siga considerando la calidad medioambiental como una prioridad secundaria, onerosa y con escaso control y monitoreo, un sistema de gestión ambiental corre el riesgo de permanecer alejado de la mirada de quienes dirigen y proyectan el futuro integral de la empresa.
- Es importante contar con los siguientes indicadores: tasa de reciclaje de desechos, monto de multas o infracciones, número de incidentes reales al mes por mal manejo de desechos, tiempo (en minutos) perdido debido

a incidentes reales, puntuación entregada por departamento de auditoría interna, en escala de 0 a 10, para optimizar el manejo de desechos y asegurar su cumplimiento por parte de las áreas involucradas en las actividades propias de una empresa automotriz.

4. El sistema de gestión ambiental propuesto parte de una base que da estructura a la planificación de actividades, sus responsables, procesos, recursos y garantías en el cumplimiento de la legislación medioambiental, por lo que se concluye que posibilita a la empresa sistematizar lo concerniente a las actividades de taller relacionadas con la generación de desechos.

Recomendaciones

1. A las empresas que operan en el estrato comercial de servicios y productos automotrices, se recomienda romper el esquema de indiferencia hacia los impactos negativos para el medioambiente derivados del manejo inadecuado de desechos a través de capacitaciones y divulgaciones técnico – legales de las cuales puedan ser partícipes todos los integrantes de sus estructuras administrativas y operativas.
2. A las gerencias operativas y mandos medios, se recomienda monitorear, evaluar y divulgar periódicamente el resultado de los indicadores establecidos para optimizar el manejo de desechos, generando con ello credibilidad en los diferentes niveles operativos y administrativos de la empresa, logrando con ello una concientización gradual respecto al sistema de gestión ambiental.

Referencias

- Bendezú, J. (2019). *Propuesta de un plan de gestión ambiental para el manejo adecuado de los residuos peligrosos en los talleres automotrices del cercado de Ica, 2018 – 2019*. [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Ica, Perú]. <https://hdl.handle.net/20.500.13028/3332> <http://www.revistapsicologia.uchile.cl/php/RDP/article/46693/>
- García, G. (2018). *Análisis financiero ambiental de la administración de los desechos sólidos y su incidencia en la viabilidad financiera en los centros de distribución de productos de tocador en el municipio de Mixco*. [Tesis de Maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03_5968.pdf
- Letona, J. (2018). *Auditoría especializada de gestión ambiental en el manejo de desechos sólidos municipales, mancomunidad Gran Ciudad del Sur, del departamento de Guatemala*. [Tesis de Maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02_4926.pdf
- López, W. (2021). *Estudio de impacto ambiental del proyecto construcción planta de tratamiento de los residuos y desechos sólidos de la cabecera municipal de Olintepeque, Quetzaltenango*. [Tesis de Maestría, Universidad Rafael Landívar, Quetzaltenango, Guatemala].
- Recinos, A. (2018). *Plan de manejo de materiales residuales generados en el taller agrícola y automotriz de un ingenio azucarero, ubicado en el departamento de Escuintla*. [Tesis de Maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/10919/>

Información de los autores

Ingeniero Mecánico, Eddy Reynaldo García Oliva, graduado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009.

Maestro en Artes en Gestión Industrial de la Escuela de Estudios de Postgrado de Ingeniería, EEPI de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2024.

Afiliación Laboral: Epidauro S.A.

Ingeniera Industrial Claudia Larissa Díaz Castillo, graduada en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2003.

Maestra en Artes en Gestión Industrial de la Escuela de Estudios de Postgrado de Ingeniería, EEP de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008.

Afiliación Laboral: Corporación Multi Inversiones S.A.

APLICACIÓN DE UN MODELO ESTADÍSTICO DE PRONÓSTICOS UTILIZANDO EL MÉTODO WINTER PARA LA LOGÍSTICA INVERSA DEL VIDRIO POST CONSUMO

Application of an statistical forecasting model using the winter method for the inverse logistics of post consumer glass.

Marvin Wilfredo Arévalo Pineda

Mtr. en Gestión Industrial
marevalo572@gmail.com

Julio Roberto Ramírez Romero

Mtr. en Administración Industrial
juliodklogo@gmail.com

Recibido: 15 de noviembre de 2023 | Revisado: 22 de febrero de 2024 | Aprobado: 16 de junio de 2024

Resumen

La aplicación de un modelo estadístico para estimación de pronósticos de recuperación de vidrio post consumo como parte de la logística inversa, surge de la necesidad de controlar de manera efectiva los inventarios de materias primas y vidrio reciclado que se utilizan en el proceso de fabricación de nuevos envases. La estimación precisa de un pronóstico de recuperación de productos reciclables permite abastecer y controlar el flujo de materiales a lo largo de la cadena productiva de fabricación, evita quiebres de inventarios y atrasos en la entrega de un producto terminado.

El método Winter permite evaluar datos históricos de recuperación de vidrio reciclado, adaptando el modelo a constantes de suavizamiento para la tendencia, el ciclo y la estacionalidad, reduciendo el error de estimación de la demanda para identificar ahorros financieros y ambientales que se generan por cada tonelada métrica de vidrio reciclado adicional al pronóstico.

Palabras clave

Pronóstico de la demanda, inventarios, reciclaje, vidrio, envases.

Abstract

The application of a statistical model to estimate post-consumer glass recovery forecasts as part of reverse logistics arises from the need to effectively control the inventories of raw materials and recycled glass that are used in the manufacturing process of new glass. packaging. The accurate estimation of a recovery forecast for recyclable products allows you to supply and control the flow of materials throughout the manufacturing production chain, avoiding inventory breaks and delays in the delivery of a finished product.

The Winter method allows evaluating historical recycled glass recovery data, adapting the model to smoothing constants for trend, cycle and seasonality, reducing the demand estimation error to identify financial and environmental savings that are generated for each ton additional recycled glass metric to the forecast.

Keywords

Demand forecasts, inventories, recycling, recovery, packaging.

Introducción

La fabricación de envases de vidrio tiene como elemento principal el desarrollo de un programa de producción, que va desde el análisis de capacidad instalada, un programa de ventas, presupuestos financieros, inventarios de materias primas vírgenes (arena sílice, feldespato, carbonato de calcio, carbonato de sodio) y un pronóstico de recuperación de vidrio post consumo, para en conjunto fabricar envases de calidad y con costo de producción que permita ventajas comerciales en los mercados internacionales.

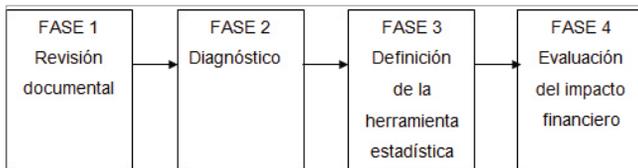
La importancia de utilizar el modelo estadístico Winter para la recuperación de vidrio post consumo, es minimizar el error de estimación de la demanda, monitorear el cumplimiento del pronóstico en función de la demanda histórica y generar beneficios medioambientales como maximizar el espacio en vertederos, proteger la explotación de minerales y la disminución de emisiones de dióxido de carbono.

Desarrollo del estudio

La investigación presenta un enfoque mixto ya que se compone de un análisis cuantitativo y cualitativo. En la parte cuantitativa se analizan datos históricos de recuperación de vidrio post consumo en la logística inversa del vidrio, índices estacionales, porcentajes de crecimiento y cumplimiento de pronósticos, y en la parte cualitativa se analizan los factores que afectan directamente el pronóstico de recuperación.

Figura 1.

Fases de la investigación



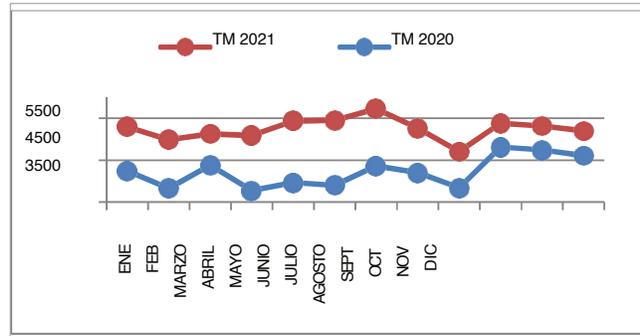
Nota. Elaboración propia.

Resultados obtenidos

Con el análisis gráfico de la demanda histórica de las toneladas métricas de vidrio reciclado recuperadas durante los años 2020 y 2021, se identifica un comportamiento de crecimiento y estacionalidad que se repite en los años que se analizan.

Figura 2.

Análisis de TM recuperadas 2020-2021



Nota. Elaboración propia.

Con la definición de la herramienta estadística se evalúan diferentes métodos cuantitativos con la finalidad de estimar el menor error promedio.

Tabla 1.

Definición de modelos estadísticos

Mes	Demanda real 2021	Suavizam Exponen	Error Suaviz Expon	HOLT	Error HOLT	Winter	Error Winter
Enero	5295	5295	0			4857	-438
Febrero	4991	5295	304	5297	306	4922	-69
Marzo	5129	5143	14	5237	108	5160	31
Abril	5093	5136	43	5236	143	5019	-74
Mayo	5435	5115	-321	5220	-215	5409	-26
Junio	5452	5275	-177	5272	-180	5398	-54
Julio	5727	5363	-364	5294	-433	5890	163
Agosto	5268	5545	277	5363	95	5392	124
Septiembre	4706	5407	701	5314	608	4550	-156
Octubre	5380	5056	-324	5199	-181	5124	-256
Noviembre	5319	5218	-101	5272	-47	5319	0
Diciembre	5198	5269	71	5277	79	4989	-209
Prom Error			225		218		133

Nota. Elaboración propia.

Se determina que, al evaluar la demanda histórica en los métodos estadísticos más significativos para la elaboración de pronósticos, el método Winter es el más confiable, pues genera un error promedio acumulado de 133 toneladas métricas.

Tabla 2.

Análisis económico sobre inventario de vidrio post consumo

Mes	Pronóstico TM 2022	Recuperadas TM 2022	Error	Costo sobre inventario	Ahorro bunker	Ahorro por precio compra	Ahorro total sobre inven.
Enero	5600	5468					\$ -
Febrero	5350	5363	13	\$ 1,358.11	\$982.80	\$461.89	\$1,444.69
Marzo	5450	5399					\$ -
Abril	4470	4556	86	\$8,984.42	\$6,502	\$3,055.58	\$9,557.18
Mayo	5300	5396	96	\$10,029.12	\$7,258	\$3,410.88	\$10,668.48
Junio	5825	5914	89	\$9,297.83	\$6,728	\$3,162.17	\$9,890.57
Julio	5100	5011					\$ -
Agosto	5475	5521	46	\$4,805.62	\$3,477.60	\$1,208.02	\$5,111.98
Septiembre	5040	5074	34	\$3,551.98	\$2,570.40	\$1,208.02	\$3,778.42
Total	47610	47702	364	\$38,27.08	\$27,518.40	\$12,932.92	\$40,451.32
Ahorro de combustible: 30 galones de bunker / TM vidrio reciclado.						Bunker \$/gal	\$2.52
Ahorro por diferencia de precio MP virgen vs vidrio reciclado.						Dif. Compra \$/TM	\$35.53

Nota. Elaboración propia.

Respecto al impacto financiero, se determina que un sobre inventario de vidrio reciclado genera ahorros en el uso de bunker, ahorros por diferencia de precio de compra y beneficios ambientales como ahorro de espacio en vertederos.

Tabla 3.

Toneladas métricas pronosticadas, recuperadas y porcentaje de cumplimiento

Mes	Pronóstico TM 2022	Recuperadas TM 2022	Diferencia	% Cumplimiento
Enero	5600	5468	-132	97.64%
Febrero	5350	5363	13	100.24%
Marzo	5450	5399	-51	99.06%
Abril	4470	4556	86	101.92%
Mayo	5300	5396	96	101.81%
Junio	5825	5914	89	101.53%
Julio	5100	5011	-89	98.25%
Agosto	5475	5521	46	100.84%
Septiembre	5040	5074	34	100.67%
Promedio	5290	5300		

Nota. Elaboración propia.

Con la aplicación del método Winter se puede obtener un porcentaje de cumplimiento que oscila entre un 97.64% y un 101.92%, lo cual muestra su efectividad de pronóstico.

Discusión de resultados

Con los datos históricos presentados en la figura 2 es posible predecir una estimación de pronósticos. Con lo que Villareal (2016) afirma que los pronósticos son una estimación de un evento futuro a través del análisis de factores variables cuantitativos o cualitativos.

Gutiérrez (2013), establece que en toda empresa o negocio es de vital importancia estimar lo que puede suceder en el futuro, pues de la correcta utilización del modelo de pronósticos, se deriva su utilidad como una herramienta interna en la toma de decisiones que puede generar múltiples beneficios a la organización.

En la tabla 1 se evidencia que todo método para desarrollar pronósticos genera un error de

estimación. Hanke y Wichem (2010), en su investigación definen que el método Winter es el que mejor se adapta al pronóstico de la demanda, ya que considera en su análisis las variables de estacionalidad y suavizamiento exponencial para ajustar el modelo y obtener información más precisa.

La tabla 2 muestra ahorros económicos y ambientales al generar un sobre inventario de vidrio reciclado estimado con el método Winter, y como detalla Cabeza (2012), la actividad de recuperar productos o parte de ellos a través del reciclaje, permiten valorizar los mismos, maximizando su aprovechamiento como materia prima. De igual manera, Feitó (2020) establece que la logística inversa es un conjunto de actividades que se ocupa de recuperar productos y materiales que han llegado al final de su ciclo de vida útil, los devuelve a un proceso productivo dentro de las empresas con el fin de lograr muchas ventajas competitivas y reducción del impacto negativo a la naturaleza.

Conclusiones

1. Se analiza la metodología de recuperación de vidrio post consumo donde se determina que el comportamiento de recuperación en el tiempo, muestra un porcentaje de crecimiento del 19.58% en relación con los años analizados, y que el índice estacional de septiembre está influenciado por el clima lluvioso, que repercute en una recuperación menor de vidrio post consumo.
2. Se identifica el modelo estadístico Winter para la elaboración de pronósticos de recuperación de vidrio post consumo, como un modelo funcional, que al integrar variables de suavizamiento para la estacionalidad, tendencia y ciclo, permite obtener una estimación precisa de la demanda y menor error de estimación acumulado.
3. Se evalúa el impacto financiero con el método Winter para la estimación de la demanda,

donde se establece que el porcentaje de cumplimiento oscila entre un 97.64% a 101.92%. Además, se determina que el costo de inventario por déficit de vidrio post consumo es de \$76,107.08, mientras que el costo por sobre inventario de vidrio genera un ahorro en uso de combustibles, con una diferencia de precio de compra y beneficios ambientales de \$40,415.32.

Recomendaciones

1. Respecto al análisis de la metodología de recuperación de vidrio post consumo, se sugiere al departamento de Reciclaje hacer un análisis del índice estacional para determinar de qué manera puede influir en la estimación de la demanda futura.
2. Con relación a la definición de la herramienta estadística, evaluar el método de estimación de la demanda para determinar si las variables de suavizamiento se ajustan a la demanda real con el fin de minimizar el error de estimación.

Referencias bibliográficas

- Gutiérrez, A. (2013). *Manual de pronósticos para la toma de decisiones*. México: Editorial Digital del Tecnológico de Monterrey.
- Villareal, F. (2016). Introducción a los Modelos de Pronósticos. Universidad Nacional Del Sur, 1(1), 1-121.
- Hanke, J. E., y Wichem, D. W. (2010). *Pronósticos en los negocios*. México: Pearson educación
- Cabeza, D. (2012). *Logística inversa en la gestión de la cadena de suministro*. España: Marge books.
- Feitó, M. (2020). La construcción de escenarios utilizando un sistema de inferencia difuso para la optimización estocástica del rediseño de la cadena de suministro de reciclaje. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 28(3), 476-498

Información del autor

Ingeniero Industrial, Marvin Wilfredo Arévalo Pineda, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2022.

Maestro en Artes en Gestión Industrial, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2023.

Afiliación Laboral: Grupo Vical.

Ingeniero Mecánico Julio Roberto Ramírez Romero, graduado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2012.

Maestro en Administración Industrial y Empresas de Servicio de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2017.

Afiliación Laboral: Walmart México y Centroamérica.

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC PARA LA REDUCCIÓN DE LA VARIABILIDAD EN UN PROCESO DE COMPRESIÓN DE TABLETAS

Application of DMAIC Methodology for Variability Reduction in a Tablet Compression Process

Steffany Yolanda Flores Contreras

Mtr. en Gestión Industrial
uciaflores.cc@gmail.com

Lucía Cecilia Flores Contreras

Mtr. en Ingeniería para el Desarrollo Municipal
floressteffany.iq@gmail.com

Recibido: 10 de octubre de 2023 | Revisado: 24 de abril de 2024 | Aprobado: 8 de junio de 2024

Resumen

La investigación surge ante la necesidad de reducir la variación en los atributos de calidad de los medicamentos fabricados en tableta, ya que cualquier anomalía en su formulación repercute en la salud del consumidor. Se aplica la metodología DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar), la cual permite encontrar causas potenciales de falla en el proceso y proponer un plan de mejora.

Para el análisis de la información, se utilizan herramientas de calidad como índices de capacidad e inestabilidad, análisis de modo y efecto de falla (AMEF), entre otros. Se determina que los principales factores de variación son: control deficiente del proceso y desviaciones en la máquina utilizada.

El plan de mejora para reducir la variación demuestra mejoras en el índice de capacidad ya que se obtienen valores mayores a 1, además los índices de estabilidad evidencian que se logra mantener el proceso bajo control estadístico.

Palabras clave

Plan de mejora, control en proceso, herramientas de calidad, capacidad del proceso, medicamentos.

Abstract

he research developed arose from the need to reduce the variation in the quality attributes of drugs manufactured in tablet form, since any anomaly in their formulation can have repercussions on the consumer's health. To carry out the study, the DMAIC (define, measure, analyze, improve and control) methodology was applied, which made it possible to find potential causes of failure in the process and propose an improvement plan.

Quality tools such as capacity and instability indexes, failure mode and effect analysis (FMEA), among others, were used to analyze the information. It was determined that the main variation factors are: poor process control and deviations in the machine used.

The improvement plan proposed for the reduction of variation showed an improvement in the capacity index, since values greater than 1 were obtained; in addition, the stability indexes indicated that the process is maintained under statistical control.

Keywords

Improvement plan, in-process control, quality tools, process capability, drugs.

Introducción

En la fabricación de medicamentos, controlar la variabilidad en los atributos de calidad es de suma importancia debido a la necesidad de garantizar la seguridad de los productos farmacéuticos para el consumidor. Este estudio se centra en analizar y mejorar el proceso de compresión de tabletas; según Patel, Desai y Thaker (2015) y Hernández y Da Silva (2015), la variación en el peso es el principal atributo de calidad que afecta la concentración de principio activo de la dosis requerida. Por lo tanto, se consideran los atributos clave como el peso, la friabilidad y la dureza de los comprimidos,

Se aplica la metodología DMAIC ya que esta se relaciona específicamente con el pensamiento de la mejora de los procesos mediante la reducción de la variabilidad (Santiago, 2018). Posteriormente, se plantea una estrategia de mejora que consiste principalmente en abordar las deficiencias en el control del proceso actual.

Este artículo presenta una visión general de la metodología, los factores de variabilidad hallados y las propuestas de mejora derivadas de estos.

Desarrollo del estudio

La investigación se realiza bajo un enfoque mixto, diseño no experimental y alcance descriptivo. Las técnicas de recolección de datos que se utilizan incluyen la observación, lluvia de ideas con el personal involucrado y muestreo aleatorio en 3 lotes consecutivos del producto en cuestión. Las variables estudiadas son: peso, dureza y friabilidad de la tableta, así como índices de capacidad e inestabilidad del proceso.

Para el análisis de las variables se realizan mediciones en el laboratorio de control de calidad de la planta de producción de la empresa en estudio. Como sugiere Alba (2020) en su investigación, se utilizan herramientas de calidad como gráficos de control, diagramas de causa y efecto, análisis de modo y efecto de falla, lluvia de ideas, índices de inestabilidad y capacidad del proceso.

El estudio se desarrolla en cuatro fases, en la

primera se recolectan los datos, se realiza la inspección visual, el muestreo y las mediciones de los atributos de calidad de las tabletas. La segunda fase consiste en el análisis de datos, para lo cual se evalúa la situación actual del proceso mediante índices de capacidad e inestabilidad y se identifican los factores de variación mediante herramientas de calidad. En la tercera fase se desarrolla la propuesta de mejora para el control del proceso, la cual se valida en la cuarta fase mediante el cálculo de los índices de capacidad e inestabilidad.

Resultados obtenidos

A continuación, se presenta el resumen de los resultados obtenidos de la investigación.

Se determina la situación actual del proceso mediante los índices de capacidad e inestabilidad calculados para los atributos de peso, dureza y friabilidad, cuyos resultados se presentan en la tabla 1.

De acuerdo con los índices que se obtienen y las observaciones que se realizan durante los procesos de fabricación, se elabora un diagrama de causa y efecto, utilizando para su construcción la metodología 6M; posteriormente se desarrolla AMEF mediante el cual se clasifican las fallas potenciales del proceso de acuerdo con el cálculo del número prioritario de riesgo (NPR).

Tabla 1.

Índices de capacidad e inestabilidad del proceso

Lote	Atributo	Índice St (%)	Índice Cpk
1	Peso	2.22	0.40
	Dureza	1.11	0.72
	Friabilidad	1.11	0.45
2	Peso	0.00	0.58
	Dureza	0.00	0.82
	Friabilidad	1.11	0.78
3	Peso	6.67	0.56
	Dureza	0.00	0.80
	Friabilidad	12.22	0.73

Nota. Análisis de situación actual de la etapa de compresión del proceso de fabricación de tabletas. Elaboración propia.

La tabla 2 resume las causas potenciales seleccionadas.

Tabla 2.

Aplicación de método AMEF

Análisis del modo de falla y efecto (AMEF)									
Etapa del proceso	Modo de falla	Efecto de falla potencial	S (1-10)	Causa de la falla potencial	Riesgo Inherente			NPR	Controles recomendados
					O (1-10)	Controles actuales para la detección	D (1-5)		
Tableteado	Método	Procedimiento de fabricación no reproducible, variación en los atributos de calidad.	8	Control en proceso deficiente	8	Medición de peso, dureza y friabilidad de manera aleatoria durante el proceso.	3	192	Definir límites de control, realizar cartas de control durante el proceso.
				Variación en los parámetros de operación durante el proceso.	7		3	168	Realizar una inspección de atributos después de los ajustes
	Maquinaria	Maquinaria involucrada en el proceso no cumple su función adecuada.	8	Maquinaria de trabajo indefinida para el proceso.	6		3	144	Validación del impacto en el cambio de maquinaria.
				Vibraciones de la tableteadora durante el proceso.	9		3	216	Evaluar cambio de equipo.
	Medición	Impedimento de datos confiables en el control del proceso.	8	Frecuencia de muestreos indefinida.	8	Inspectores de procesos.	4	224	Establecer un proceso de muestreo del mismo.
				Tableteadora sin instrumentos de medición para el control de parámetros.	10		3	210	Definir un patrón de medición aplicable a la tableteadora.

Nota. Factores potenciales con NPR más alto. Elaboración propia.

Las mejores propuestas inician con la elaboración de un plan de muestreo, se define el número de muestras, la frecuencia de muestreo y se diseña un formato de una carta de control para el registro de los muestreos tomados durante el proceso. Se estandariza el número de vueltas necesario para alcanzar el peso y dureza requerido para la tableta y se definen límites de control para el proceso.

Se valida la propuesta mediante la comparación de los índices de capacidad e inestabilidad antes y después de la implementación de las mejoras. La tabla 3 resume los valores de índices obtenidos para el proceso después la implementación de la propuesta de mejora.

Tabla 3.

Índices de capacidad e inestabilidad para validación

Lote	Atributo	Índice St (%)	Índice Cpk
1	Peso	0.00	1.35
	Dureza	0.00	1.27
	Friabilidad	0.00	0.99
2	Peso	0.00	1.24
	Dureza	0.00	1.33
	Friabilidad	0.00	1.08
3	Peso	0.00	1.44
	Dureza	0.00	1.47
	Friabilidad	0.00	0.97

Nota. Validación de propuesta mediante la evaluación de los índices de capacidad e inestabilidad. Elaboración propia.

Discusión de resultados

La tabla 1 muestra los índices de capacidad e inestabilidad del proceso para el análisis de la situación actual, los resultados demuestran que inicialmente el proceso se encuentra relativamente estable, pero los índices de capacidad reportan valores por debajo de 1, lo que según Gutiérrez y de la Vara (2013), en sus criterios de aceptación para este índice, indican que el proceso no es apto para el trabajo y necesita un control riguroso, debido a que su variación respecto a los límites de especificación es mayor a la variación natural del proceso.

La tabla 2 resume el AMEF construido para la etapa de tableado, este análisis evidencia que las causas de mayor impacto son: frecuencia indefinida de muestreos, vibraciones de la tableadora durante el proceso, máquina tableadora sin instrumentos de medición para el control de parámetros, control deficiente del proceso, variación de parámetros de operación durante el proceso y maquinaria de trabajo indefinida para el proceso.

El plan de mejora propuesto se basa en el control durante el proceso de fabricación, a fin de mantener los atributos de calidad dentro de las especificaciones requeridas y de esta manera

reducir la variación en los resultados. Para ello, es de suma importancia la definición de un procedimiento de muestreo, tamaño de muestra y frecuencia, límites de control basados en índices de capacidad, implementación de instrumentos de medición de velocidad de rotación en la tableadora y estandarización del ajuste necesario para la obtención de peso y dureza.

La tabla 2 resume los índices de capacidad e inestabilidad calculados para el proceso al implementar las mejoras propuestas. Se observa que se obtiene índices de capacidad con valores mayores que 1, lo cual indica que el proceso presenta una mejora significativa, pero no lo suficiente para obtener un proceso altamente capaz de cumplir con especificaciones de calidad. Por lo tanto, el proceso puede definirse como estable y parcialmente adecuado, es decir, que aún requiere modificaciones para poder alcanzar un índice de capacidad alto y ser un proceso reproducible.

Conclusiones

1. En la etapa inicial de estudio el proceso de fabricación de tabletas es relativamente estable con valores de los índices de capacidad menores que 1.
2. Las causas potenciales de variación del proceso de fabricación de tabletas son: frecuencia indefinida de muestreos, máquina tableadora con vibraciones durante el proceso y sin instrumentos de medición para el control de parámetros; control deficiente del proceso, variación de parámetros de operación durante el proceso y maquinaria de trabajo indefinida para el proceso.
3. El plan de mejora que se propone e implementa incluye límites de control, procedimientos de muestreo y medición, así como ajustes estandarizados del proceso de tableado. La validación demuestra una significativa reducción en la variación de la calidad al implementar estos controles en el proceso ya que se obtienen índices de capacidad mayores a 1.

Recomendaciones

1. Implementar un control bien estructurado en todas las etapas de la fabricación de tabletas a fin de mantener la calidad del producto.
2. Mantener un monitoreo constante de la estabilidad y capacidad del proceso
3. Realizar análisis continuos para identificar nuevas fuentes de variabilidad y tomar medidas preventivas para evitar problemas futuros.
4. Evaluar la obtención de nueva tecnología para la fabricación de tabletas.

Referencias

- Alba, J. (2020). *Mejora del rendimiento en el producto de tabletas a un 95 %*. Universidad Politécnica de Puerto Rico. <http://hdl.handle.net/20.500.12475/1080>
- Hernández, C. y Da Silva, F. (2015). *Aplicación del control estadístico de procesos (CEP) en el control de su calidad*. <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v36n1/rtq10116.pdf>
- Gutiérrez, H., y de la Vara, R. (2013). *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma*. Interamericana editores, S.A. de C.V.
- Patel, H., Desai, C. y Thaker, A., (2015). *Statistical process control as a tool to control weight uniformity of tablets* [El control estadístico de procesos como herramienta para controlar la uniformidad de peso de las tabletas]. *Journal of Pharmacy and Applied Sciences*, 2(1), 8-15. [https://app.utu.ac.in/jpas/PublishArticles/2015V2i1/JPAS%202015%202%20\(1\)%208-15.pdf](https://app.utu.ac.in/jpas/PublishArticles/2015V2i1/JPAS%202015%202%20(1)%208-15.pdf)
- Santiago, H. (2018). *Herramientas para la gestión de calidad*. Editorial Círculo Rojo.

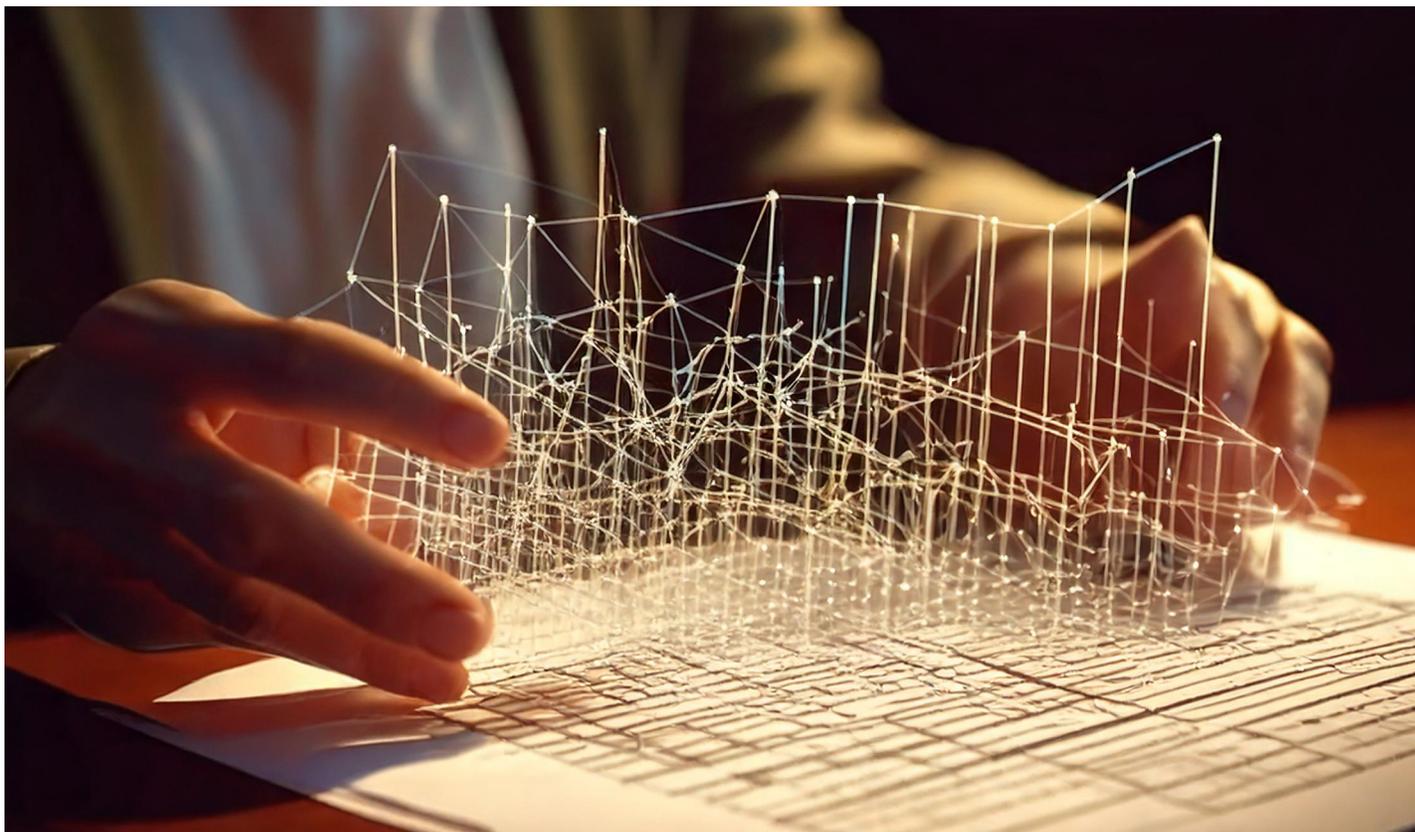
Información del autor

Ingeniera Química, Steffany Yolanda Flores Contreras, egresada de la facultad de ingeniería de la universidad de San Carlos de Guatemala, 2023.

Maestra en Artes en gestión industrial de la universidad de San Carlos de Guatemala, 2023.

Afiliación laboral: Luminova Pharma Group.

ÁREA DE CIENCIAS APLICADAS



MODELO DE REGRESIÓN LOGÍSTICA PARA ESTIMAR LA PROBABILIDAD DE RETENCIÓN DE CLIENTES PROFESIONALES, EN UNA EMPRESA MINORISTA

Logistic regression model to estimate the probability of retention of professional customers in a retail company.

Pedro Pablo Morales Ortiz

Mtr. en Estadística Aplicada
pepamoralesortiz@gmail.com

José Rolando Chávez Salazar

Mtr. en Administración Industrial
rolando.chavez@gmail.com

Recibido: 24 de noviembre de 2023 | Revisado: 3 de mayo de 2024 | Aprobado: 10 de junio de 2024

Resumen

La empresa requiere enfocar sus esfuerzos de mercadeo en desarrollar la lealtad en el segmento de clientes profesionales. Por ende, necesita contar con un sistema de información que indique la propensión a perder a sus clientes.

El estudio busca aplicar un modelo de regresión logística para predecir la retención de clientes profesionales. Se analizan variables que miden el comportamiento del cliente, como las variables RFM, y otras segmentaciones que se obtienen mediante el análisis de la base de datos transaccional de la empresa.

Se presenta el análisis de segmentación de los clientes y el modelo mejor ajustado a los datos reales, con una exactitud de predicción de 69.39%.

Se destaca la utilidad del modelo de regresión como herramienta para la toma de decisiones estratégicas y se recomienda a la empresa utilizarlo para mejorar sus estrategias de retención y fidelización de clientes.

Palabras clave

Modelo de regresión, K medias, correlación, retención de clientes.

Abstract

The company needs to focus its marketing efforts on developing loyalty in the professional customer segment. Therefore, it needs to have an information system that indicates the propensity to lose its customers.

This study aims to build a logistic regression model to predict the retention or churn of professional customers. For this purpose, variables that measure customer behavior, such as RFM variables, and other segmentations obtained through the analysis and data mining of the company's transactional database are analyzed.

The segmentation analysis of the customers and the best-fitting logistic model to the actual data are presented, with a prediction accuracy of 69.39%.

The conclusion highlights the utility of the model as a tool for strategic decision-making and recommends that the company use it to improve its customer retention and loyalty strategies.

Keywords

RFM, K means, correlation, customer churn, probability.

Introducción

El estudio analiza a los clientes profesionales de la empresa a partir de bases de datos transaccionales para identificar el modelo que permite inferir la probabilidad de retención o pérdida de estos.

Estudios previos estiman la probabilidad de compra basándose en las variables RFM (Aleksandrova, 2018). La segmentación de los clientes toma una fuerte importancia en este análisis, donde Cuadros, et al. (2017) y Dogan et al. (2018), lo resuelven usando un enfoque en análisis de datos multivariados.

En el presente estudio, se analizan las variables del método RFM obtenidas por minería de datos. Dichas variables son convertidas en variables categóricas utilizando el método de percentiles y el método de agrupación por K medias. Posteriormente, se realiza un análisis de correlación para determinar las variables a utilizar dentro del análisis de regresión.

Finalmente, se determina un modelo con una exactitud de predicción de 69.39% de los casos; pero el riesgo de basar el servicio en dicho modelo de predicción es únicamente de 12.53%.

Desarrollo del estudio

Se realiza un análisis transversal de los datos transaccionales de 2021 y 2022. Los primeros 18 meses se utilizan para obtener las variables regresoras, y los 6 meses más recientes para determinar la retención o pérdida del cliente.

La siguiente fase corresponde al análisis de las variables recienca (R), frecuencia (F) y monto promedio (M) para hacer su segmentación por medio del método de percentiles y el algoritmo de agrupación por K medias. Se analiza también la correlación entre las variables regresoras y la variable de resultado utilizando pruebas de independencia X^2 .

Por último, se construyen múltiples modelos de regresión logística con diferentes combinaciones de variables.

Los valores estimados se convierten en una

variable dicotómica asumiendo que un valor superior a 50% indica la retención del cliente y caso contrario indica su pérdida. Con esto, se comparan los valores estimados y los valores reales mediante matrices de confusión (Ohsaki et al., 2017) para elegir el modelo con mayor exactitud.

Resultados obtenidos

Inicialmente, se analizan las variables RFM para su categorización usando dos métodos: el método de percentiles y una segmentación por K medias. De este último, se obtienen 3 segmentos suficientemente heterogéneos.

Tabla 1.

Segmentos A, B y C obtenidos por algoritmo de K

	n	F	M	R	TR%
B	555	57.9	5,743.50	12.5	76.6%
C	1,069	138.4	4,272.90	167.1	37.0%
A	914	17.0	3,769.90	199.5	36.2%

Nota. Cantidad de clientes (n), frecuencia promedio en días (F), montopromedio quetzales (M), recienca promedio en días (R) y tasa de retención (TR%). Elaboración propia

Asimismo, se obtienen agrupaciones percentiles de las variables RFM con sus respectivas interacciones (RF, RM, M).

El análisis de correlación, indica una relación significativa para las variables descritas, exceptuando el canal de ventas ($p = 0.43$), y una relación débil para la condición de pago ($p = 0.02$) y la agrupación de F percentil ($p = 0.02$).

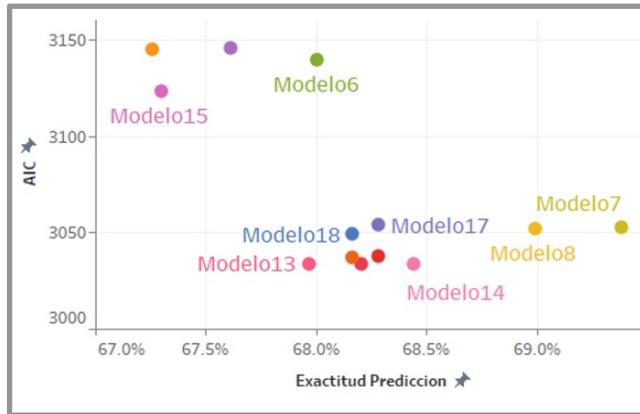
Para la construcción de modelos de regresión se iteran múltiples modelos en software R, utilizando las variables con dependencia significativa. Con ello, se obtienen 18 diferentes modelos, la comparativa de estos se observa en la figura 1.

La medición de la exactitud y el riesgo, que se realiza convirtiendo los valores estimados en una variable dicotómica. Para ello, si el modelo refleja una probabilidad mayor a 0.5, se categoriza como

retención, por el contrario, se categorizó como una predicción de pérdida.

Figura 1.

Comparativa de modelos de regresión logísticos



Nota. Se aplica criterio de información de Akaike (AIC) y su exactitud de predicción. Elaboración propia, con Tableau.

Se observa cómo el modelo denominado “modelo 7”, tiene el valor de exactitud más alto (69.39 % y se obtiene un valor para el criterio de información de Akaike (AIC) similar al de modelos (3,052.5). A continuación, su matriz de confusión.

Tabla 2.

Matriz de confusión del modelo 7 de regresión logística

Valores estimados	Valores reales		Total
	Perdido	Retenido	
Perdido	1,058	463	1,521
Retenido	318	699	1,017
Total	1,378	1,162	2,538

Nota. Elaboración propia.

Dicho modelo está determinado por la siguiente combinación de variables en la notación informática utilizada por el software R.

Estado del cliente - Segmento RFM

+ **Método Envío**

+ **Cantidad Categorías** (1)

+ **Sucursal + Término Pago**

+ **Segmento Cotización + RM**

Discusión de resultados

Las variables RFM que se obtienen de la minería de datos demuestran tener correlaciones débiles, por lo que es factible la aplicación de algoritmos de agrupación. Con ello, se obtiene una segmentación de tres categorías, suficientemente heterogénea, con dependencia significativa ($p < 0.0001$) respecto a la variable de respuesta.

Además, se observa una relación débil entre las variables condición de pago ($p = 0.0276$) y canal de origen ($p = 0.4301$), con la variable de respuesta, respectivamente. Al analizar dicha falta de relación, se identifica que no hay suficientes observaciones para cada factor, haciendo que dichas variables no aporten información relevante al modelo.

El modelo de mejor ajuste presenta una exactitud de 69.39 %, sin embargo, no todos los errores de predicción representan riesgo para la empresa. Debido a las estrategias de servicio al cliente, únicamente los falsos positivos son riesgosos para la empresa. De dicho análisis, se obtiene que el riesgo de error de dicho modelo es de 12.53 %.

La medición de la exactitud del modelo se basa en la conversión de los valores estimados en una variable dicotómica asumiendo un umbral de 0.5. Al profundizar en el valor adecuado de dicha generalización, se obtienen exactitudes similares con valores de umbrales entre 0.45 y 0.55.

Jain et al. (2020) mencionan en los resultados de su estudio una exactitud de predicción de 85.23 % para su mejor modelo de regresión logística. Sin embargo, el estudio mencionado aplica este método en una empresa de telecomunicaciones, donde se tienen esquemas de contratos y otros datos de consumo que permiten tener más información del cliente.

De la misma forma, el estudio de Hargreaves (2019), que también se aplica al sector de telecomunicaciones, presenta una exactitud de predicción de 76.1 % aplicando una regresión logística binaria que incluye hasta 20 variables regresoras. A diferencia del autor, el presente estudio utiliza únicamente 7 variables regresoras para generar resultados similares (69.39 % de

exactitud), manteniendo el principio de parsimonia estadística.

Conclusiones

1. Se segmenta a los clientes profesionales por sus variables RFM utilizando métodos de percentiles y de agrupación por K medias facilitando el análisis del comportamiento de los clientes.
2. Se identifica una correlación significativa entre la recienca, monto promedio y antigüedad de cotización, mientras que las variables canal, frecuencia y condición de pago muestran una correlación débil.
3. En la construcción del modelo se obtiene una ecuación de regresión logística que permite estimar la retención o pérdida del cliente con un 69.39 % de exactitud, y un riesgo de 12.53 %.
4. Se construye el modelo de regresión logística que permite estimar la probabilidad de retención o pérdida de un cliente profesional, una base sólida para enfocar un sistema de seguimiento y servicio estratégico.

Recomendaciones

A las empresas:

1. Implementar los grupos que genere el algoritmo de K medias para la segmentación de sus clientes.
2. Considerar la aplicación del modelo de regresión logística a otros segmentos de clientes para desarrollar estrategias de servicio.

Referencias

Aleksandrova, Y. (2018). *Application of machine learning for churn prediction base don transactional data (RFM análisis)*. SGEM International Multidisciplinary ScientificGeoConference EXPO Proceedings. Congreso llevado a cabo en Sofia, Bulgaria. <https://doi.org/10.5593/sgem2018/2.1/s07.016>.

Cuadros, L. Gonzales, C. y Jiménez, P. (2017). Análisis multivariado para segmentación de clientes basada en RFM. *Tecnura*, 21(54), 41–51. <https://doi.org/10.14483/22487638.12957>

Dogan, O., Aycin, E., & Bulut, Z. (2018). Customer segmentation by using rfm model and clustering methods: a case study in retail industry. *International Journal of Contemporary Economics and Administrative Sciences*, 8(1), 1–19. <https://doi.org/10.5930/issn.1925-4423>

Hargreaves, C. (2019). A Machine Learning Algorithm for Churn Reduction & Revenue Maximization: An Application in the Telecommunication Industry. *International Journal of Future Computer and Communication*, 8(4), 109–113. <https://doi.org/10.18178/ijfcc.2019.8.4.550>

Jain, H., Khunteta, A., & Srivastava, S. (2020). Churn Prediction in Telecommunication using Logistic Regression and Logit Boost. *Procedia Computer Science*, 167, 101–112. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.187>

Información del autor

Ingeniero Mecánico Industrial, Pedro Pablo Morales Ortiz, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2023.

Maestría en Artes en Estadística Aplicada, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2023.

Afiliación laboral: Ferco.

Ingeniero Industrial, José Rolando Chávez Salazar, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1996. Maestro en Administración Industrial, Universidad Rafael Landivar, 1999.

Afiliación laboral: Centro de Formación Profesional.

DESARROLLO DE UNA GALLETA CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINAS DE MAÍZ Y FRIJOL BIOFORTIFICADOS

Development of a cookie with partial substitution of biofortified corn and bean flour

Erick Ricardo Aguilar Castillo

Mtr. en Ciencia y Tecnología de Alimentos
er_acastillo@yahoo.es

Byron Rodas Aroche

Mtr. en Gestión y Auditorías Ambientales
brodasa21@gmail.com

Recibido: 12 de octubre de 2023 | Revisado: 22 de abril de 2024 | Aprobado: 6 de julio de 2024

Resumen

El objetivo del estudio es el desarrollo de galletas con inclusión de maíz y frijol biofortificados. Se evalúan diez mezclas a las que se les cuantifica color, proteína, hierro, zinc y aceptabilidad sensorial. La utilización de harina de frijol disminuye los valores de luminosidad y aumenta el contenido de proteína y hierro; mientras que cantidades altas de maíz, disminuyen la cantidad de proteína y hierro, pero aumentan la cantidad de zinc. Para el análisis sensorial se eligen tres formulaciones en función del contenido nutricional, que presentan aceptación sensorial superior a cuatro en la escala de cinco puntos; sin diferencias estadísticas significativas entre la galleta elaborada con trigo y todas las formulaciones. La mejor proporción de harina de trigo, maíz y frijol es de 38.63 %, 34.23 % y 27.13 %, respectivamente; con la cual se obtiene 13.59 g/100 g de proteína, 3.66 mg/100g de hierro y 4.63 mg/100g de zinc.

Palabras clave

Nutrición, micronutrientes, mejoramiento de alimentos, proteína vegetal, prueba hedónica.

Abstract

The objective of the study is the development of biscuits with the inclusion of biofortified corn and beans. Ten mixtures are evaluated to which color, protein, iron, zinc and sensory acceptability are quantified. The use of bean flour decreases the luminosity values, increases the protein and iron content. While using high amounts of corn, the amount of protein and iron decreases, but the amount of zinc increases. For the sensory analysis, three formulations are chosen based on the nutritional content, no significant statistical difference was found with respect to the biscuit made with wheat and all the formulations present sensory acceptance greater than four on the five-point scale. The optimization resulted in the best proportion of wheat, corn and bean flour is 38.63%, 34.23% and 27.13% respectively, with which protein is obtained 13.59 g/100 g, iron 3.66 mg/100g and zinc 4.63 mg/100g.

Keywords

Nutrition, micronutrients, food improvement, vegetable protein, hedonic test

Introducción

Una de las estrategias que se está utilizando para disminuir la desnutrición es la utilización de cultivos biofortificados. Ésta consiste en incrementar la cantidad de nutrientes en cultivos básicos para la alimentación (Nestel et al., 2006). Una de las instituciones que está impulsando esta estrategia es el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA), donde se generan variedades de maíz, frijol y camote biofortificados; sin embargo, estos no se aprovechan para el procesamiento de alimentos. Debido a ello, en esta investigación se realiza la formulación de una galleta de trigo con sustitución parcial por harina de maíz y/o frijol, en la que se utiliza maíz ICTA B-15 el cual tiene mejor calidad de proteína y 35 % más zinc que el maíz sin biofortificación. Respecto al frijol se utiliza la variedad ICTA ChortíACM la cual tiene un contenido de 95 ppm de Hierro, lo cual equivale a cerca del doble respecto al frijol común. Con una combinación de trigo, maíz y frijol se obtiene una galleta con mayor y mejor calidad de proteína que una galleta elaborada únicamente con trigo, además que presenta mayor densidad de nutrientes, esta formulación puede ser utilizada en los programas de alimentación escolar.

Desarrollo del estudio

Se elaboran 10 formulaciones de galleta basadas en las combinaciones del Diseño Simplex con Centroide, el 48 % de la formulación es harina y como ingredientes complementarios se usan leche descremada en polvo, mantequilla de maní, huevo, agua y polvo de hornear.

Las galletas se elaboran en la planta piloto de alimentos del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola, para pesaje de los ingredientes se utiliza una balanza Ohaus con precisión de 0.1g y para hornear se utiliza un horno de convección.

Como variables de respuesta se evalúa el color de las galletas en el sistema CIE Lab*, para ello se utiliza el colorímetro Nix QC, además se determina el contenido de proteína, hierro y zinc.

Así también, se identifica la aceptación sensorial por parte de panelistas no entrenados.

El análisis nutricional se realiza en el laboratorio de Química Agrícola del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA) en El Salvador, la metodología para ello es la propuesta por la AOAC 1990. La evaluación sensorial se realiza en las instalaciones del ICTA y en San José La Máquina, Suchitepéquez, el análisis lo realizan 100 panelistas no entrenados por medio de escala hedónica de cinco puntos.

Resultados obtenidos

Existe diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) para los parámetros medidos de color en sistema CIE Lab*

Tabla 1.

Color de las formulaciones de galletas

T	M	F	L	a	b	C
0	0	1	44.38 b	06.67 d	16.26 d	
0	1	0	53.41 a	14.94 b	31.95 a	
1	0	0	54.44 a	14.66 b	32.61 a	
0.5	0	0.5	47.19 b	10.51 c	22.96 c	
0.5	0.5	0	51.70 a	17.31 a	32.48 a	
0.00	0.5	0.5	48.51 b	10.59 c	23.64 c	
0.33	0.33	0.33	49.59 b	11.89 c	26.51 b	
0.67	0.16	0.16	48.04 b	14.25 b	28.03 b	
0.16	0.16	0.67	45.82 b	09.61 c	22.01 c	
0.16	0.67	0.16	47.66 b	14.50 b	28.01 b	

Nota. T: trigo, M: maíz, F: frijol, C: color. Elaboración propia.

De los resultados nutricionales existe diferencia significativa para proteína, hierro y zinc, el uso de combinaciones de trigo, maíz y frijol tiene efecto en el contenido nutricional de la galleta.

Tabla 2.

Contenido nutricional de las galletas

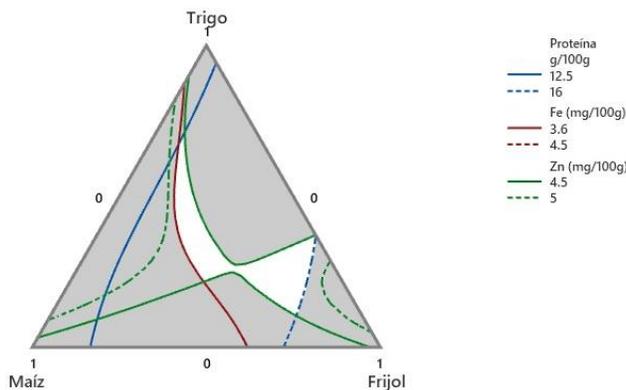
Trigo	Maíz	Frijol	Proteína (g/100g)	Hierro (mg/100g)	Zinc (mg/100g)
0	0	1	17.60 a	4.02 a	4.61 b
0	1	0	11.40 e	2.14 c	4.37 b
1	0	0	11.99 e	3.90 a	3.74 b
0.5	0	0.5	15.42 b	3.95 a	3.59 b
0.5	0.5	0	11.95 e	3.26 b	6.27 a
0.00	0.5	0.5	14.67 c	3.39 b	3.39 b
0.33	0.33	0.33	14.11 c	3.65 a	4.51 b
0.67	0.16	0.16	13.02 d	3.80 a	3.90 b
0.16	0.16	0.67	15.71 b	3.79 a	4.71 b
0.16	0.67	0.16	12.65 d	3.18 b	4.85 b

Nota. elaboración propia, con base en resultados del laboratorio de Química Agrícola del CENTA.

Al optimizar las formulaciones por medio de gráfico de contorno, se obtiene la Figura 1. Se establecen como valores mínimos los siguientes: 12.5 g de proteína, 3.6mg de Fe y 4.5 mg de Zn.

Figura 1.

Optimización de las formulaciones de galletas



Nota. Elaboración propia.

Discusión de resultados

Todas las formulaciones que incluyen frijol presentan valores distintos al resto de tratamientos, los valores para la variable L* son menores respecto a los tratamientos que únicamente incluyen maíz, trigo o su combinación. Un efecto similar ocurre con las

variables de a* y b*, cuyos valores son inferiores respecto al testigo, la utilización de harina de frijol en la elaboración de galletas modifica el color de las mismas, brindando un color más oscuro (Simons y Hall, 2018), esto es resultado del contenido de fitoquímicos presentes en el frijol que también pueden tener un efecto como antioxidantes (Boateng et al., 2008).

La elaboración de galletas con 100 % trigo o la combinación de trigo y maíz en proporciones iguales incide en menores valores de proteína que en el resto de formulaciones, Rai (2014) determina que galletas con harina de maíz tienen alrededor de 7g de proteína/100g de galleta, estos valores incluso son menores a los alcanzados en este estudio, probablemente debido a la utilización de leche descremada en polvo. La utilización de frijol en la elaboración de galletas aumenta la cantidad total de proteína y mejora significativamente el contenido de proteína en los productos elaborados (Mecha et al., 2021).

En cuanto a la variable de Hierro, es afectada positivamente por la cantidad de frijol y negativamente por la cantidad de maíz, los tratamientos donde se utiliza maíz en proporción superior a 0.5 presentan significancia respecto a la cantidad de Hierro, existe correlación inversa, ya que tienen menor cantidad del mineral. Caso contrario sucede con la incorporación de frijol, a mayor porcentaje de harina de frijol biofortificado que se utiliza también aumenta la cantidad de Hierro total. Magallanes (2023) menciona que el uso de frijol en la formulación de galletas libres de gluten mejora el perfil nutricional e incrementa el contenido de hierro.

La cantidad de Zinc aumenta al utilizar maíz en la formulación, esto se debe a la cantidad presente de este mineral en el grano (Gomes et al., 2021), por lo que la combinación de trigo y maíz en partes iguales incrementa la cantidad total del micronutriente respecto al resto de tratamientos.

En la Figura 1 se observa el área que optimiza las cantidades de nutrientes en la galleta, para ello se definen los límites inferiores y superiores, por medio del análisis en el software Minitab se determina que el punto óptimo corresponde a 38

% de trigo, 34 % de maíz y 27 % de frijol; esta combinación da como resultado 13.59g de proteína, 3.66mg de hierro y 4.63mg de zinc. Este contenido nutricional es mayor que el de una galleta elaborada únicamente con harina de trigo, además es probable que se mejore el perfil de aminoácidos y ácidos grasos.

Como resultado de la evaluación sensorial de aceptación, se reporta que todas las muestras son iguales para los panelistas en función de olor, sabor, textura, color y aceptación. Además, todas las formulaciones presentan valores superiores a cuatro en la escala de cinco puntos.

Conclusiones

1. Se elaboran 10 formulaciones de galleta a base de trigo, maíz y frijol, se evalúan combinaciones extremas e intermedias las cuales presentan características químicas, físicas y sensoriales deseables.
2. Se determina que la incorporación de harina de frijol modifica el color de las galletas y disminuye el parámetro de luminosidad.
3. Se cuantifica el contenido nutricional de la galleta y se determina que es posible mejorar la cantidad de proteína, hierro y zinc con una proporción de 38 % trigo, 34 % de maíz y 27 % de frijol.
4. Según el análisis sensorial con panelistas no entrenados se identifica que todas las formulaciones presentan aceptación sensorial alta y no existe diferencia entre ellas.

Recomendaciones

1. Para mejorar la textura de la galleta se recomienda usar hidrocoloides para obtener mejores características físicas y sensoriales.
2. Para elaborar la harina de frijol se recomienda eliminar la cáscara para obtener harina blanca.
3. Validar el contenido nutricional de la mezcla

que se obtiene por optimización, la cual corresponde a 38 % trigo, 34 % maíz y 27 % frijol.

Referencias

- Boateng, J., Verghese, M., Walker, L. & Ogutu, S. (2008). Effect of processing on antioxidant contents in selected dry beans (*Phaseolus spp.* L.). *LWT-Food Science and Technology*, 41(9), 1541-1547.
- de Magallanes, C. S., de Almeida Marques, G., Bazán-Colque, R. J., Moraes, E. A., da Silva, E. M. M., & Ascheri, J. L. R. (2023). The Addition of Pinto Bean Flour and Margarine in the Development of Red Rice-Based Novel Gluten-Free Cookies to Improve the Technological, Sensory and Physicochemical Properties. *Plant Foods for Human Nutrition*, 78(1), 100-108.
- Gomes, M. ., Martino, H. ., & Tako, E. (2021). Zinc-biofortified staple food crops to improve zinc status in humans: a systematic review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-13.
- Mecha, E., Correia, V., Bento da Silva, A., Ferreira, A., Sepodes, B., Figueira, M. & Rosário Bronze, M. (2021). Improvement of wheat cookies' nutritional quality, by partial substitution with common bean and maize flours, sustained human glycemia and enhanced satiety perception. *Cereal Chemistry*, 98(5), 1123-1134.
- Rai, S., Kaur, A., & Singh, B. (2014). Quality characteristics of gluten free cookies prepared from different flour combinations. *Journal of food science and technology*, 51, 785-789.
- Simons, C. W., & Hall III, C. (2018). Consumer acceptability of gluten-free cookies containing raw cooked and germinated pinto bean flours. *Food science & nutrition*, 6(1), 77-84.

Información del autor

Ingeniero en Agroindustria Alimentaria, Erick Ricardo Aguilar Castillo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, 2013.

Maestría en Ciencia y Tecnología Alimentos de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2023.

Afiliación laboral: ICTA.

Ingeniero agrónomo, Byron Rodas Aroche, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2011. Maestro en Gestión y Auditorías Ambientales, Universidad Europea del Atlántico, 2021.

Afiliación Laboral: CONAP

ÁREA DE DESARROLLO SOCIOAMBIENTAL Y ENERGÉTICO



PROPUESTA DE MODIFICACIONES AL MARCO REGULATORIO REGIONAL, PARA PERMITIR LA IMPLEMENTACIÓN DE CONTRATOS DE LARGO PLAZO EN EL MERCADO ELÉCTRICO REGIONAL DE CENTROAMÉRICA

Proposal for amendments to the regional regulatory framework, allowing the implementation of long-term contracts in the Central American regional electricity market

Sergio Gabriel Noriega Buch

Mtr. en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados
sergiognb12@gmail.com

José Emilio Zambrano Quinteros

Mtr. en Administración de Empresas
josezambranoq@gmail.com

Recibido: 15 de noviembre de 2023 | Revisado: 22 de febrero de 2024 | Aprobado: 16 de julio de 2024

Resumen

Este artículo analiza los contratos a largo plazo dentro del contexto del Mercado Eléctrico Regional, el cual se origina en el año 2000, logrando la interconexión de los mercados de Centroamérica y el fortalecimiento de la red de transmisión. Sin embargo, las condiciones actuales limitan la realización de contratos para periodos de más de un año; este estudio se propone explicar el porqué de esta situación.

Para ello se analizan datos históricos de los cargos de transmisión y de las transacciones de energía, la normativa vigente y los recursos de reposición resueltos por la Comisión Regional de Interconexión Eléctrica (CRIE), con ello se identifica variabilidad en los costos de transmisión y artículos de la normativa que limitan las transacciones y afectaciones derivadas de conflictos entre entidades regionales y nacionales. Con base en estos hallazgos se presentan las conclusiones y recomendaciones, que derivan en cambios que incentiven este tipo de transacciones.

Palabras clave

Mercado eléctrico, alta dispersión, cargo variable de transmisión, derecho firme, recurso de reposición.

Abstract

This article analyzes long-term contracts within the context of the Regional Electric Market, which originated in the year 2000, achieving the interconnection of Central American markets and the strengthening of the transmission network to date. However, current conditions limit the execution of contracts for periods longer than one year. This study aims to explain the reasons behind this situation.

To do so, historical data on transmission charges and energy transactions, current regulations, and replacement resource resolutions by CRIE have been analyzed. This analysis has identified variability in transmission costs, regulatory provisions that restrict transactions, and impacts resulting from conflicts between regional and national entities. Based on these findings, conclusions and recommendations are presented to encourage changes that promote this type of transactions.

Keywords

Limitations, high dispersion, variable transmission charge, firm right, replacement resource.

Introducción

Ante la necesidad de asegurar el abastecimiento de energía, las naciones de Centroamérica visualizan la integración regional como la ruta más segura y efectiva para este fin, para lo cual acuerdan la creación del MER bajo los principios de gradualidad, reciprocidad y competencia (SICA, 1996).

Las transacciones se realizan en periodos cortos, máximos de un año, los contratos con horizontes extensos no tienen un desarrollo normativo. Lewis (1966) define el largo plazo como un lapso entre diez y veinte años, hoy en día una contratación con esta extensión no es posible.

De ahí la importancia de este análisis, el cual pretende identificar las causas que limitan los contratos de larga duración. Este artículo contiene el desarrollo del estudio, los resultados obtenidos y su discusión, así como las conclusiones y recomendaciones las cuales se orientan a proponer modificaciones que mitiguen las limitantes identificadas.

Desarrollo del estudio

Este estudio se desarrolla con un diseño no experimental, el análisis se efectúa con datos estadísticos históricos de las transacciones del MER. Se adopta un enfoque mixto, ya que el análisis incluyó variables que fueron analizadas por medio de estadística descriptiva; por otra parte, la cualitativa permitieron determinar si existen limitantes para la implementación de contratos a largo plazo.

Los datos históricos que se utilizan para análisis se obtienen de las bases de datos de entidades tales como CRIE, EOR y AMM para los años de 2015 a 2020.

Los aspectos que se evalúan en el estudio incluyen los costos de transmisión, artículos limitantes contenidos en la normativa regional y los procesos de resolución de conflictos; cada aspecto tiene asignado dos variables de análisis que incluyen datos que no se obtienen de forma directa, como el caso del CVT, el cual se obtiene de la diferencia

entre el precio ex ante en el nodo de retiro y el ex ante en el nodo de inyección (CREIE, 2005).

Resultados obtenidos

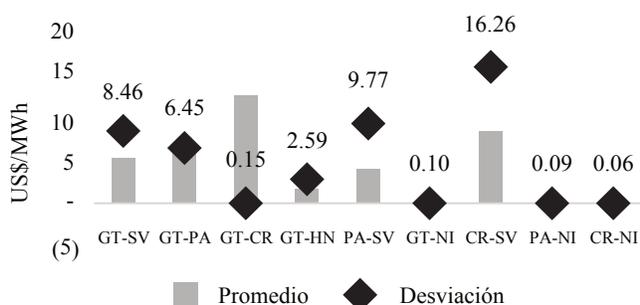
El estudio identifica que existen aspectos que limitan la implementación de contratos a largo plazo en el MER, que se presentan a continuación.

Cargo variable de transmisión: por medio de análisis estadístico descriptivo se identifica que no existe una tendencia para este cargo, el valor del CVT no es predecible y varía en un rango amplio, la desviación estándar indica una alta dispersión.

Costo de derecho firme de transmisión: mediante la desviación estándar se determina una alta variabilidad de los precios, véase Figura 1.

Figura 1.

Promedio y desviación del costo de derecho



Nota. Elaboración propia.

Recurrencia de aspectos limitantes: se identifica que los tres aspectos más recurrentes son la transmisión regional (35 %), mercado de contratos (18 %) y planificación (12 %).

Artículos que limitan los contratos a largo plazo: mediante la evaluación cualitativa de la normativa regional se identifican 34 artículos que contienen una limitante para la implementación de contratos a largo plazo.

Recursos de reposición resueltos: para el periodo de análisis se identifica que a partir del año 2017 la cantidad de recursos de reposición se incrementa como resultado de modificaciones al RMER efectuadas por la CRIE las cuales son

impugnadas por los agentes, el resultado de estos procesos es que 84.9 % se resuelve sin lugar.

Energía interrumpida por conflictos: como resultado del conflicto Guatemala – EOR, durante los años 2016 al 2019 se afectan las transacciones durante 988 horas, la cantidad de energía interrumpida se estima en 186,512 MWh.

Discusión de resultados

Mediante el análisis del CVT y el costo de derecho firme, se identifica que existe una alta variabilidad de los cargos de transmisión, la causa principal de esto es el modelo actual utilizado para el cálculo, el cual se basa en la metodología de precios nodales los cuales tienen una fluctuación intrínseca. Esta situación es un riesgo latente para las transacciones a largo plazo, la poca certeza de este cargo desincentiva este tipo de contratos.

En su artículo, Fernández (2021) indica que el MER no ha desarrollado su potencial y se encuentra limitado a la compraventa de excedente, por lo que es necesario que las entidades regionales evalúen la normativa regional a efecto de eliminar barreras de mercado.

A través del análisis normativo se identifican artículos que son una limitante, se recomienda evaluar la modificación de aspectos técnicos como la metodología para el cobro del servicio de transmisión, considerando la variabilidad actual; respecto al diseño de mercado es importante extender su horizonte, ya que actualmente se orienta a transacciones de corto plazo; en cuanto a la planificación es necesario extender su alcance.

Finalmente, se ha demostrado que existe dificultad para resolver de manera efectiva y satisfactoria los conflictos que surgen en el MER, ya que el procedimiento actual asigna un doble rol a las entidades regionales desvirtuando el proceso. Ovalle (2016) indica que para resolver un conflicto

es necesario que exista imparcialidad, quien resuelve debe ser un tercero que no tiene intereses en la controversia y es ajeno a la pugna. Los conflictos han provocado afectaciones a los agentes y esto ha creado inestabilidad del mercado.

Conclusiones

1. Con base en el análisis de la información histórica de los cargos del servicio de transmisión, se determina que existe una alta dispersión de los precios y un amplio rango de variación, esto se debe al modelo actual de cálculo el cual considera los precios nodales que introducen fluctuaciones, lo cual representa un riesgo para las transacciones a largo plazo.
2. Se identifica que existen artículos en la normativa regional que limitan las transacciones a largo plazo, específicamente los que regulan el mercado de contratos, los cargos de transmisión y la planificación, las cuales actualmente tienen un diseño orientado al corto plazo.
3. Existe debilidad en el procedimiento de resolución de conflictos, específicamente los que involucran órdenes o resoluciones de entidades regionales, pues la normativa actual asigna un doble rol a las entidades regionales; dicha falencia ha provocado afectaciones a las transacciones.
4. Se identifica que para viabilizar los contratos a largo plazo es necesario modificar aspectos de la normativa regional, técnicamente se debe eliminar conceptos que mantienen limitado el mercado y lo restringen a transacciones de corto plazo. Desde la perspectiva legal es necesario propiciar cambios que garanticen la certeza jurídica del mercado y la integración de las regulaciones.

Recomendaciones

1. A la Comisión Regional de Interconexión Eléctrica se recomienda:
2. Modificar la metodología de cobro de los servicios de transmisión, que reduzca la variabilidad de este cargo y viabilice la implementación de contratos a largo plazo dentro del MER.
3. Evaluar la modificación de los aspectos técnicos contenidos en la normativa en los que prevalece un diseño de mercado a corto plazo, considerando, aspectos como el mercado de contratos y el horizonte de la planificación.
4. Modificar el procedimiento para resolución de conflictos, eliminando condiciones que dupliquen roles dentro del proceso a efecto de eliminar conflictos de interés, evaluar la utilización de mesas de arbitraje o la intervención de la Corte Centroamericana de Justicia como instancia final.

Referencias

- CRIE (2005). *Reglamento del Mercado Eléctrico Regional*. Guatemala: Autor.
- Fernández, R. (2021). De la invocación del artículo 38 del Tratado Marco del Mercado Eléctrico de América Central y sus Protocolos por la República de Guatemala como un ejercicio de soberanía. *Guatelectrica*, (5), 6-11. <https://www.cnee.gob.gt/tmp/Guatelectrica/GUATElectrica-5.pdf>

Lewis, W. (2005). *Development Planning*. Nueva York, Estados Unidos: Routledge.

Ovalle, J. (2016). *Teoría General del Proceso*. Oxford University Press México, S.A. de C.V.

Sistema de Integración Centroamericana. (1996). *Tratado Marco del Mercado Eléctrico de América Central*. Guatemala: Autor

Información de los autores

Ingeniero Mecánico Electricista, Sergio Gabriel Noriega Buch, Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2023.

Maestro en Artes en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2023.

Afiliación laboral: Ingenio Magdalena, S.A.

Ingeniero Electricista, José Emilio Zambrano Quinteros, Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2012.

Magister en Administración de Empresas de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad Rafael Landívar, 2020.

Afiliación laboral: Transportadora de Energía Eléctrica de Centroamérica, S.A.

INCORPORACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA RENOVABLE INTERMITENTE EN LA MATRIZ DE GENERACIÓN DEL SISTEMA AISLADO DE LA ISLA DE UTILA, HONDURAS

Incorporation of intermittent renewable energy in to the stand alone Grid generation matrix of Utila island, Honduras

David Enrique Lagos Figueroa

Mtr. en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados
davidlagosfigueroa@gmail.com

Edwin Manolo Tock Amézquita

Mtr. en Ingeniería Administrativa
manolo_tock@hotmail.com

Recibido: 23 de abril de 2023 | Revisado: 23 de mayo de 2024 | Aprobado: 8 de julio de 2024

Resumen

Utila es una isla del caribe hondureño, su demanda de energía eléctrica es cubierta por generación a base de motores diésel. Esta situación provoca que el comportamiento del costo de la energía eléctrica sea tan volátil como el cambio de precio de los hidrocarburos. Esta investigación propone una matriz de generación de energía eléctrica con la incorporación de energías renovables para obtener un costo de kWh menos dependiente de la variación de precios de los hidrocarburos, sin comprometer la calidad del servicio.

Evaluando las fuentes renovables de la isla y con la ayuda del software Homer, se propone una matriz con el 70 % de participación de fuentes renovables solar y eólica, así como la utilización de almacenamiento que reduce a un tercio el consumo de diésel, mantiene un costo nivelado de la energía y la variación del costo del kWh y es menos susceptible al cambio del precio del diésel.

Palabras clave

Energía renovable, sistema aislado, micro red, programa Homer, isla.

Abstract

Utila is an island in the Honduran Caribbean, its electrical energy demand is being covered by diesel engines. This causes the electrical energy cost fluctuation to be as volatile as the change in the price of hydrocarbons.

This research seeks to propose an electrical power generation matrix with the renewable energies incorporation to obtain a kWh cost less dependent on the variation in hydrocarbon prices, without compromising the service quality.

Evaluating the island renewable sources with the help of the Homer software, a matrix is proposed with 70% participation of renewable sources (solar and wind) and storage, which reduces diesel consumption to a third, maintains a leveled cost of energy and kWh cost variation is less susceptible to diesel price.

Keywords

Renewable energy, micro grid, stand alone, HOMER software, island.

Introducción

Muchas comunidades aisladas satisfacen su demanda de energía eléctrica con motores de combustión interna por su versatilidad, confiabilidad y disponibilidad en toda época del año. La desventaja de estos sistemas es la volatilidad de los precios del combustible fósil que incide de manera directa en el costo del kWh (Bhandari, 2013).

Esta situación la afronta la isla de Utila, en el caribe hondureño, ya que, para mitigar esta incertidumbre de precios, planifica integrar energías renovables variables en su matriz de generación.

Como punto de partida se realiza el levantamiento de las fuentes renovables con potencial de aprovechamiento comercial, se estima su generación de energía anual y para finalizar se utiliza el programa Homer para desarrollar una matriz de generación con alta participación de energía renovable variable (Zhu, 2018).

La matriz resultante alcanza un 70 % de participación de energía renovable variable y reduce el consumo de combustible a un tercio, sin desmejorar la calidad de la energía suministrada.

Desarrollo del estudio

El enfoque del estudio realizado es mixto, ya que parte de las variables relacionadas con los recursos existentes en la isla que se pueden expresar o medir con números; así como la dirección del viento que solo se expresa con orientaciones. Esta investigación tiene un alcance descriptivo, ya que se compara el comportamiento del sistema aislado con diferentes porcentajes de participación de las energías renovables variables.

Su diseño abarca en fases, primero la revisión de la literatura existente, después la determinación de las fuentes de energía renovable que hay en la isla con la evaluación de su potencial, pasando a la

tercera fase que corresponde al desarrollo de las posibles matrices de generación, y finaliza en la implementación de un programa digital para obtener la matriz de generación óptima para Utila.

Al finalizar todas las fases de la investigación se obtiene un escenario con un porcentaje de participación de energía renovable variable muy por arriba del 50 %, lo que permite un costo de generación que sea menos variable con el cambio de los precios del combustible (IEA 2022).

Resultados obtenidos

Utila es una isla con una superficie de 44 km² y, las microcuencas son inexistentes por lo que no se puede utilizar tecnología para aprovechamientos hidráulicos; alrededor de la isla hay áreas protegidas por lo que no se permite la implementación de tecnología mareomotriz y no es bien visto por las autoridades la quema de desechos orgánicos.

Los datos para evaluar el recurso del viento se obtienen del monitoreo de doce meses, instalando un anemómetro en un mástil a 10 y 20 metros de altura, para registrar cada cinco minutos la velocidad y dirección del viento. La evaluación de estos datos se presenta en la sección de resultados.

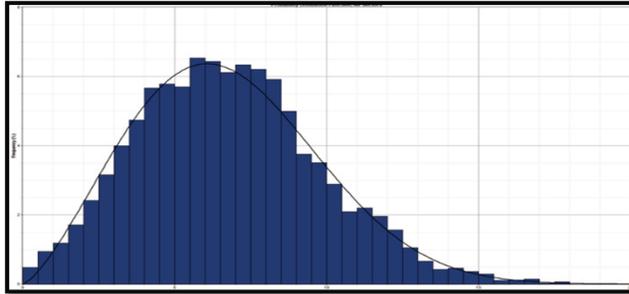
En el mismo período se registra el comportamiento de la demanda de potencia de la isla, estos resultados se muestran de manera condensada en la figura 2.

Con toda la información recopilada se plantean tres escenarios para ser evaluados:

1. Con un solo generador diésel existente.
2. El caso del costo más bajo, resulta en el costo actual neto más bajo.
3. El caso de mayor integración de energías renovables, con la incorporación de un sistema de almacenamiento de energía (Afzal, 2023).

Figura 1.

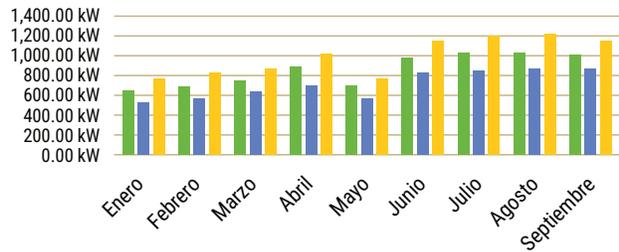
Distribución de Weibull para las mediciones de viento en Utila



Nota. La figura muestra la distribución de Weibull para las condiciones de Utila $k=2.38$ y $C=7.36$ m/s. Gráfico obtenido mediante Windographer.

Figura 2.

Comportamiento de la demanda en Utila



Nota. La figura muestra un resumen del comportamiento de la demanda de la isla de Utila. Elaboración propia.

La evaluación de los tres casos se puede observar en las tablas 1 y 2.

Tabla 1.

Capacidad instalada y de generación por tecnología

Escenario	Capacidad instalada				Producción anual		
	Solar (kW)	Eólica (kW)	Diesel (kW)	Batería (kW)	Solar (kW)	Eólica (kW)	Diesel (kW)
Escenario 1			1,280				4,854
Escenario 2	1,920	330	1,280		3,064	554	2,822
Escenario 3	1,750	660	1,280	4,759	2,553	2,214	1,417

Nota. La tabla muestra la capacidad instalada en cada escenario propuesto por cada una de las tecnologías y su energía generada al año. Elaboración propia.

Tabla 2.

Inversiones necesarias por escenario propuesto

	Demanda GWh/año	Costo del Diesel US\$/l	Inversión millones US\$	Diesel millones US\$	LCOE US\$/kWh
Escenario 1	4,854	1.1	2.15	20.38	0.3435
Escenario 2	4,854	1.1	2.15	12.23	0.3209
Escenario 3	4,854	1.1	5.5	6.13	0.3236

Nota. La tabla muestra la inversión necesaria para implementar cada escenario propuesto y el consumo de diésel que conlleva. Elaboración propia.

El caso de mayor penetración de energías renovables se logra al incrementar la capacidad de almacenamiento, lo que a su vez permite aumentar la capacidad de generación eólica.

La participación de potencia instalada, sin considerar el almacenaje, es 70 % y la energía renovable generada dividida por la energía total, es una medida de penetración relacionada con la energía generada, que se describe como la proporción de la carga de energía de un determinado período que se suministra a partir de energía renovable variable, sobre la totalidad de energía generada, en el caso con mayor penetración es de un 77 %.

Una comparación entre estas dos medidas muestra el impacto de agregar almacenamiento, lo que permite una mayor capacidad eólica y una sustitución de la generación diésel, reducción a un tercio de la generación actual, por energía suministrada por baterías en ciertos momentos en los que puede complementar las fuentes renovables, en particular la eólica en horas valle.

Discusión de resultados

Tomando en consideración todas las condiciones técnicas, legales, geográficas, ambientales y sociales, se determina que en la isla de Utila las tecnologías para el aprovechamiento de las energías renovables de manera comercial son la solar fotovoltaica y la eólica, como se muestra en la tabla 1. Para calcular el potencial de los recursos renovables existentes en la isla se usan mediciones del viento por medio de

anemómetros, que luego se condensan para aplicar una distribución de Weibull como se muestra en la figura 1.

Con la ayuda del programa Homer, se estima la producción de cada tecnología y las entrelaza con la demanda para determinar la contribución idónea (Dykes, 2017).

Después de analizar los tres escenarios propuestos, se determina que la penetración de energía renovable variable puede llegar hasta un 77 % del total de la energía demandada por la isla, con una potencia instalada del 70 %, como muestran en las tablas 1 y 2, logrando un costo nivelado de energía menor al del escenario de solo utilizar diésel.

Conclusiones

1. La disponibilidad de fuentes de energías renovables en Utila, al igual que muchas islas pequeñas alrededor del mundo, se ve limitada por condiciones legales, condiciones ambientales, escasos recursos hídricos y la topografía. Por tal motivo, las tecnologías solar y eólica pueden ser implementadas de manera comercial.
2. Desde la perspectiva técnica, es viable implementar las energías renovables variables en sistemas interconectados ya sean pequeños o grandes. También se pueden lograr precios estables y competitivos sin comprometer la calidad de la energía suministrada.
3. Implementar modelos de generación de energía eléctrica con alta participación de energías renovables variables, solo es posible por medio de la utilización de un sistema de almacenamiento de energía con respuesta inmediata y un controlador electrónico que administre el sistema. Toda la estructuración anterior se logra con la ayuda de programas que consideran todas las variables involucradas, desde las fuentes de energías renovables autóctonas, así como por los

costos de implementación, costos de operación y mantenimiento y características técnicas de los equipos considerados.

Recomendaciones

1. A La Secretaría de Energía de Honduras se le recomienda realizar el levantamiento del potencial de las diferentes fuentes de energía renovable en los departamentos de Islas de la Bahía y Gracias a Dios.

Referencias

- Bhandari, Y., Chalise, S., Sternhagen, J. & Tonkoski, R. (2013). Reducing fuel consumption in microgrids using PV, batteries, and generator cycling. *IEEE International Conference on Electro-Information Technology, EIT 2013*. 1-4.
- Afzal, A. B., Iqbal, F., & Rafat, Y. (2023). Design and Optimization of a Campus Microgrid using the HOMER Simulator. *International Conference on Recent Advances in Electrical, Electronics & Digital Healthcare Technologies (REEDCON)*, New Delhi, India, 577-582.
- Zhu, X., Xia, M. & Chiang, H. Coordinated sectional droop charging control for EV aggregator enhancing frequency stability of microgrid with high penetration of renewable energy sources. *Applied Energy*, 210, 936-943.
- Dykes, K., Hand, M., Stehly, T., Veers, P., Robinson, M. & Lantz, E. (2017). *Enabling the SMART wind power plant of the future through science-based innovation*. National Renewable Energy Laboratory. <https://www.nrel.gov/docs/fy17osti/68123.pdf>
- IEA (2022), *Renewables*, IEA, Paris. <https://www.iea.org/reports/renewables>

Información de los autores

Ingeniero Mecánico Industrial, David Enrique Lagos Figueroa, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras 1992.

Master en Administración de Empresas, Universidad Católica de Honduras 1999.

Maestro en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados, Facultad de Ingeniería Universidad de San Carlos de Guatemala. 2023

Afiliación laboral: Compañía de Energías Renovables COERSA.

Ingeniero Mecánico, Manolo Tock Amezquita, Facultad de Ingeniería, Universidad San Carlos de Guatemala (2006). Master en Ingeniería Administrativa, Universidad Rafael Landívar (2013).

Instrucciones para Autores

La Revista de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería publica trabajos de investigación en los diferentes campos de la ingeniería y áreas afines, originales e inéditos. Se ha ampliado el campo de difusión para estudios de las Ciencias Naturales, Tecnología, Ciencias de la Salud, Desarrollo Social y Ciencias Sociales y Humanísticas. Los artículos enviados para su publicación deberán cumplir con los lineamientos establecidos. Al ser aceptados por el Consejo Editorial, son sometidos a un proceso de revisión y arbitraje por pares externos en la modalidad de doble ciego. Lo que ofrece al lector y autores un alto nivel académico.

Resumen

Extensión máxima de 150 palabras, se sugiere utilizar para ello el contador disponible en Word. Describir el problema que originó la investigación, la solución ensayada, método y materiales de trabajo. Describir los principales resultados obtenidos, así como sus impactos a nivel técnico, económico, social, ambiental u otros.

Abstract

Traducir al idioma inglés, el resumen redactado en la columna de la izquierda de la página. La traducción debe ser revisada con un profesional con amplios conocimientos del idioma inglés, en caso de que el autor no los posea. Evitar la utilización del traductor de google u otra similar.

Palabras clave

Cinco palabras que servirán para identificar el estudio realizado.

Keywords

Traducción al idioma inglés de las palabras clave.

Introducción

Brindar un panorama general del tema estudiado, su importancia, aspectos relevantes para comprender el contexto en el cual se desarrolló el estudio, bases teóricas o perspectivas adoptadas y otros referentes que sustenten la investigación. Extensión de 150 palabras para artículos de maestría, 250 a 300 para artículos de doctorado y 300 a 350 para otras investigaciones.

Desarrollo del estudio

Esta sección es muy importante para que el lector se entere de las técnicas de investigación aplicadas y las actividades que se realizaron. Por ejemplo: el tipo de estudio, su alcance y diseño, variables estudiadas y forma de evaluarlas. Básicamente, se debe describir la forma en la que se realizó el estudio, por lo que se incluye el método y los materiales.

Además, describir si se realizaron visitas de campo, encuestas, mediciones, ensayos de laboratorio, análisis de bases de datos u otros.

Es mejor escribir en párrafos cortos.

Agregar citas bibliográficas acorde a normas APA séptima edición.

Resultados obtenidos

Esta es una sección muy importante, donde deben incluirse los resultados derivados del estudio.

Los subtítulos deben diferenciarse del encabezado de la sección. En el caso de inclusión de figuras, deben ser nítidas, legibles. Se denomina figuras a gráficas, esquemas, fotografías u otros elementos gráficos.

Es conveniente describir brevemente el contenido de una tabla, evitando los aspectos obvios.

En el caso de inclusión de fórmulas, éstas deben elaborarse utilizando el editor de ecuaciones disponible en Word u otro procesador, indicando el significado de cada una de las variables o parámetros que se incluyen. Deben enumerarse entre paréntesis para poder hacer referencia de estas.

Discusión de resultados

Esta sección debe contener el análisis e interpretación de los resultados presentados, en cuanto a parámetros técnicos, valores de referencia, avances en la solución del problema que se buscaba resolver.

También debe orientarse la discusión a mostrar evidencia de los conocimientos generados, aportes, logro de los objetivos y posible relación con hipótesis formuladas o líneas de investigación posterior.

Conclusiones

Deben derivar de los resultados presentados en el artículo, mostrando clara evidencia del logro de los objetivos propuestos para el estudio. Deben ser claras y precisas. Enumerarlas sin dejar espacio entre ellas.

Recomendaciones

Indicar a quién o a quiénes van dirigidas, deben derivar del estudio realizado.

Referencias bibliográficas

Citar con Normas APA séptima edición y orden alfabético. Mínimo 5 referencias. El espacio que ocupan las referencias es adicional a la extensión establecida.

Información de los autores

Grado académico a nivel de licenciatura, nombre completo, Facultad de la que egresó, Universidad dónde estudió, año en que se graduó. Grado académico de Maestría o Doctorado (si lo posee).
Lugar de trabajo

Aspectos de estilo

Título centrado a 16 pts en Arial con negrilla, con un máximo de 20 palabras.

Traducción del título al idioma inglés, Times New Roman a 10 pts en cursiva, centrado.

Nombre completo de los autores.

Correo electrónico de los autores.

Margen superior: 2.7 cm

Margen inferior: 2.5 cm

Margen izquierdo: 1 cm

Margen derecho: 2 cm

Interlineado sencillo, texto justificado, utilizar el formato disponible.

Extensión máxima de 4 páginas artículos derivados de estudios de maestría o especialización, 6 a 8 páginas para estudios de doctorado, 8-10 páginas para otros estudios o ensayos de revisión.

Redactar en tiempo verbal presente y en forma impersonal.

Sobre el envío de artículos

Enviar por la vía del correo electrónico el artículo en formato Word y en formato pdf. revistapostgrado@ingeniería.usac.edu.gt Tablas aparte y enumeradas, imágenes en formato jpg aparte y enumeradas, con una resolución de 300dpi

Sobre la revisión de artículos

Los autores recibirán dictamen de la evaluación realizada y dispondrán de un máximo de 4 semanas para realizar las correcciones, en caso de que sean requeridas.

Al aprobar un artículo para su publicación, los autores envían firmada una carta en la que se responsabiliza por la originalidad del documento y cede sus derechos de publicación a la revista.



Edificio S-11, Primer Nivel, Ciudad Universitaria
Zona 12, Guatemala.

WWW

<https://postgrado.ingenieria.usac.edu.gt/>



solicituddeep@ingenieria.usac.edu.gt



fiusaceep



@eep_fiusac



ESCUELA DE ESTUDIOS DE
POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA