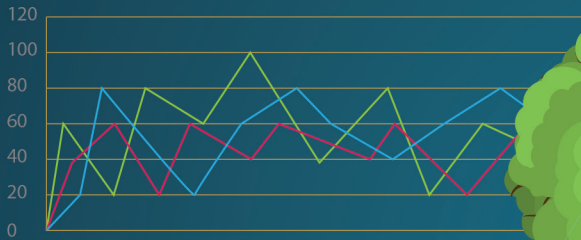


REVISTA DE LA ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

FACULTAD DE INGENIERÍA



$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(d_i)^p} Z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(d_i)^p}}$$

$$\check{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$



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 12 Nº 1 2021 - 2022	Autores: Escuela de Estudios 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, 2022
	Idioma: Esp.
	Descripción: #p .; il. 27 cm.
	Ejemplares: 2021 - 2022: Año 12, Nº 1 (publicación anual)
	ISSN: 2518-4725.
	Temas: Ingeniería - Revistas.



ESCUELA DE ESTUDIOS DE _____
POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada, DECANA.

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

JUNTA DIRECTIVA

Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada, DECANA.

Mtro. Ing. José Francisco Gómez Rivera, VOCAL I.

Mtro. Ing. Mario Renato Escobedo Martínez, VOCAL II.

Mtro. Ing. José Milton de León Bran, VOCAL III.

Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente, VOCAL IV.

Br. Fernando José Paz González, VOCAL V.

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

DIRECTORIO

Revista de la Escuela de Estudios de Postgrado, Vol. 12 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

Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí.
Director 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. José Luis Argueta Mayorga.
Profesor de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.
USAC.

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

Mtra. Hilda Palma Ramos.
Profesora de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.
USAC.

Mtro. Edwin Adalberto Bracamonte.
Profesor de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.
USAC.

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

COMITÉ CIENTÍFICO

Dra. Magdalena Waleska Aldana Segura.
Escuela de Formación de Profesores de Enseñanza Media.
USAC.
waldanasegura@gmail.com

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

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

Mtro. Esteban Ballesterio Alfavor.
Instituto Tecnológico de Costa Rica.
eballesterio@gmail.com

COMITÉ EDITORIAL

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

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

Mtro. Luis Arturo Cerna Rich.
Empresa Eléctrica de Guatemala. EEGSA.
lcerna@ufm.com

Dra. Marta Guisela Gaitán Garavito.
Facultad de Ingeniería. USAC.
guisela@uca.edu.sv

Mtro. José Daniel Juárez Morales.
Universidad Centroamericana José Simeón Cañas. UCA.
jjuares@uca.edu.sv

Mtro. Kevin Adiel Lajpop Ajpacajá.
Facultad de Ingeniería. USAC.
kevinadiel@gmail.com

Mtra. Iris Roxana Palacios de Velásquez.
Universidad Centroamericana José Simeón Cañas. UCA.
ipalacios@uca.edu.sv

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

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

Mtro. Daniel Augusto Sosa González.
Universidad Centroamericana José Simeón Cañas. UCA.
dasosa@gmail.com

COORDINACIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA

Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí.
Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

Dra. Mayra Virginia Castillo Montes.
Editora.

Ing. René Oswaldo Monge López.
Asistente de Dirección.

Lic. Oscar Armando López Morales.
Diseño y Diagramación.

Mtra. Hilda Myriam Méndez 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

El fomento de la investigación y la divulgación de sus resultados, productos y propuestas, son ejes fundamentales del plan de desarrollo académico que se impulsa en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en cuyo contexto es de particular relevancia la publicación de la Revista de la Escuela de Estudios de Postgrado, como medio para la difusión de conocimientos y aportes que se generan desde la diversidad de los programas que se ofrecen.

Las temáticas desarrolladas por los autores permiten estructurar, en diferentes secciones, el contenido del presente número que se ofrece a la comunidad de investigadores y profesionales especializados en los diferentes campos del saber.

En la sección de Modelación Matemática se incluye un artículo que documenta aportes con relación al método de interpolación de mejor ajuste para representar el fenómeno de la precipitación en diferentes regiones geográficas. Para Guatemala, se comparan los modelos interpolación IDW, Co-Kriging, Ordinary Kriging, Universal Kriging, Drifted External Kriging, Anusplin y Spline, y con base en los análisis de error absoluto medio (MAE), Error Cuadrático Medio Estandarizado (RMSE), MSE, Varianza Equivalente, Kling Gupta E y Nash Sutcliffe, se eligen los de mejor estimación.

Los artículos de la sección denominada Doctorado en Cambio Climático y Sostenibilidad, estudian dos problemas científicos: la influencia de la Oscilación Madden-Julian en el comportamiento de la precipitación en la región sur de Guatemala y, la dinámica del uso de la tierra con la variabilidad climática y cómo se manifiestan en la erosión hídrica.

La sección del Área de Gestión y Servicios incluye tres artículos presentados por egresados de la Maestría en Gestión Industrial. El primero refiere la aplicación de manufactura esbelta para mejorar indicadores de calidad, el segundo reporta la mejora de indicadores de eficiencia a partir de la metodología SMED, mientras que el tercero se orienta a la optimización de procesos a partir de la metodología Seis Sigma.

Se incluyen seis artículos en la sección del Área de Ciencias Aplicadas, de los cuales cinco muestran la aplicación de técnicas estadísticas para estudiar la demanda de potencia eléctrica, comportamiento de valor de criptomonedas, abstencionismo electoral, mortalidad en Guatemala y rendimiento académico. El otro artículo reporta la elaboración de una bebida saborizada a base de colágeno hidrolizado de origen bovino.

Se envía un mensaje de reconocimiento a los autores de los artículos que se publican, a los integrantes del Comité Editorial, del Consejo Editorial y del Comité Científico de la revista, así como al personal que colaboró con la presente edición.

Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana
Facultad de Ingeniería

TABLA DE CONTENIDOS

Prefacio	15
Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí	
MODELACIÓN MATEMÁTICA	
Análisis comparativo de modelos de interpolación de la precipitación en Guatemala (1981-2019)	19
Dr. José Luis Argueta Mayorga, Dra. Mayra Virginia Castillo Montes, Mtro. Walter Arnoldo Bardales Espinoza, Lic. William Adolfo Polanco Anzueto, Br. Eugenio Miguel Polanco Sotoj	
DOCTORADO EN CAMBIO CLIMÁTICO Y SOSTENIBILIDAD	
Influencia de la oscilación Madden-Julian en la lluvia de la Región Sur de Guatemala durante el periodo de 1980-2015	35
Dr. Paris Francisco Rivera Ramos, Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona	
Dinámica del uso de la tierra y la variabilidad climática en la subcuenca del río Panajachel, cuenca del lago de Atitlán, Sololá.	43
Dr. Wener Armando Ochoa Orozco, Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona	
ÁREA DE GESTIÓN Y SERVICIOS	
Herramientas lean manufacturing para mejorar el indicador de calidad en el área de surtido de productos de una empresa de ventas por catálogo.	51
Mtro. Oscar Estuardo de León Maldonado, Mtra. Claudia Calderón de Cerón	
Aplicación de la metodología SMED para mejorar el indicador de eficiencia del proceso de cambios de molduras en vidriera Guatemalteca, S.A.	55
Mtro. Luis Renato Vanegas Canjura, Mtro. Edwin Hartemio Valdéz Buenafé.	
Proceso de mejora continua aplicando Seis Sigma para optimizar el manejo de contenedores vacíos en una empresa naviera en Guatemala.	59
Mtro. Roberto Carlos Alvarizaes Sempé, Mtro. Ramón Horacio Juárez Juárez.	
ÁREA DE CIENCIAS APLICADAS	
Modelo para el pronóstico de demanda horaria de potencia eléctrica local en el mercado eléctrico de Guatemala.	65
Mtro. René Roberto Castellanos Moreira, Mtro. Edwin Adalberto Bracamonte Orozco.	
Análisis de los patrones estadísticos de las criptomonedas de mayor valor bursátil, para optimizar el rendimiento financiero respecto al indicador de retorno sobre la inversión (ROI).	69
Mtro. Fabio Andrés Sandoval Girón, Mtro. William Eduardo Fagiani Cruz.	
Determinación del modelo de regresión lineal múltiple de mejor ajuste para la predicción del abstencionismo electoral en Guatemala.	73
Mtro. Carlos Ottoniel Guevara Carranza, Mtra. Mayra Virginia Carvajal Castillo.	

Diseño de modelo actuarial para la proyección de mortalidad en Guatemala.	77
Mtro. José Pablo Hernández Maldonado, Mtro. Adonai Navas García.	
Análisis de los indicadores de rendimiento académico en los cursos profesionales de la carrera de Ingeniería en Ciencias y Sistemas de la Facultad de Ingeniería, USAC, 2012 a 2018.	81
Mtro. Elmer Anselmo Calel Ramos, Mtra. Yuri Asucena Castro Estrada.	
Desarrollo de una bebida instantánea saborizada a base de colágeno hidrolizado de origen bobino.	85
Mtra. María Paola Pereda Pinto, Mtro. Marvin Estuardo Samayoa Curiales.	
Instrucciones para autores.	89

PREFACIO

EDGAR DARÍO ÁLVAREZ COTÍ

Mtro. en Docencia Universitaria

Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería
edalvarezc95@gmail.com

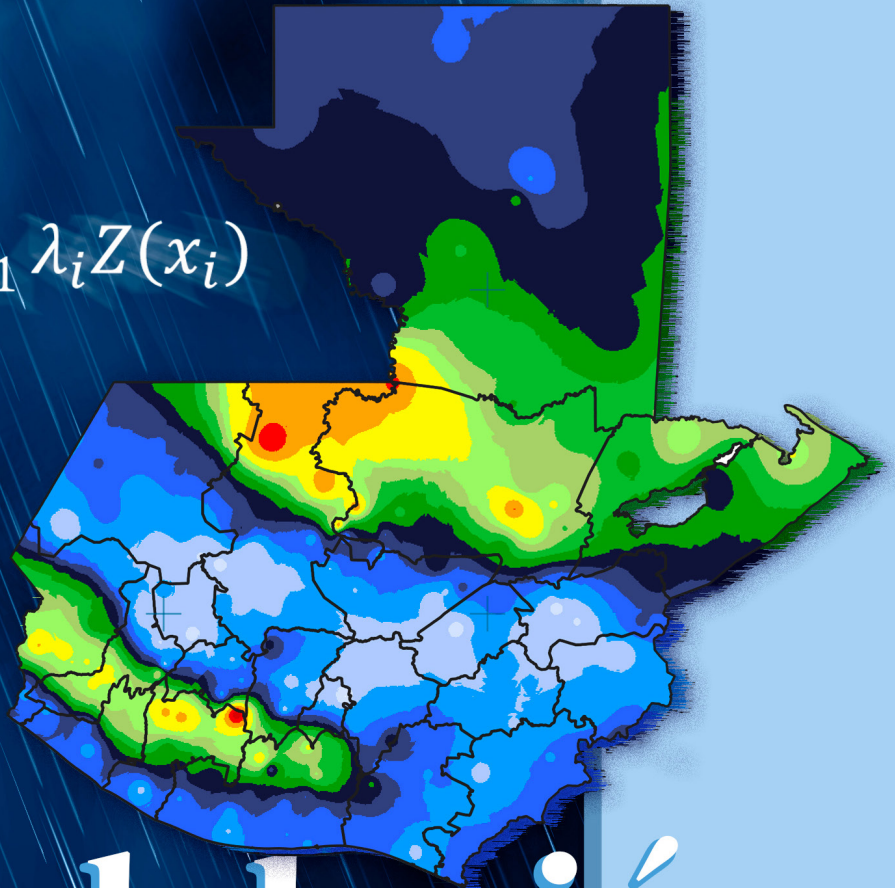
Presentamos a la comunidad académica, de investigación y a la sociedad el volumen 12 de la revista de la Escuela de Estudios de postgrado de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala. El contenido refleja la estructura multidisciplinaria de nuestros programas a nivel de Maestría, especializaciones y Doctorado. Entre los artículos presentados por los profesionales están relacionados con clima y precipitación pluvial, artículos del Doctorado en Cambio Climático y Sostenibilidad, del área de Gestión y Servicios con artículos sobre logística, productividad, artículos del área de ciencias básicas con modelos matemáticos y estadísticos. Por aparte la maestría en tecnología en ciencia de los alimentos también publica artículos en esta revista y edición.

La producción de artículos técnicos, científicos y de ingeniería son parte importante de los programas de postgrado, varios de ellos son aportes y propuestas de mejora, desarrollo y sostenibilidad ; los estudios y análisis se aplican en proyectos municipales, estatales, en empresas y proyectos de inversión privada, estatal, comunitaria y regional. La aplicación de los conocimientos teóricos, prácticos de investigación, de los profesionales egresados y asesores refleja también y es resultado de la experiencia laboral profesional que conforma la mayoría de nuestro cuerpo de docentes y de los estudiantes de los diferentes programas de postgrado.

Como un aporte de la Universidad de San Carlos de Guatemala, divulgamos, difundimos esa experiencia y conocimiento en este volumen 12 y en las ediciones de la revista de estudios de postgrado de la Facultad de Ingeniería.

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(d_i)^p} Z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(d_i)^p}}$$

$$\check{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$



Modelación Matemática

ANÁLISIS COMPARATIVO DE MODELOS DE INTERPOLACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN GUATEMALA (1981-2019)

Comparative analysis of precipitation interpolation models in Guatemala (1981-2019)

José Luis Argueta Mayorga

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

Mayra Virginia Castillo Montes

Dra. en Educación
mayracastillom@yahoo.com

Walter Arnoldo Bardales Espinoza

Mtro. en Recursos Hidráulicos
bardaleswa@gmail.com

William Adolfo Polanco Anzueto

Lic. en Matemática Aplicada
william.polanco.gt@gmail.com

Eugenio Miguel Polanco Sotoj

Estudiante de Ingeniería en Ciencias y Sistemas
eugenio.polanco.ing@gmail.com

Recibido: 30 de noviembre de 2021. | Revisado: 17 de enero de 2022. | Aprobado: 8 de marzo de 2022.

RESUMEN

El estudio del comportamiento de la precipitación es muy importante, pues representa una variable de la cual dependen diferentes fenómenos naturales. A nivel mundial, aún se discute el método de interpolación que mejor representa el fenómeno de la precipitación para cada región geográfica. En particular en Guatemala no se han realizado análisis de los modelos que mejor representan el comportamiento de la precipitación en todo el territorio; por tanto, el presente trabajo consiste en comparar los métodos de interpolación *IDW*, *Co-Kriging*, *Ordinary Kriging*, *Universal Kriging*, *Drifted External Kriging*, *ANUSPLIN* y *Spline*. Como resultados relevantes se establece que los métodos *ANUSPLIN* e *IDW* estiman mejor la precipitación a lo largo del año; sin embargo, se observa que para época con menor precipitación el método *IDW* y *Spline* son los que mejores resultados demuestran, mientras que, para la época con mayor precipitación, los métodos *IDW* y *ANUSPLIN* reportan mejores resultados de estimación.

PALABRAS CLAVE

Modelo de interpolación, precipitación, validación cruzada, Guatemala.

ABSTRACT

The to study the behavior of precipitation since the precipitation is a variable on which different natural phenomena. However, worldwide, the interpolation method that best represents the phenomenon of precipitation for each geographic region is still debated. In Guatemala, there has not been an analyzed or proposal of a method that better represents precipitation throughout the territory; therefore, the present research consists of the comparative analysis between the IDW, Co-Kriging, Ordinary Kriging, Universal Kriging, Drifted External Kriging, ANUSPLIN and spline interpolation methods. The main results obtained, shows that ANUSPLIN and IDW were the methods which better represent the interpolation of precipitation throughout the year; however, it was observed that for the season with less precipitation the IDW and SPLINE Elevation method were the ones that showed the best results and for the season with the highest rainfall the IDW and ANUSPLIN methods showed better results.

KEYWORDS

Interpolation model, precipitation, cross validity, Guatemala

INTRODUCCIÓN

Uno de los fenómenos poco estudiados a nivel global es el de la selección de los métodos de interpolación de la precipitación, así como el método que mejor se adapta al contexto geográfico sobre latitudes y longitudes del globo terráqueo, inclusive existen diferentes factores que aún no se han estudiado a profundidad como: los métodos que actualmente se aplican, las variables que afectan a la precipitación, la topografía, los métodos de validación, los métodos para mejorar las bases de datos, los modelos de elevación digital y su influencia sobre la precipitación.

El fin primordial de los modelos de interpolación radica en estimar la precipitación en lugares donde no se tienen mediciones a partir de lugares donde sí se cuenta con información. Por lo que, el proceso de interpolación parte de una metodología que establece relaciones con distintos fenómenos o comportamientos climáticos por división geográfica, político-social o latitud y longitud.

Prevalece la discusión de qué metodología y método estima mejor la precipitación y su representación para las delimitaciones geográfica, político-social o latitud-longitud que se han planteado como base para delimitar el área de estudio. De esta cuenta, se ha observado que inclusive en una misma región se han identificado métodos de interpolación diferentes que representan mejor la precipitación en dicha región, por lo que, aún se continúa encontrando nuevos hallazgos, nuevos métodos, nuevas bases de datos y nuevas metodologías que como resultado brindan una mejor representación de la precipitación. Por lo que, la aportación al conocimiento sobre el comportamiento de la precipitación es importante, dado que, existen diferentes resquicios y vacíos de conocimiento desde donde se puede aportar; e inclusive se debe particularizar el comportamiento por región o delimitación socio-política, ya que, la precipitación está influida por diferentes factores tanto topográficos como de influencia de otros fenómenos climáticos. También se ve influida por factores como la orografía, elevación, pendiente, distancia hacia el mar, dirección

de los vientos, latitud y altitud, que necesitan de una metodología específica y de una escala temporal adecuada (horaria, diaria, mensual, anual, lustro, década, decalustro u otras).

DESARROLLO DEL ESTUDIO

El estudio es de enfoque cuantitativo, diseño no experimental y carácter comparativo con base en diferentes métricas cuantitativas. La categorización espacial de los estudios para la interpolación de la precipitación se puede realizar con base en la delimitación física-orográfica, política-social, conceptual o de acuerdo con el grado de complejidad física de la formulación de la estructura de análisis de la precipitación (Ly et al., 2013). En el presente estudio se adopta la división política-social, pues se adapta al área de estudio que se enfoca en la República de Guatemala y corresponde a un área de 108,889 kilómetros cuadrados, que se encuentra entre las latitudes de 13°44'19.86" N y 17°48'55.67"N y longitud 88°14'04.55"O y 92°12'38.32"O.

Se combinan aportes de diferentes autores que han utilizado la metodología de la validación cruzada, la cual tiene como base la estadística y la estimación de los errores en los resultados obtenidos por cada método de interpolación que se aplica en la división política-social, puesto que se busca obtener un análisis completo de toda la delimitación espacial que incluyen las estaciones meteorológicas de distintas bases de datos. Por ello, se fundamenta en la literatura de cada método de validación MSE (Price et al., 2000; Taesombat & Sriwongsitanon, 2009; Newlands, et al., 2011; Plouffe et al., 2015; Zhang et al., 2018), MAE (Taesombat & Sriwongsitanon, 2009; Newlands et al., 2011), R2 (Portalés et al., 2008), NSE Error Cuadrático Medio Estandarizado (RMSE) Varianza Equivalente, Kling Gupta E y Nash Sutcliffe.

Se recopila la información mensual de precipitación desde enero de 1981 a diciembre de 2020, para lo cual se integran registros históricos de varias redes de observación que existen en Guatemala: la red climática del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología,

Meteorología e Hidrología -INSIVUMEH-, Instituto Nacional de Electrificación -INDE-, -EMPAGUA-, Instituto Privado de Cambio Climático -ICC- y estaciones fronterizas de los servicios meteorológicos de El Salvador, Honduras, Belice y México (ver figura 1). También, se integran los datos de Rainfall Estimates from Rain Gauge and Satellite Observations (CHIRPS) de la versión 2.0, para completar, extender o rellenar los vacíos de información. El ajuste de los valores ante la ausencia o incongruencia de los datos se realiza a través de la regresión lineal; por tanto, en los espacios carentes de datos o que no poseen alguna consistencia, se reemplazan por valores que provienen de la regresión lineal.

Desde el punto de vista operativo, la variable dependiente es la precipitación medida en milímetros y las variables independientes son la elevación, las distancias de la estación meteorológica hacia el océano Pacífico, océano Atlántico, Golfo de México, la pendiente, longitud y latitud en donde se encuentra la estación meteorológica.

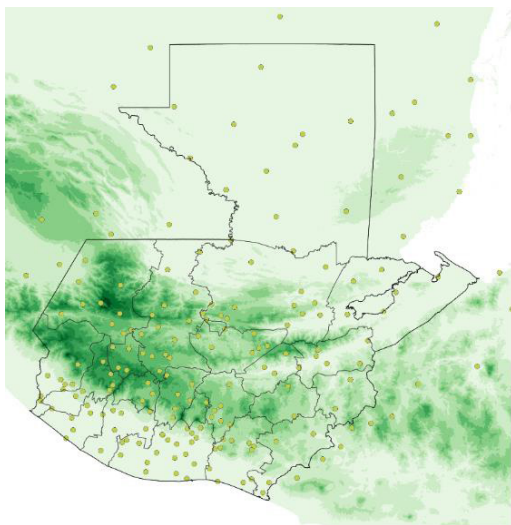


Figura 1. Localización de las estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio.

Fuente: elaboración propia.

El set de datos se divide en dos grupos, el 80 % se destina a entrenamiento y el 20 % para validación, se repite el proceso 50 veces de forma aleatoria, de tal

manera que para cada mes se generan 50 grupos de entrenamiento y validación diferentes. Se divide el análisis de la precipitación por cada mes; por lo que, la división temporal permite demarcar la primera escala de tiempo de análisis que se refiere a la precipitación mensual, que hasta el momento no se ha abordado en el contexto de Guatemala.

Los modelos de interpolación que se aplican se describen a continuación.

El método Ponderación Inverso la Distancia (IDW por sus siglas en inglés), es un modelo determinístico de interpolación que se basa en la presunción de que los puntos interpolados se ven más afectados por los puntos cercanos y se afectan menos los puntos más distantes (Wang et al., 2014; Hadi & Tombul, 2018).

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(d_i)^p} Z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(d_i)^p}} \quad (1)$$

donde Z es el valor determinado de un punto interpolado; Z_i es el valor de punto recolectado i ($i=1,2, \dots, n$); n es el número de puntos recolectados; d_i es la distancia entre los valores interpolados y recolectados; p representa el parámetro de poder el cual es un número real positivo (Wang et al., 2014). En este estudio se estudió la variación de p de 1 a 4.

Kriging Ordinario (OK en sus siglas en inglés), es un método geoestadístico de interpolación que se basa en la teoría de variograma y análisis estructural, en la cual se utiliza la mejor predicción no sesgada de las variables regionales dadas en un área determinada. El principio del método es que el cambio espacial continuo debe describirse apropiadamente dentro de una superficie determinada, a diferencia de un modelo matemático uniforme porque el cambio espacial es irregular (Xu et al., 2014). Es una estimación lineal no sesgada óptima en los puntos de muestra desconocidos después de considerar la forma, el tamaño, la posición y las relaciones espaciales entre cada par de puntos conocidos y la información de estructura proporcionada por el variograma.

La ecuación de cálculo del método OK se expresa de la siguiente forma:

$$\check{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (2)$$

donde $\sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$ es el valor determinado en x_0 y $Z(x_i)$.

El método Co-Kriging toma en cuenta los efectos combinados de múltiples variables que afectan la información espacial y pueden derivarse del Kriging Ordinario. La información se introduce en Co-Kriging como el segundo tipo de factores de influencia (Xu et al., 2014). Si se toma como variable la elevación se establece la ecuación siguiente:

$$Z(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_{ui} + \lambda [y(x) - m_y + m_z] \quad (3)$$

donde $Z(x)$ es el estimado de precipitación por la interpolación en el punto X ; Z_{ui} es la actual medida de precipitación en la estación i ; $y(x)$ es la elevación del punto x ; n es el número de estaciones meteorológicas; λ y λ_i son los coeficientes de ponderación de Co-Kriging; m_y es el promedio de elevaciones y m_z es el promedio de atributos meteorológicos.

El método de Kriging con desviación externa es una variante del Kriging universal para la cual la variable $Z(x)$ a interpolar es estimado como la suma de un término estocástico $y(x)$ y un término determinístico $m(x)$ (Delrieu et al., 2014), también denominado la desviación:

$$Z(x) = Y(x) + m(x) \quad (4)$$

donde x denota una posición dada. En la aplicación del método de Kriging con desviación externa, se establece que la desviación tiende a ser una función lineal de $R(x)$. Un estimador lineal $Z_{KED}(x_0)$, corresponde a la suma ponderada de las medidas de las estaciones $G(x_i)$, que es usado para la estimación en un punto dado o sobre un dominio X_0 dado:

$$Z_{KED}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i^{KED} G(X_i) \quad (5)$$

La ponderación λ_i^{KED} se estima para minimizar la estimación de la desviación estándar:

$$\sigma_{KED}(x_0) = \sqrt{E(Z(x_0) - Z_{KED}(x_0))} \quad (6)$$

$$\text{con } E(Z(x_0)) = E(Z_{KED}(x_0)) \quad (7)$$

El método Spline se aplica para suavizar una superficie continua minimizando la curvatura (Taesombat & Sriwongsitanon, 2009). Para un planteamiento bivariado de Spline para medir los puntos $i=1 \dots N$, se calcula con base en Hadi & Tombul (2018):

$$Z(s_i) = f(S_i) + \epsilon(S_i) \quad (8)$$

donde $\epsilon(S_i)$ representa los errores aleatorios, los cuales pueden ser asumidos a ser errores aleatorios no correlacionados e independiente con un promedio de cero y una varianza σ^2 y $f(S_i)$ representa una función suavizadora determinística, que se estima por minimización:

$$\sum_{i=1}^n [Z(S_i) - f(S_i)] + \lambda J_m^d \quad (9)$$

donde $f(s_i)$ son las cantidades correspondientes a la función que encaja en cada uno de los puntos i ; λ es el también llamado regularizador o parámetro y J_m^d es una medida de lo suavizante de la función f . La forma J_m^d depende de dos parámetros: el número de variables independientes d y el orden de las derivadas m .

El método *Anusplin* se basa en el suavizado del *Spline*, usualmente con al menos dos variables independientes, longitud y latitud, en este orden y en unidades de grados decimales. La tercera variable independiente, la elevación sobre el nivel del mar, es normalmente apropiada cuando se ajustan superficies a temperatura o precipitación.

El rendimiento y eficacia de cada una de las técnicas de interpolación se puede evaluar mediante la comparación del punto observado, que se conoce como validación cruzada (Seaman, 1988). Las técnicas de evaluación y validación de desempeño son ampliamente utilizadas por geoestadísticos para evaluar los métodos de interpolación espacial (Hijmans et al., 2005; Hancock & Hutchinson, 2006). Con base

en se realizaron los análisis de error absoluto medio (MAE), Error Cuadrático Medio Estandarizado (RMSE), MSE, Varianza Equivalente, Kling Gupta E, Nash Sutcliffe, que se incluyen a continuación.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \tilde{Y}_i| \quad (10)$$

donde y_i es un valor observado en la posición i y \tilde{Y}_i es un valor estimado para la posición i , n es el número de puntos de datos.

El Error Cuadrático Medio determina la diferencia cuadrática media entre la verdadera precipitación y su estimado (Di Piazza et al., 2011):

$$MSE = \frac{1}{N_v} \sum_{i=1}^{N_v} |z(x_i) - \check{Z}(x_i)|^2 \quad (11)$$

donde $\check{Z}(x_i)$ es el valor estimado de lluvia y $z(x_i)$ es el valor de lluvia medido en N_v puntos de validación a analizar.

Nash Sutcliffe Efficiency (NSE):

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \quad (12)$$

donde O_i es el valor de punto observado i , M_i es el valor estimado en i , y N es el total de número de observaciones y \bar{O} es el promedio del valor observado (Wagner et al., 2012; Chen et al., 2017;). $NSE = 1$ indica correspondencia perfecta entre las simulaciones y observaciones; $NSE=0$ indica que las simulaciones del modelo tienen el mismo poder explicativo como el promedio de las observaciones; y $NSE < 0$ indica que el modelo es un mal predictor de las observaciones (Knoben et al., 2019).

Kling Gupta Efficiency, representa la correlación, el sesgo y similitud en la variabilidad entre los datos observados y cuadrículados (Nashwan et al., 2019).

$$KGE = 1 - \sqrt{(r - 1)^2 + \left(1 - \frac{\mu_{sim}}{\mu_{obs}}\right)^2 + \left(\frac{\frac{\sigma_{sim}}{\mu_{sim}}}{\frac{\sigma_{obs}}{\mu_{obs}}}\right)^2} \quad (13)$$

donde r es la correlación de Pearson; μ y σ representan el promedio y la desviación estándar, respectivamente, de los datos simulados (sim) y observados (obs); n se refiere al número de puntos dentro de la grilla.

El factor R^2 es denominado la varianza esperada, estima el grado de predicción de un modelo, por definición es un número menor o igual a 1, y entre más se acerque a 1, mejor es la forma en cómo encajan los datos calculados y medidos (Caruso & Quarta, 1998).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N} (v_i^c - v_i^0)^2}{\sum_{i=1}^{N} (v_i^c - \bar{v}_i^0)^2} \quad (14)$$

donde v_0 son los valores observados y v_c son los valores calculados, y \bar{v} indica el promedio de los valores.

La interpretación de la varianza explicada es una medida de precisión basada en los valores predichos que se derivaron de la validación cruzada. (Li, 2016).

$$VEcv = \left(1 - \frac{SSD}{SST}\right) * 100(\%) = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}\right) * 100(\%) \quad (15)$$

$$\text{con } SSD = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad \text{y} \quad SST = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (16)$$

RESULTADOS OBTENIDOS

El comportamiento de la precipitación en Guatemala se representa en Figura 5. En el periodo de enero a abril se observa que las precipitaciones prevalecen en el norte del país en dirección hacia el Este, lo que denota una fuerte influencia del océano Atlántico. Asimismo, sobre la región donde prevalece la lluvia en el mes de enero, no supera los 200 milímetros de lluvia y lo interesante es la identificación de las áreas montañosas como factores que demarcan y delimitan las áreas de comportamiento de la precipitación.

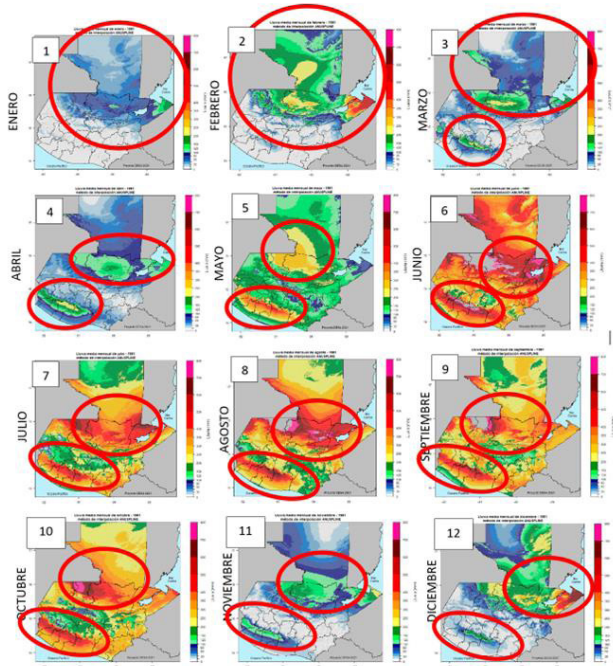


Figura 2. Método de interpolación Anusplin y comportamiento de la precipitación de enero a diciembre de 1981.

Fuente: elaboración propia.

Durante la época de enero a mayo se observa una tendencia de precipitación al Norte que se inclina hacia el Oeste del país, siempre demarcado por la cordillera norte que colinda con la Franja Transversal del Norte. Por otro lado, la precipitación al sur del país se concentra en la franja volcánica y la cordillera que divide el país con el lado del océano Pacífico.

En el caso de la precipitación de junio, julio, agosto, septiembre y octubre se puede observar que a nivel de todo el país se incrementa considerablemente la precipitación; no obstante, se observa cómo la precipitación se centra en dos regiones muy marcadas que en los meses anteriores también registran altas precipitaciones. En el caso de noviembre y diciembre las precipitaciones del país disminuyen, pero se sigue observando en menor medida influencia de la precipitación y la delimitación de la precipitación a partir de las cordilleras y montañas que delimitan el norte y sur del país.

Con relación a la métrica Kling Gupta E y la interpolación de la lluvia mensual que se muestra en la Figura 3, se observa cómo el método ANUSPLIN denota ser el método que mejor ajuste tiene a lo largo del año. El método IDW y el método Spline Simple denotan ser los métodos que le siguen con base esta métrica. Se observa que para los meses de la época con más lluvia denotaron menores variaciones de la métrica Kling Gupta E y para los meses de la época con menos lluvia denotan comportamientos mucho más variables. El método que denota menor variación de la métrica Kling Gupta E a lo largo del año es el método IDW. Los métodos KED y UK demuestran mejor resultado que el método OK, aunque la variación no es considerable en comparación de esos métodos.

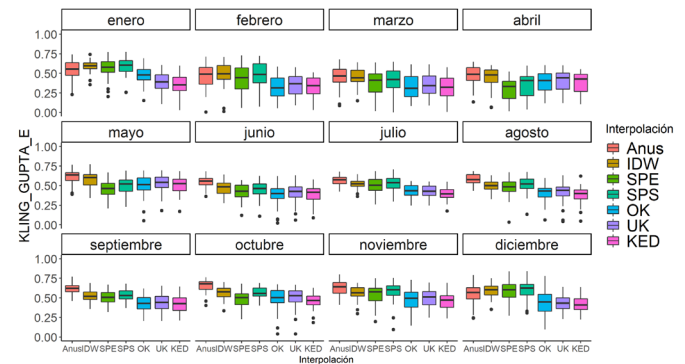


Figura 3. Métrica Kling Gupta E y la interpolación de lluvia mensual de enero a diciembre, métodos Anusplin, IDW, SPE, SPS, OK, UK y KED.

Fuente: elaboración propia.

Para la métrica MAE, con los métodos de interpolación para la precipitación mensual (Figura 4), se observa que en la época con mayor precipitación (de mayo a octubre) los métodos Anusplin e IDW, son los que presentan menor variación y mantienen los valores estimados más bajos. Los métodos Spline simple y Spline elevación se comportan de manera parecida, es decir, varían en magnitudes con valores más altos que Anusplin e IDW. Los valores estimados por los métodos OK, KED y UK se encuentran por arriba de los generados por Anusplin e IDW, pero por debajo de los valores Spline (elevación y simple). Se observa también un patrón que, en cada mes de esta época,

aumentan los valores de los residuos, siendo más bajos al inicio de la época lluviosa-mayo y terminando con valores notables altos al final de la época lluviosa-octubre, que se puede interpretar como un aumento de la variabilidad en la precisión de los métodos empleados.

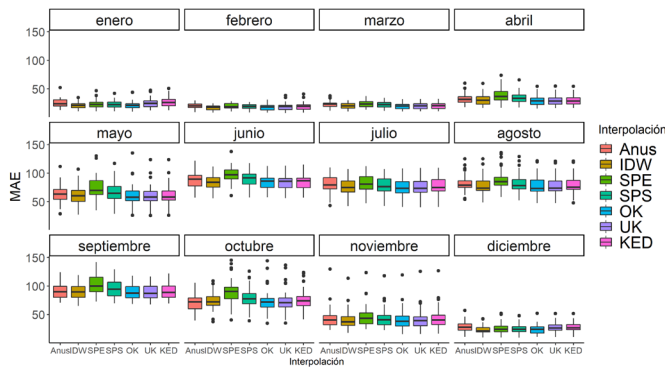


Figura 4. Métrica MAE y la interpolación de lluvia mensual de enero a diciembre, con Anusplin, IDW, SPE, SPS, OK, UK y KED.

Fuente: elaboración propia.

Para la época con menor lluvia (de noviembre a abril) se identifica con base en la métrica MAE, que ocurre lo contrario con relación al comportamiento de los residuos en todos los métodos de interpolación aplicados, las magnitudes disminuyen y presentan valores altos al inicio de la época y termina con valores bajos al finalizar (abril). Las métricas indican que los métodos Anusplin e IDW son los que presentan los valores más bajos en los residuos, aunque con poca diferencia de los demás métodos, el resultado del patrón de cada uno de los métodos denota poca variabilidad en su precisión y se caracterizan por contar con valores muy bajos en los residuos y muy parecidos.

Con relación a la métrica MSE se observa diferente comportamiento para la época con menor precipitación (Figura 5), lo que indica que disminuye el MSE y para la época lluviosa se observa comportamientos diversos en cuanto a la variación de la precipitación. Los métodos de interpolación Anusplin e IDW presentan menor variación para la época lluviosa y se perfilan como los métodos que menor magnitud o valor reportan. Los

métodos Spline Elevación y Spline simple presentan mayores valores en residuos que IDW y Anusplin. La distribución de los residuos en los métodos OK, KED y UK en algunos meses (junio, julio, agosto) presentan una distribución de valores muy parecidos a los del método Spline elevación y Spline simple, aunque la tendencia en los residuos generados por los distintos métodos es aumentar desde el inicio de la época con mayor precipitación (mayo hasta septiembre), con un descenso en el mes de octubre.

Las métricas indican que el método IDW presenta los valores más bajos en los residuos, aunque en los meses de noviembre y diciembre los valores presentan valores más extremos para todos los métodos.

Por último, se observa muy poca diferencia entre los métodos en los meses de febrero y marzo.

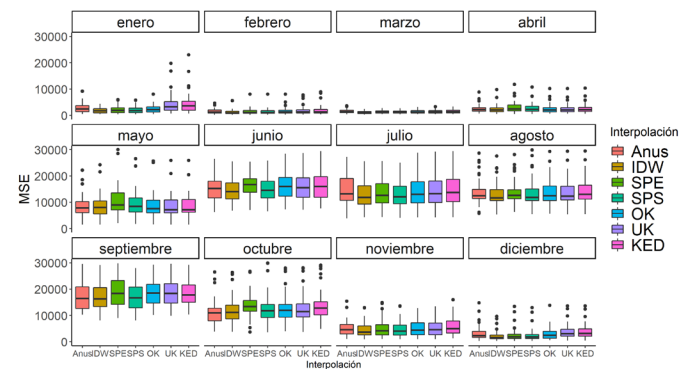


Figura 5. Métrica MSE y la interpolación de lluvia mensual de enero a diciembre de los métodos Anusplin, IDW, SPE, SPS, OK, UK y KED.

Fuente: elaboración propia.

Con respecto a la métrica Máxima Varianza Explicada-VEcv, indica que los valores cercanos al 100 %, sugieren predicciones perfectas (Figura 6); un 0 % indica que las predicciones son tan precisas como usar el promedio de los datos de validación y los valores negativos indican que las predicciones son menos precisas que usar el promedio para predicciones (Li, 2016). Para la época con mayor precipitación (de mayo a octubre) se observa que el método IDW es el que mejor predice la precipitación, seguido por el método

Anusplin, que en el mes de octubre cae en el rango de bueno, mientras IDW no. En la época con considerable precipitación ningún método de interpolación supera el rango de predicciones promedio y los métodos OK, KED y UK presentan valores extremos muy bajos hasta caer al rango de pobre y muy pobre (junio, agosto y octubre).

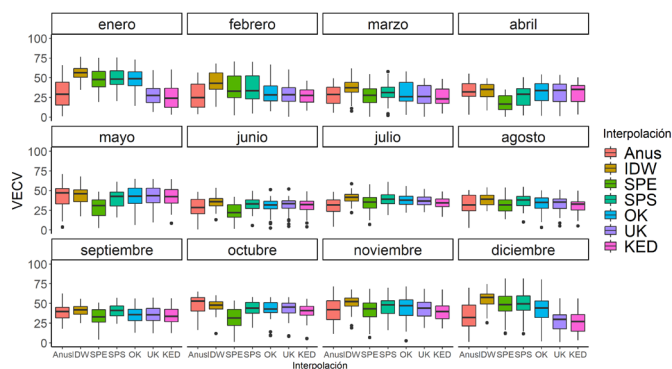


Figura 6. Métrica VECv y la interpolación de lluvia mensual de enero a diciembre de los métodos Anusplin, IDW, SPE, SPS, OK, UK y KED.

Fuente: elaboración propia.

Para la época con reducida precipitación (noviembre a abril) se obtiene que el método IDW es el que posee el porcentaje más alto; luego, se ubica en el rango de bueno para los meses de noviembre, diciembre y enero. Durante los meses de febrero, marzo y abril baja su rango promedio; mientras que el método Anusplin mantiene el rango promedio.

Además, los métodos Spline elevación, Spline simple y OK se comportan de manera similar en el rango inferior del promedio y los métodos UK y KED se ubican en el rango de pobre.

Sobre la distribución del coeficiente de determinación R², para la época lluviosa (de mayo a octubre) se calculan valores entre 0.4 y 0.6 en los métodos Anusplin e IDW (Figura 7), es decir, con estos métodos se podría replicar los resultados con la proporción de variación de los mismos de un 40 % hasta un 60 % o también interpretarse como la que la proporción de la varianza explicada por éstos métodos se ajusta a la distribución de los datos entre un 40 % a 60 %. Los métodos que le

siguen son OK, UK y Spline (elevación y simple) en los meses de junio y julio, con alrededor de un 40 % de la proporción de la varianza explicada. También se observa en esta época una tendencia en la disminución de este coeficiente, empezando por mayo y terminando en septiembre, ya que en el mes de octubre presenta un aumento cercano al 0.6.

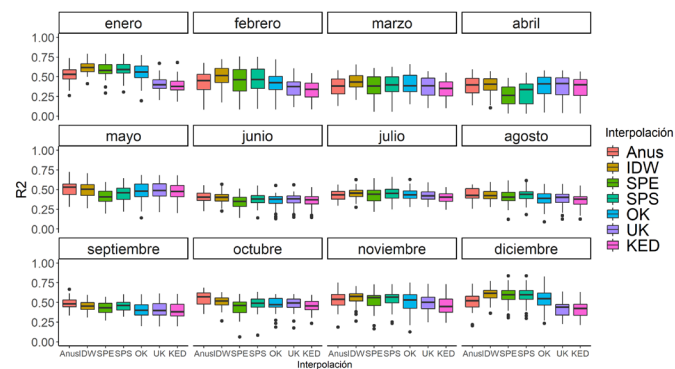


Figura 7. Métrica R² y la interpolación de lluvia mensual de enero a diciembre de los métodos Anusplin, IDW, SPE, SPS, OK, UK y KED.

Fuente: elaboración propia.

El método IDW presenta los valores más altos, mayores de 0.6 en noviembre, también en diciembre y enero se observa mayor presencia en sus valores extremos; para los meses de febrero, marzo y abril varía entre 0.4 y 0.5. Los demás métodos (OK y SP-elevación y simple) tienen coeficientes parecidos para los meses noviembre, diciembre y marzo (entre 0.35 y 0.6), también se observa mayor variabilidad en todos los métodos para los meses de febrero, marzo y abril; es decir, la precisión de los métodos oscila más en estos meses.

Con base en la métrica NSE se puede observar que el método IDW sobresale considerablemente (Figura 8), seguido de los métodos Spline elevación y Spline simple, luego en una categoría de promedio el método Anusplin y entre pobre y muy deficiente estarían los métodos UK, OK y KED. Mientras que para la época con menor precipitación se observa que el método IDW sobresale y tiene un comportamiento similar a lo largo del año; por otro lado, en la época lluviosa el método Spline elevación baja a la categoría de promedio junto con Anusplin, mientras que el Spline simple se

mantiene en la categoría de bueno. Los métodos OK, UK y KED se mantienen entre la calidad de pobre a muy deficiente

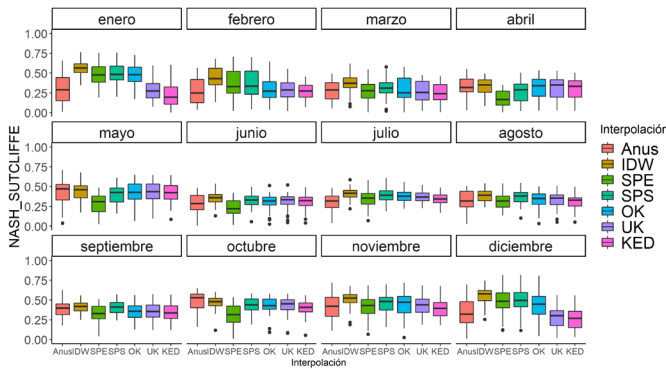


Figura 8. Métrica NSE y la interpolación de lluvia mensual de enero a diciembre de los métodos Anusplin, IDW, SPE, SPS, OK, UK y KED.

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los métodos de validación se puede observar que las técnicas de interpolación que mejores resultados estiman son los métodos IDW y Anusplin (Tabla 1), seguidos por los métodos de Spline simple y Spline elevación que no generan tan bajos resultados y se encuentran dentro de la categoría de bueno; mientras que los métodos OK, UK y KED demostraron ser los métodos de interpolación con muy deficiente resultado..

Tabla 1 Validación y método de interpolación en los doce meses del año. 1981 a 2019.

Método de validación	Método de interpolación efectivo a lo largo del año				
	Excelente	Bueno	Promedio	Pobre	Muy deficiente
MAE	Anusplin, IDW	Spline Simple Spline Elevación		OK, UK	KED
MSE	Anusplin, IDW	Spline Simple Spline Elevación		KED	OK, UK
NASH SUTCLIFFE	IDW	Spline Simple Spline Elevación	Anusplin	OK	UK, KED
KLING GUPTA	Anusplin	Idw, Spline Simple	Spline Elevación		OK, UK, KED
R ²	IDW, Anusplin	Spline Simple	Spline Elevación	OK	UK, KED
Vecv	Anusplin	Spline Simple	Spline Elevación	OK	UK, KED

Fuente: elaboración propia.

Se observa para la época con menor precipitación que el método que sobresale dentro de una categoría de excelente es IDW (Tabla 2); mientras que los métodos Spline simple, Anusplin, OK y Spline elevación tienen un comportamiento entre bueno y promedio; no obstante, los métodos OK y KED demuestran comportamientos entre pobre y muy deficiente. Es importante resaltar que para la época sin tanta precipitación el método Anusplin, que toma como base la elevación, no sobresale de los demás métodos.

Tabla 2 Validación y método de interpolación en época de precipitación intensa. 1981 a 2019.

Método de validación	Método de interpolación efectivo en época precipitación intensa				
	Excelente	Bueno	Promedio	Pobre	Muy deficiente
MAE	IDW, Anusplin	OK, UK, KED	SPS		SPE
MSE	IDW	Anusplin	Spline simple	Spline elevación, UK	OK, KED
NASH SUTCLIFFE	IDW	Spline simple	Spline elevación, Anusplin	OK, UK	KED
KLING GUPTA	Anusplin	IDW, Spline simple	Spline elevación	OK, UK	KED
R ²	Anusplin	IDW	Spline simple, Spline elevación	OK, UK	OK, UK, KED
Vecv	IDW	Spline simple, Anusplin	OK, UK	KED	SPLINE ELEVACIÓN

Fuente: elaboración propia.

El método IDW es el que sobresale para la época seca y lluviosa, así como para todo el año, por lo que es importante profundizar en el número de estaciones vecinas, el número de potencia y la base de datos de las estaciones que generan los mejores resultados. En ese sentido, para el análisis de la interpolación se establecen diferentes números de estaciones vecinas que van de la 5 a la 20 y diferentes números de potencia que varían desde el 1.2 a 4.0.

En la Figura 9 se observa la frecuencia con los mejores resultados del número de estaciones vecinas por mes de interpolación, a partir de lo cual se establece que la

cantidad de estaciones vecinas debe estar entre 15 a 20, mientras que en la época con más precipitación (mayo a octubre) la cantidad de varía de 8 a 10.

Al seleccionar los valores de IDP (Figura 10), se concluye que para los meses de época con menor precipitación (noviembre a abril) el mejor valor es 1.4, mientras que para los meses de mayo, junio y octubre estos valores oscilan entre 1.4 a 1.8, y para los meses de julio a septiembre los valores con mejores resultados para potencia oscilan de 2 a 2.4.

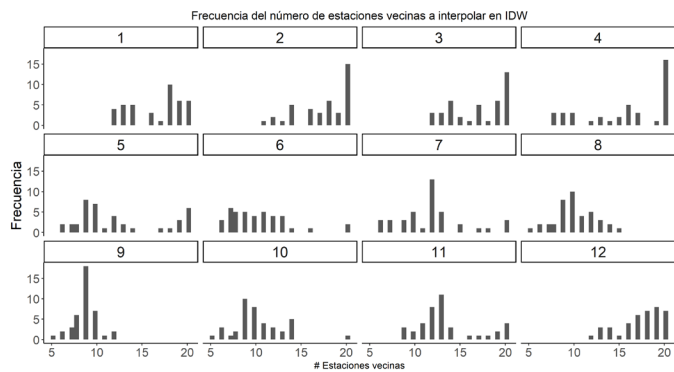


Figura 9. Vinculación de las estaciones vecinas por mes de análisis y la frecuencia en relación de las estaciones vecinas cercanas.

Fuente: elaboración propia.

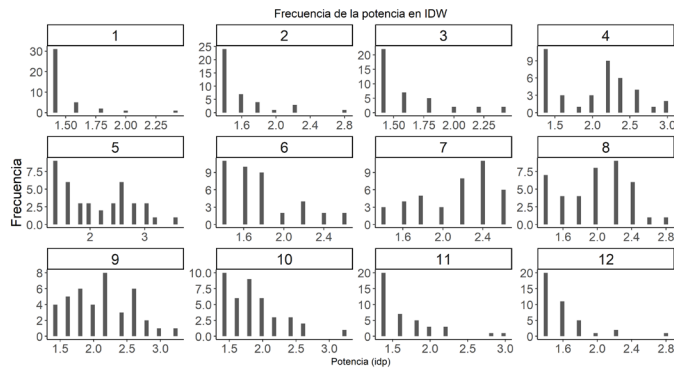


Figura 10. Vinculación de la potencia para cada mes de análisis y la frecuencia de la potencia por cada mes.

Fuente: elaboración propia.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se observa en la exploración de variables independientes tales como la distancia hacia el

océano Atlántico, distancia hacia el océano Pacífico, distancia hacia el Golfo de México, elevación, latitud, longitud y pendiente, la relación con la variable dependiente precipitación, por lo que se identifica que existe necesidad de distribuirla en función de una regionalización. Es decir, en el proceso de exploración se observa la influencia en los registros de precipitación en las estaciones cercanas al océano Pacífico, pero dicha influencia varía en lugares de convergencia o donde el océano Atlántico podría influir considerablemente. Por lo que, una de las vertientes a futuro es explorar estadísticamente la base de datos que se depuró, la influencia en las diferentes áreas del país, que puede generar ecuaciones de correlación entre las variables dependientes e independientes. También, en el proceso de regionalización sería importante la consideración de modelos multivariantes que permitan profundizar en el comportamiento estadístico de la precipitación en cada región o de cada distribución.

La metodología que la presente investigación aplica es un aporte al conocimiento, puesto que abarca la metodología seguida para integrar una base de datos, establecer datos para la creación del set de validación cercano al 20 % de la data disponible, mientras que el 80 % se destina como set de entrenamiento que permite evaluar el comportamiento al aplicar cada uno de los modelos de interpolación y los métodos de validación estadística, para definir el método que mejor representa la precipitación en el territorio de la república de Guatemala.

Otro de los aportes importantes de la presente investigación son los mapas de interpolación que se elaboran para los doce meses del año y a partir de los años 1981, 1986, 1991, 1996, 2001, 2006, 2011 y 2016; se interpola aplicando los métodos Anusplin, Spline elevación e IDW. Los tres modelos de interpolación seleccionados para los mapas corresponden a los tres métodos que a lo largo del año demostraron mejores bondades de ajuste. Y la realización de la base de mapas correspondientes a distintos métodos de interpolación constituyen uno de los productos importantes de la investigación, puesto que, con los mapas se pueden

realizar diferentes análisis en investigaciones futuras que para estimar o explicar comportamientos a partir de diferentes escalas temporales.

De acuerdo con los métodos de validación a lo largo del año se puede observar que las técnicas de interpolación que mejores resultados generan son los métodos IDW y Anusplin, seguidos por los métodos de Spline simple y Spline elevación como los que métodos que se encuentran dentro de la categoría de bueno; mientras que los métodos OK, UK y KED demostraron ser los métodos de interpolación con muy deficiente resultado.

Por otro lado, es importante destacar la temporalidad de la precipitación y los métodos que puedan mostrar tendencia en relación con una alta y baja precipitación. Se observa que los métodos que sobresalen dentro de una categoría de excelente para la época con mayor precipitación son: IDW y Anusplin; mientras que para el método Spline simple y para Spline elevación, se caracteriza un comportamiento entre bueno y promedio; no obstante, los métodos OK, UK y KED demuestran comportamientos entre pobre y muy deficiente. Sin embargo, cuando se presenta una menor precipitación el método que sobresale dentro de una categoría de excelente es IDW mientras que los métodos Spline simple, Anusplin, OK y Spline elevación denotan un comportamiento entre bueno y promedio. Es importante resaltar que para la época con precipitación media o baja, el método Anusplin que toma como base la elevación, no sobresale de los demás métodos.

Dado que el método IDW es el de mejor ajuste en distintas épocas de intensidad de lluvia en el territorio de la república de Guatemala, se evidencia que para la época con menor precipitación (noviembre a abril) la cantidad de estaciones vecinas debe estar entre 15 y 20, mientras que en los meses con la época con mayor precipitación (mayo a octubre) la cantidad de estaciones vecinas necesarias oscila entre 8 y 10.

Para el método IDW es necesario considerar valores de potencia (IDP) de acuerdo con la época de mayor o

menor precipitación, se concluye que para los meses de época con menor precipitación (noviembre a abril) el mejor valor es 1.4, mientras que para los meses de mayo, junio y octubre estos valores oscilan entre 1.4 a 1.8, y para los meses de julio a septiembre los valores con mejores resultados para potencia oscilan entre 2 y 2.4.

Se identifica que la variable elevación se puede asociar con un mejor ajuste en modelos como el Anusplin y el Spline elevación; es decir, las variables ambientales agregan un comportamiento importante y vital en el desarrollo de la interpolación de la precipitación.

Por lo anterior, se recomienda explorar los análisis con otras variables ambientales como las distancias a los océanos o cuerpos de agua importantes que inciden en la variabilidad climática en Guatemala, las pendientes, usos de suelo, regionalización por microclimas, latitud, longitud, áreas boscosas, entre otros.

Al comparar los mapas de interpolación se puede observar el suavizado de la interpolación de la precipitación con el método Anusplin; es decir, la base del método Anusplin depende de la elevación y eso influye en la interpolación de la precipitación, ya que se adapta a la superficie existente. Lo mismo ocurre con el método Spline elevación ya que su interpolación depende de la elevación de cada uno de los lugares y se adapta a la superficie del territorio de Guatemala. Mientras que el método IDW se asocia con la localización de las estaciones, por lo que se observa que la interpolación tiene el comportamiento de anillos o círculos que demarcan áreas de precipitación; por lo que, en los anillos de interpolación del método IDW se pueden encontrar vacíos debido a carencia de estaciones en lugares donde puede existir otro comportamiento de la precipitación.

Con relación a los mapas de interpolación del método IDW sería importante observar los puntos de anillos que identifican comportamientos de precipitación aislados y nutrir la base de datos a partir de otras estaciones meteorológicas que permitan brindar continuidad al

mapa IDW o bien, que se pueda adecuar o alinear los datos, previo a utilizar el método IDW.

Finalmente, el análisis comparativo de los modelos de interpolación de registros históricos de la precipitación en el territorio de Guatemala, identifica potencialidades y limitaciones de los métodos más utilizados con base en métricas cuantitativas; lo que genera aportes para futuras investigaciones acerca del tema.

Se agradece el apoyo de la Dirección General de Investigación de la USAC, para la realización del estudio.

CONCLUSIONES

1. Entre los métodos que mejor comportamiento en la predicción de la precipitación se obtiene el método IDW y el Anusplin, en consideraciones del contexto geográfico sobre latitudes y longitudes del globo terráqueo, la topografía y su influencia sobre la precipitación para la base de datos, territorio y consideraciones planteadas en este estudio sobre la precipitación en el territorio de Guatemala. Esta conclusión se aplica tanto para época con precipitación intensa, como la que no posee dichas condiciones.
2. Del método de IDW se recomienda la utilización de valores de potencia 1.4 a 1.8 para los meses de mayo junio y octubre; de 2 a 2.4 para los meses de julio a septiembre y de noviembre a abril de 1.4. Estos valores permiten hacer eficiente el trabajo con los números de estaciones vecinas que entre noviembre y abril debe estar entre 15 y 20 y de mayo a octubre de 8 a 10. Por tanto, el número de vecinos y potencia permiten que el método IDW presente mejor ajuste en la determinación de los vacíos de información de precipitación en el territorio de la República de Guatemala
3. Uno de los ricos aportes de esta investigación es la conjugación de diferentes bases de datos, provenientes de diferentes instituciones y que se procesan para eliminar errores como valores

cero e incongruencias. Por lo que, la metodología empleada para conformar una base de datos congruente es el aporte que esta investigación plantea.

RECOMENDACIONES

1. Una de las vertientes a futuro es explorar estadísticamente la base de datos depurada, la influencia en las diferentes áreas del país, que puede generar ecuaciones de correlación entre las variables dependientes e independientes.
2. También, el proceso de regionalización de las estaciones o valores de precipitación sería importante la consideración de modelos multivariantes que permitan profundizar en el comportamiento estadístico de la precipitación en cada región o de cada distribución.
3. Se recomienda continuar con el trabajo de comparar nuevos métodos de interpolación que han surgido o se han vuelto eficientes, que permitan tomar en cuenta las formas en cómo se validan los resultados y se integran o establece la congruencia de la base de datos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Caruso, C., & Quarta, F. (1998). *Interpolation methods comparison. Computers and Mathematics with Applications*, 35(12), 109–126. [https://doi.org/10.1016/S0898-1221\(98\)00101-1](https://doi.org/10.1016/S0898-1221(98)00101-1)
- Chen, D., Ou, T., Gong, L., Xu, C. Y., Li, W., Ho, C. H., & Qian, W. (2010). Spatial interpolation of daily precipitation in China: 1951-2005. *Advances in Atmospheric Sciences*, 27(6), 1221–1232. <https://doi.org/10.1007/s00376-010-9151-y>
- Chen, T., Ren, L., Yuan, F., Yang, X., Jiang, S., Tang, T., Liu, Y., Zhao, C., & Zhang, L. (2017). Comparison of spatial interpolation schemes for rainfall data and application in hydrological modeling. *Water (Switzerland)*, 9(5), 1–18. <https://doi.org/10.3390/w9050342>

- Delrieu, G., Wijbrans, A., Boudevillain, B., Faure, D., Bonnifait, L., & Kirstetter, P. E. (2014). Geostatistical radar-raingauge merging: A novel method for the quantification of rain estimation accuracy. *Advances in Water Resources*, 71, 110–124. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2014.06.005>
- Di Piazza, A., Conti, F. Lo, Noto, L. V., Viola, F., & La Loggia, G. (2011). Comparative analysis of different techniques for spatial interpolation of rainfall data to create a serially complete monthly time series of precipitation for Sicily, Italy. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(3), 396–408. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2011.01.005>
- Hadi, S. J., & Tombul, M. (2018). Comparison of Spatial Interpolation Methods of Precipitation and Temperature Using Multiple Integration Periods. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 46(7), 1187–1199. <https://doi.org/10.1007/s12524-018-0783-1>
- Hancock, P. A., & Hutchinson, M. F. (2006). Spatial interpolation of large climate data sets using bivariate thin plate smoothing splines. *Environmental Modelling & Software*, 21(12), 1684–1694. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSOFT.2005.08.005>
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25(15), 1965–1978. <https://doi.org/10.1002/JOC.1276>
- Knoben, W. J. M., Freer, J. E., & Woods, R. A. (2019). Technical note: Inherent benchmark or not? Comparing Nash-Sutcliffe and Kling-Gupta efficiency scores. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(10), 4323–4331. <https://doi.org/10.5194/hess-23-4323-2019>
- Li, J. (2016). Assessing spatial predictive models in the environmental sciences: Accuracy measures, data variation and variance explained. *Environmental Modelling and Software*, 80, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.02.004>
- Ly, S., Degré, A., & Charles, C. (2013). Different methods for spatial interpolation of rainfall data for operational hydrology and hydrological modeling at watershed scale. A review. *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, 17(2), 392–406. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.1225842.v1>
- Nashwan, M. S., Shahid, S., & Wang, X. (2019). Uncertainty in estimated trends using gridded rainfall data: A case study of Bangladesh. *Water (Switzerland)*, 11(2), 5–8. <https://doi.org/10.3390/w11020349>
- Newlands, N. K., Davidson, A., Howard, A., & Hill, H. (2011). Validation and inter-comparison of three methodologies for interpolating daily precipitation and temperature across Canada. *Environmetrics*, 22(2), 205–223. <https://doi.org/10.1002/env.1044>
- Portalés, C., Boronat-Zarceño, N., Pardo-Pascual, J., & Balaguer-Beser, A. (2008). *Un nuevo método para el cálculo de precipitaciones medias mediante técnicas de interpolación geoestadística considerando las características geográficas y topográficas del terreno* (pp. 1–8). Valencia: Congreso Internacional de Ingeniería Geomática y Topográfica.
- Price, D. T., McKenney, D. W., Nalder, I. A., Hutchinson, M. F., & Kesteven, J. L. (2000). A comparison of two statistical methods for spatial interpolation of Canadian monthly mean climate data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 101(2–3), 81–94. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(99\)00169-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(99)00169-0)
- Seaman, R. S. (1988). Some real data tests of the interpolation accuracy of Bratseth's successive correction method. *Dynamic Meteorology and Oceanography*, 40(2), 173–176. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v40i2.11791>
- Taesombat, W., & Sriwongsitanon, N. (2009). Areal rainfall estimation using spatial interpolation techniques. *ScienceAsia*, 35(3), 268–275. <https://doi.org/10.2306/>

- scienceasia1513-1874.2009.35.268
- Wagner, P. D., Fiener, P., Wilken, F., Kumar, S., & Schneider, K. (2012). Comparison and evaluation of spatial interpolation schemes for daily rainfall in data scarce regions. *Journal of Hydrology*, 464–465, 388–400. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.07.026>
- Wang, S., Huang, G., Lin, Q., Li, Z., Zhang, H., & Fan, Y. (2014). Comparison of interpolation methods for estimating spatial distribution of precipitation in Ontario, Canada. *International Journal of Climatology*, 34(14), 3745–3751. <https://doi.org/10.1002/joc.3941>
- Xu, W., Zou, Y., Zhang, G., & Linderman, M. (2014). A comparison among spatial interpolation techniques for daily rainfall data in Sichuan Province, China. *International Journal of Climatology*, 35(10), 2898–2907. <https://doi.org/10.1002/joc.4180>
- Zhang, M., Leon, C. de, & Migliaccio, K. (2018). Evaluation and comparison of interpolated gauge rainfall data and gridded rainfall data in Florida, USA. *Hydrological Sciences Journal*, 63(4), 561–582. <https://doi.org/10.1080/02626667.2018.1444767>
- William Adolfo Polanco Anzueto, Licenciado en Matemática Aplicada.
Afilación laboral: Facultad de Ingeniería. USAC.
- Eugenio Miguel Polanco Sotoj, Bachiller en Ciencias y Letras, estudiante de Ingeniería en Ciencias y Sistemas.

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES

José Luis Argueta Mayorga, Ingeniero Civil, Maestro en Ingeniería Vial, Doctor en Ciudad Territorio y Sostenibilidad.

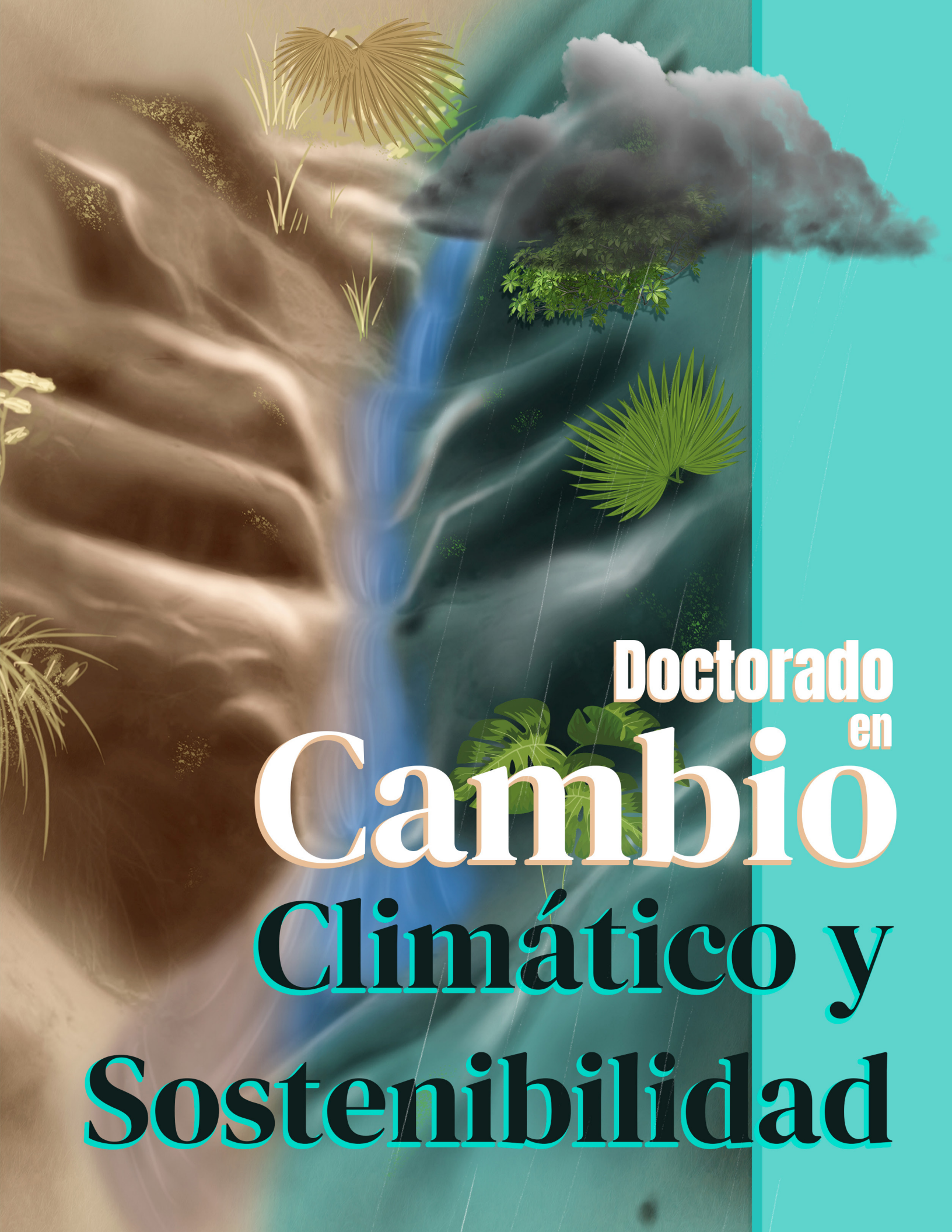
Afilación laboral: Facultad de Ingeniería. USAC.

Mayra Virginia Castillo Montes, Licenciada en Matemática Aplicada, Doctora en Educación.

Afilación laboral: Facultad de Ingeniería. USAC.

Walter Arnoldo Bardales Espinoza, Ingeniero Agrónomo, Maestro en Recursos Hidráulicos.

Afilación laboral. Facultad de Ingeniería.



Doctorado
en

Cambio

Climático y

Sostenibilidad

INFLUENCIA DE LA OSCILACIÓN MADDEN-JULIAN EN LA LLUVIA DE LA REGIÓN SUR DE GUATEMALA DURANTE EL PERIODO DE 1980 - 2015.

Influence of the Madden-Julian Oscillation on rainfall in the Southern Region of Guatemala during the period 1980-2015.

Paris Francisco Rivera Ramos

Mtro. en Recursos Hidráulicos
paris.rivera@gmail.com

Marvin Roberto Salguero Barahona

Dr. en Gestión Integrada y Gobernabilidad
de Recursos Hídricos
marvinsal@gmail.com

Recibido: 16 de agosto de 2021. | Revisado: 15 de marzo de 2022. | Aprobado: 15 de junio de 2022.

RESUMEN

Se reportan evidencias de la presencia de la Oscilación Madden-Julian OMJ en la región sur de Guatemala, que se cuantifica en términos de intensidades diarias de precipitación. Mediante el análisis de filtros de paso bajo, espectro de ondas ecuatoriales, espectro de transformada wavelet, análisis de radiación de onda larga y simple, acumulado de lluvia relacionada con las fases de la OMJ, se demuestra que hay cierta influencia que principalmente se detecta en las fases 1 y 8 para aportes de precipitación y fase 3 y 4 con inhibición de precipitación, en la región sur de Guatemala.

Se estima que existen aportes mínimos a nivel anual que alcanzan 0.48 % de la precipitación anual en la región de boca costa y del 1.12 % en la región de costa sur. Además, se evidencia mayor cambio porcentual en los análisis de acumulados mensuales, los cuales tienen variaciones hasta un 8 % de los milímetros mensuales.

PALABRAS CLAVE

Oscilación Madden-Julian, precipitación, variabilidad, intraestacional, wavelet, filtro de paso bajo, región sur de Guatemala.

ABSTRACT

Shows the evidence of the presence of the Madden-Julian OMJ Oscillation in the southern region of Guatemala and also its quantification in terms of daily precipitation intensities. Through the analysis of low-pass filters, equatorial wave spectrum, wavelet transform spectrum, accumulated simple and long-wave radiation analysis of rain related to the phases of the OMJ, it is shown that there is some influence on precipitation, mainly detected in phases 1 and 8 for precipitation contributions and phase 3 and 4 with precipitation inhibition, in the southern region of Guatemala.

Be estimated that there are minimum contributions at the annual level that reach 0.48% of the annual precipitation in the Boca Costa region. and 1.12% in the South Coast region. But it is possible to show a greater percentage change in the monthly accumulated analyzes, which have variations in monthly rainfall accumulations of up to 8% of the monthly mm.

KEYWORDS

Madden-Julian oscillation, precipitation, variability, intra-seasonal, wavelet, low-pass filter, southern region of Guatemala.

INTRODUCCIÓN

La OMJ es una perturbación de la convección y la circulación en el viento zonal de escala planetaria que más se destaca a fines de primavera y durante el verano austral, entre el 21 de septiembre y el 21 de diciembre, se propaga hacia el este por la línea ecuatorial y atraviesa los océanos Índico y Pacífico occidental con un período aproximado de 30 a 60 días (Madden, 2009). La señal de la OMJ no es constante en todas las estaciones y en distintos años, es más intensa en el verano austral (diciembre a febrero) y en condiciones del fenómeno de El Niño y la Oscilación de Sur ENOS neutrales, y tiende a suprimirse durante episodios de El Niño y La Niña intensos (Madden, 2011). La OMJ produce una serie de impactos en la atmósfera tropical, ésta se vincula a las variaciones en las precipitaciones locales como la actividad e interrupción de los monzones asiático- australiano y africano.

El estudio realizado por Hendon y Liebman (1990) evalúa los períodos del verano 1957-87, con registros de una sola estación, que excluye las fluctuaciones sinópticas. La metodología utilizada en ese estudio es el análisis espectral de la ORL (radiación de onda larga saliente), que consiste en la descomposición de dicha onda en sus diversas componentes dentro del dominio de frecuencia. Posteriormente, Nakasawa (1998) determina que las variaciones intraestacionales en la convección tropical están relacionadas con la precipitación en distintas escalas temporales.

Se puede decir que los distintos estudios sobre la Oscilación Madden-Julian (OMJ) han encontrado influencia de ésta en la inhibición y la intensificación de la lluvia. Por otro lado, se puede decir que las latitudes medias no se escapan de su efecto, ya que se reportan evidencias en los Estados Unidos como lo mencionan Xue et al. (2002), y también en la región de latitud media del hemisferio sur como mencionan Jones & Carvalho (2002).

En la mayoría de los estudios el dominador común es el análisis de la OLR, utilizando el análisis espectral

para filtrar las diferentes temporalidades de la OMJ; asimismo, para las precipitaciones se utilizan datos de modelos globales y en ocasiones se realizan algunos índices y clasificaciones específicas como en el estudio de Torres (2012) y Solano (2015).

La metodología de análisis en común implica el filtrado por varios métodos de un conjunto de datos de precipitación global o de estaciones locales diarias. Otros estudios también determinan un índice de la radiación de onda larga (OLR) de la OMJ sobre el área de estudio con base en modelos globales, luego se comparan con los datos puntuales de las estaciones locales, principalmente para el pronóstico de la OMJ. La radiación de onda larga (OLR) es muy utilizada para el análisis y monitoreo de la Madden-Julian (MJO), y se usa para su análisis de predictibilidad. Las anomalías de OLR tienden a ser opuestas en signo a anomalías de convección tropical (que favorecen la lluvia), como la convección profunda se asocia típicamente con nubes más altas y, por lo tanto, las temperaturas de nubosidad más frías y menos emisiones de radiación de onda larga (Wheeler & Weickmann, 2001). Es por esto por lo que en los mapas de OLR los valores negativos son los que favorecen a que se presenten nubes.

En la mayoría de los estudios consultados no se compara o estima cuánto podría favorecer o desfavorecer en porcentaje, la influencia de la OMJ en la precipitación, a excepción de Poveda y otros (2002), que estiman en un 37 % la variación de la lluvia en la región Sur de América. La utilización de funciones ortogonales empíricas también es un tipo de análisis que permite encontrar la relación entre dos variables y se utiliza para algunos estudios, como en el caso de Janicot & Mounier (2004).

Torres (2012) utiliza el análisis espectral (Wavelets) para evaluar series de precipitación pentadal (acumulados de cinco días), con datos provenientes de mediciones en pluviómetros de estaciones locales en Colombia, y reporta señales que relacionan la precipitación con la OMJ entre 10-20 días, 30-40 días,

55-60 días, semestrales, interanuales e interdecadales; igualmente identifica que en la escala intraestacional de la precipitación la señal más marcada es la cercana a los 30 días, por lo que intenta relacionar directamente esta señal con la correspondiente en la serie del Índice de Madden-Julian, identificando correlaciones relativamente destacadas para algunas de las regiones analizadas.

Este método parece adecuado para detectar perturbaciones en las series de precipitación de las estaciones a utilizar en este estudio, ya que ofrecen suavizar las series y así poder identificar la OMJ. Yepes & Poveda (2013), con base en series de precipitación pentadal, provenientes de uno de los niveles de datos obtenidos por medición remota de la Tropical Rain Measurement Mission (TRMM), y con el uso de espectro de Hilbert-Huang, encuentran también una señal importante sobre los 20 días que se expresa mejor sobre la Amazonía y el Pacífico colombiano. El periodo superior a 20 días es el periodo menor encontrado para la manifestación de la OMJ, los periodos más largos pueden llegar a 90 días según los estudios consultados.

DESARROLLO DEL ESTUDIO

El estudio que se reporta es cuantitativo, de alcance explicativo y diseño no experimental. Se recolectan las series de datos a nivel diario de registros de precipitación diaria de 8 estaciones locales de periodo de 1980 al 2015, provenientes de la red de estaciones meteorológicas del INSIVUMEH, además de datos de reanálisis del NCEP/NCAR, datos de amplitud de la OMJ del Buró de metodología de Australia. Para los análisis se utiliza el software wavelet de la Universidad de Colorado de Boulder, el modelo simple de circulación Speedy del ICTP de Italia y software R.

Los acumulados de lluvia asociados a fases de la OMJ y amplitudes, se determinan con el programa Excel, la detección de la OMJ en la región sur se determina gracias al software wavelet, filtro de paso bajo usando Scilab.

Los patrones de inhibición y aporte de lluvia se calculan usando el software R y el programa Excel.

En la figura 1 se muestra la ubicación de las estaciones meteorológicas cuyos registros se utilizan.

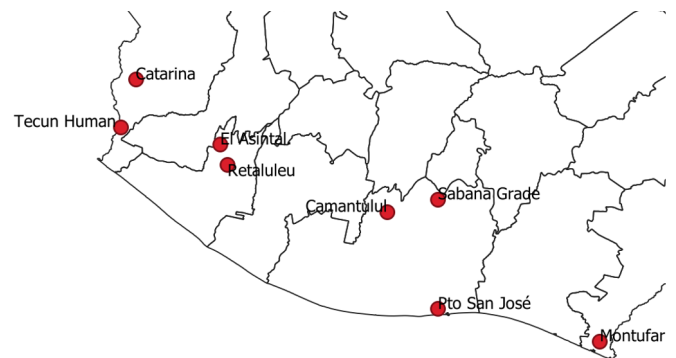


Figura 1. Estaciones de a región sur de Guatemala utilizadas para el estudio.

Luego de detectar la señal de la OMJ, se procede a realizar la cuantificación de los aportes o inhibiciones en que la OMJ influye en la precipitación. Para ello se encuentra la diferencia entre las intensidades de lluvia diaria asociadas a la amplitud alta de la OMJ (> 1.48) y las intensidades de precipitación diaria asociadas a una amplitud baja (< 0.88). Así mismo, estas diferencias están filtradas en los casos de cada una de las 8 fases de la oscilación.

Finalmente, se realiza la prueba Chi-cuadrado para evaluar la representatividad estadística de la relación entre los cambios de amplitud y los cambios de propiciación de las intensidades encontradas.

Los resultados más relevantes del estudio se presentan a continuación.

RESULTADOS OBTENIDOS

El espectrograma de potencia aplicado a las series de precipitación de las subregiones de boca costa y Pacífico indican periodos de variación de precipitación entre los 30 a 50 días, lo cual es una señal que la OMJ influye en esos cambios, como se puede observar en la figura 2, la serie tiene aplicado un filtro de paso bajo.

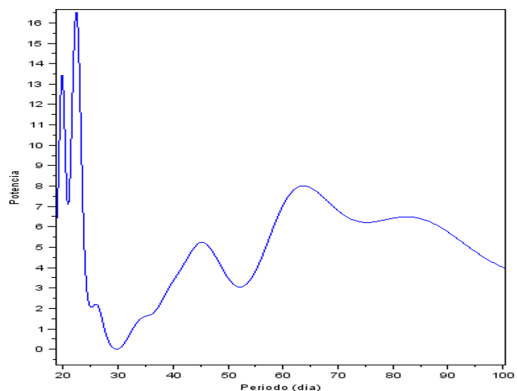


Figura 2. Espectro de potencia, del promedio de precipitación del as estaciones de la Región Sur, periodo 1980 al 2015.

El espectro de frecuencia de ondas ecuatoriales también detecta la señal de la OMJ con datos de precipitación. En este caso, en vez de utilizar los datos de estaciones se usa la salida del modelo Speedy, a una resolución espacial de 30Km cuadrados para una latitud de -15 grados sur a 15 grados norte.

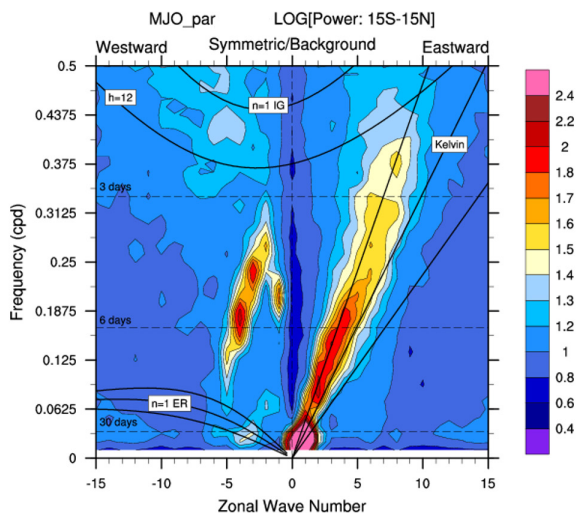


Figura 3. Espectro de frecuencia de ondas ecuatoriales de la lluvia.

En la figura 3 se puede observar en colores la potencia de las ondas ecuatoriales, se evidencia en color rosado la OMJ, la cual está asociada a un periodo de 40 a 50 días, aproximadamente.

El espectro de potencia wavelet del promedio de las estaciones locales de la región sur de Guatemala, también detecta variabilidad de la precipitación asociada a los ritmos de la OMJ. Ver figura 4 y 5.

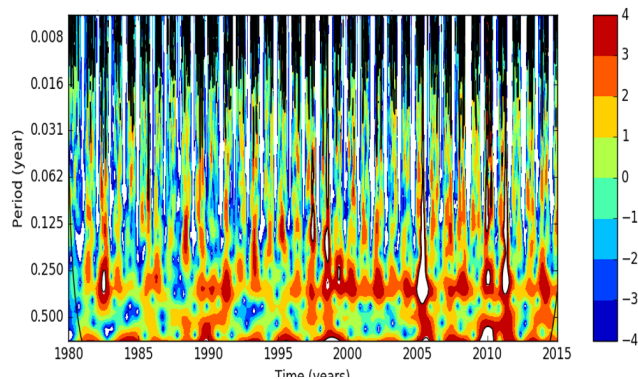


Figura 4. Espectro de potencia de la precipitación (en Logaritmo base 2).

En la figura 4 los colores rojos más notorios presentan la variabilidad estacional a un nivel de 100 días aproximadamente, los colores azules a nivel de 40 a 50 días representan la OMJ.

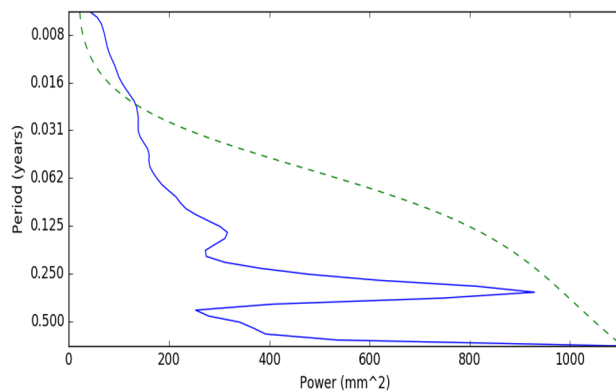


Figura 5. Espectro global de frecuencia wavelet del promedio de estación es de la Regio Sur, periodo 1981 a 2015.

En la figura 5, la línea azul es la serie de precipitación suavizada, se puede notar que hay una perturbación en los periodos asociados a la OMJ.

La línea punteada representa que lo que está por debajo de ella, tiene una representatividad estadística del 95 %.

Respecto a la cuantificación de las intensidades de lluvia asociadas a la OMJ se puede mencionar que son resultado de las diferencias entre las precipitaciones asociadas a una amplitud alta y baja de la OMJ. Los resultados en mm/día se muestran en la tabla 1, distribuidos por mes y fase de la OMJ.

Tabla 1.
Intensidades diarias de precipitación asociadas a la OMJ.

	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5	Fase 6	Fase 7	Fase 8
Enero	-1.4	-0.2	0.0	-1.5	-0.2	0.0	-0.1	0.1
Febrero	-0.1	-0.4	-1.3	-0.9	-0.1	0.4	-0.7	-0.8
Marzo	0.0	0.9	1.4	0.1	0.1	2.1	1.1	0.5
Abril	-0.7	-2.5	-1.8	-0.8	-0.8	-0.9	-0.1	3.3
Mayo	3.5	2.1	1.0	0.1	-1.9	-1.8	-0.2	2.3
Junio	2.8	1.6	-3.7	-1.5	-3.2	-2.9	-2.6	4.9
Julio	0.2	3.7	1.8	0.9	3.4	-3.3	2.7	9.4
Agosto	1.5	1.5	-2.1	-4.8	-0.7	1.7	-2.7	-0.4
Septiembre	5.8	1.5	-3.8	-2.7	-3.8	-8.8	-5.7	1.8
Octubre	-3.0	-2.5	-5.9	-1.4	0.1	-1.0	2.1	-1.3
Noviembre	4.8	1.7	1.2	-0.7	-5.2	-1.4	-0.4	0.9
Diciembre	-0.6	-0.6	-0.7	-0.5	-0.7	-0.7	0.9	1.1

Fuente: elaboración propia.

Las intensidades encontradas se pueden presentar en una distribución de las fases de la OMJ y en cada estación evaluadas. Ver figura 6.

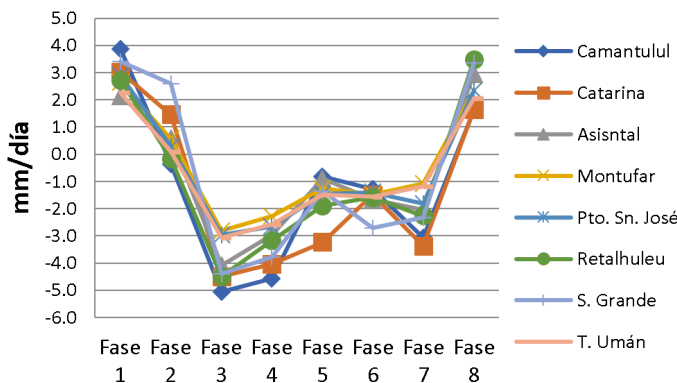


Figura 6. Intensidad de lluvia por fase de OJM.

La figura 6 muestra las distintas intensidades de lluvia en términos de anomalía, para cada estación de la región sur de Guatemala asociada en cada fase de la OMJ.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Zhang (2013), identifica fenómenos atmosféricos que se relacionan con eventos hidrometeorológicos extremos, tanto en su intensidad como en su recurrencia, lo cual coincide con Martin y Schumacher (2011), quienes encontraron que los eventos de lluvia extrema sobre las islas caribeñas muestran una fuerte relación con las fases 1 y 2 de la MJO. Coincidiendo en parte con este estudio, ya que se encontró también aportes de precipitación justamente en las fases 1 y 2.

Los periodos de variabilidad de precipitación asociada a la OMJ que se identifican en este estudio (25 a 45 días) son similares a los encontrados en el estudio realizado en Costa Rica en el 2014. El análisis espectral con filtrado de 30 días de los datos de lluvia de las estaciones de Liberia, Paquera y Coto, se reporta que, la mayor potencia está asociada a un período de 28, 31 y 29 días respectivamente en la vertiente del Pacífico de Costa Rica (Poleo et al., 2014).

Se identifica la existencia de la influencia de la OMJ en la región sur, con el uso de filtros de paso bajo, similar a Poleo et al. (2014); diagrama de ondas ecuatoriales como Matthew Wheeler & Kiladis (1999), transformada wavelet (Torrence & Compo, 1998; Torres & Pabón, 2017) y análisis de radiación de onda larga como Pohl et al. (2007) y simple acumulado de lluvia relacionada con las fases de la OMJ, demuestran que hay cierta influencia en la precipitación. Principalmente se detecta en las fases 1, 2 y 8 para aportes de precipitación y fase 3 y 4 con inhibición de precipitación. Se detecta también que la OMJ tiene un componente estacional en la variabilidad de su amplitud, es decir, la fuerza de la OMJ, la cual varía a con periodos mayores a los intraestacionales.

Los resultados de esta investigación en términos generales son similares a los encontrados en los estudios mencionados, principalmente en las fases

de aporte y en las señales de variabilidad dentro de los periodos de la OMJ. Pero es necesario realizar evaluación de la relación de la OMJ con otros forzantes climáticos como el ENOS, por lo que este es otro vacío de conocimiento interesante relacionado con la OMJ y su manifestación en Guatemala.

El estudio que se reporta indica que existen señales de variabilidad de la precipitación en la región sur de Guatemala a nivel intraestacional y esta se relacionada con la amplitud y con la fase en que se encuentre la OMJ. De esto se puede mencionar que lo más importante es el valor de amplitud, ya que es la principal condicionante de la manifestación de la oscilación. Por otro lado, relacionada a sus efectos en la precipitación, hay que considerar que estas señales deben estar acompañadas con los respectivos análisis de humedad en la atmósfera, ya que, si no hay humedad suficiente, la amplitud de la OMJ no genera ninguna influencia en la precipitación.

Respecto al cambio climático, esta oscilación podría impactar de forma más intensa en el futuro si se toman en cuenta los procesos antropogénicos locales, como el cambio de uso del suelo. Ochoa et al. (2016) plantean que se han encontrado señales de variabilidad climática en Guatemala y el cambio de uso de la tierra, principalmente en el altiplano, pero falta observar que sucede en la región sur del país bajo la influencia de la OMJ.

En la región del Pacífico se precipitan anualmente 1,266 mm anuales, promedio del año 1980 al 2015, bajo la influencia de amplitudes altas. Sin esa influencia la precipitación puede alcanzar los 1,280 mm/anuales. Representa unos 10 mm/anuales que se le quitan a la precipitación, equivalente a un 1.12% de la precipitación anual.

Respecto a las intensidades de lluvia asociadas a la OMJ, en fase 2 los aportes están en un rango de 0.0 a 2.6 mm/día. Intensidades mayores a las encontradas por Valadao et al. (2015), en donde en el noreste de Brasil encuentran intensidades en la fase 2 entre

0.9 a 1.9 mm/día. Otros estudios refieren anomalías similares de 2.5 mm/día, tal es el caso del estudio en Nueva Guinea en donde estas relaciones explican el 80 % de la precipitación asociada a la OMJ (Peatman et al., 2014). Magnitudes similares se encuentran en un estudio que aborda la relación entre la OMJ y la precipitación durante el invierno sobre Asia oriental, donde esta relación alcanza un rango de 3 a 4 mm/día (Jeong et al., 2008).

La prueba Chi-cuadrado realizada a las relaciones que se identifican, muestra una representatividad estadística de por lo menos el 95 % en los meses de julio y agosto, donde las intensidades de aporte en promedio son de 9 milímetros por día el mes de julio y una inhibición de aproximadamente 6 milímetros por día en el mes de agosto. En tal sentido estos valores representan en promedio un 4 % de aporte y un -2 % de inhibición de precipitación mensual respectivamente.

CONCLUSIONES

La influencia de la OMJ en la variabilidad intraestacional de la precipitación en la región sur es explicada a través del análisis de la precipitación de 8 estaciones locales en el periodo de 1980 al 2015. Se detecta que existe una variación dentro de los periodos intraestacionales a los periodos de la OMJ.

Se detecta un patrón de variación de lluvia dentro de los periodos de la OMJ (20-60 días) con base en el análisis de frecuencias, transformada wavelet y espectro de potencia. Los acumulados de lluvia presentan un patrón que favorece a la precipitación en la región sur de Guatemala y un patrón que inhibe la precipitación en la región sur de Guatemala.

El aporte de la OMJ a la precipitación es en la fase 1 y 2 y principalmente en la fase 8. La inhibición de precipitación se da en la fase 3 y 4 de la OMJ. Basado solamente en los acumulados de lluvia asociados a las fases de la OMJ, la primera parte de la época lluviosa es en la que más se evidencia la influencia de la OMJ en su fase 1.

Las intensidades estadísticamente que son representativas asociadas a la OMJ, se presentan en los meses de julio y agosto y en promedio representan unos 9 mm/día en la fase 8 y -5 mm/día en el mes de agosto en la fase 4; lo que en porcentaje mensual equivalen a un 4% y -2% de acumulado mensual, respectivamente.

En base en los resultados de la aplicación de la prueba Chi-cuadrado se puede afirmar que solo en algunos casos los patrones encontrados tienen significancia estadística y se puede concluir que el mes de julio es en el que más estaciones cumplen con la prueba durante la fase 8.

RECOMENDACIONES

Se requiere realizar estudios sobre la relación de la OMJ con otros forzantes climáticos como el ENOS, ya que este estudio detecta señales de variabilidad estacional e interanual las cuales podrían estar relacionadas con otros forzantes climáticos.

Otra vertiente de investigación es la aplicación de análisis similares para otras oscilaciones intraestacionales como las ondas Kelvin y las ondas de Rossby, que también podrían influir en el comportamiento de la precipitación en Guatemala, ya que está ubicada dentro de la banda tropical del mundo, se recomienda evaluar los impactos asociados de los ciclones tropicales fortalecidos por la OMJ.

También se identifican posibilidades de realizar investigaciones que evalúen la relación entre el cambio de uso de la tierra y los posibles impactos de precipitaciones extremas, asociadas a la OMJ en áreas vulnerables al cambio climático en Guatemala; así como estudios que evalúen la habilidad de los modelos de pronóstico meteorológico para predecir la precipitación asociada a la OMJ.

Finalmente, se sugiere utilizar los patrones climáticos encontrados en este estudio para investigaciones que utilicen pronósticos probabilísticos basados en series de tiempo históricas de precipitación diaria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Jeong, J. H., Kim, B. M., Ho, C. H., & Noh, Y. H. (2008). Systematic variation in wintertime precipitation in East Asia by MJO-induced extratropical vertical motion. *Journal of Climate*, 21(4), 788–801. <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1801.1>
- Ochoa, W., Rivera, P., Salguero, M., & Gonzales, B. (2016). *Uso de la tierra y variabilidad climática en la subcuenca del río Panajachel, Sololá, Guatemala*. UNICA, XII Conferencia Científica Internacional.
- Peatman, S. C., Matthews, A. J., & Stevens, D. P. (2014). Propagation of the Madden-Julian Oscillation through the Maritime Continent and scale interaction with the diurnal cycle of precipitation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 140(680), 814–825. <https://doi.org/10.1002/qj.2161>
- Pohl, B., Richard, Y., & Fauchereau, N. (2007). Influence of the Madden-Julian oscillation on southern African summer rainfall. *Journal of Climate*, 20(16), 4227–4242. <https://doi.org/10.1175/JCLI4231.1>
- Torrence, C., & Compo, G. (1998). A Practical Guide to Wavelet Analysis. *Journal of Materials Science*, 32(10), 2623–2627. <https://doi.org/10.1023/A:1018662703668>
- Torres-Pineda, C. E., & Pabón-Caicedo, J. D. (2017). Variabilidad intraestacional de la precipitación en Colombia y su relación con la oscilación de Madden-Julian. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 41(158), 79. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.380>
- Valadao, Lucio, P. S., Rosane Rodrigues, & Carvalho, L. M. V. (2015). *The influence of the madden-julian oscillation on rainfall in the seridó / rn , northeast brazil. October*.
- Wheeler, M., & Weickmann, K. M. (2001). Real-time monitoring and prediction of modes of coherent synoptic to intraseasonal tropical variability. *Monthly Weather Review*, 129(11),

2677–2694. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2001\)129<2677:RTMAPO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2001)129<2677:RTMAPO>2.0.CO;2)

Wheeler, Matthew, & Kiladis, G. N. (1999). Convectively Coupled Equatorial Waves: Analysis of Clouds and Temperature in the Wavenumber-Frequency Domain. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 56(3), 374–399. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1999\)056<0374:CCEWAO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1999)056<0374:CCEWAO>2.0.CO;2)

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES

Doctor en Cambio Climático y Sostenibilidad, Paris Francisco Rivera Ramos, Escuela de Estudios de Postgrado, Facultad de Ingeniería USAC, 2021.

Maestro en Recursos Hidráulicos opción Calidad del Agua de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2005.

Ingeniero Civil, egresado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2001. Afiliación Laboral: Universidad Mariano Gálvez.

Doctor en Gestión Integrada y Gobernabilidad de Recursos Hídricos, Marvin Roberto Salguero Barahona. Facultad de Geociencias, Universidad de Utrecht, 2009.

Maestro en Manejo Sostenible de Suelo y Agua con Especialidad en Planificación y Manejo de Recursos Hídricos en Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad San Carlos de Guatemala, 2002.

Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007

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

DINÁMICA DEL USO DE LA TIERRA Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO PANAJACHEL, CUENCA DEL LAGO DE ATITLÁN, SOLOLÁ.

Land use dynamics and climatic variability in the Panajachel river subbasin, Atitlán lake basin, Sololá

Wener Armando Ochoa Orozco

M.Sc. en Gestión Ambiental
wenerochoa@gmail.com

Marvin Roberto Salguero Barahona

Dr. en Gestión Integrada y Gobernabilidad
de Recursos Hídricos
marvinsal@gmail.com

Recibido: 15 de noviembre de 2021. | Revisado: 25 de marzo de 2022. | Aprobado: 15 de julio de 2022.

RESUMEN

El presente estudio partió de la interrogante ¿Cuál es la dinámica del uso de la tierra con la variabilidad climática y cómo se manifiesta con la erosión hídrica? Para ello se realizó revisión bibliográfica, aplicación de la Ecuación Universal de Perdida de Suelos Revisada, Sistemas de Información Geográfica, metodología Conversion of Land use and its Effects CLUE, ortofotos, sobreposición de mapas y software R-Climdex. Los resultados obtenidos evidenciaron que existe aumento significativo en la transformación de bosque a usos como agricultura y urbanización. La tendencia de la precipitación es normal de manera general, observándose una disminución en la precipitación promedio anual de 1,235 mm anual en los últimos 7 años. La erosión hídrica del año 2018, es muy alta con pérdidas mayores a 200 Ton/ha/año en la subcuenca. Dinámica que se mantiene para los escenarios del 2030 y 2040. Por lo tanto; la dinámica del uso de la tierra es variable y está relacionada con la variabilidad climática a través de la precipitación al evidenciar que hay incremento de erosión hídrica.

PALABRAS CLAVE

Uso de la tierra, precipitación, erosión hídrica, urbanización, bosque.

ABSTRACT

The present study started from the question: What is the dynamics of land use with climate variability and how does it manifest itself with water erosion? For this, a bibliographic review was carried out, application of the Revised Universal Soil Loss Equation, Geographic Information Systems, Conversion of Land use and its Effects CLUE methodology, orthophotos, map overlay and R-Climdex software. The results obtained showed that there is a significant increase in the transformation of the forest to uses such as agriculture and urbanization. The trend of precipitation is generally normal, observing a decrease in average annual precipitation of 1,235 mm per year in the last 7 years. The water erosion in 2018 is very high with losses greater than 200 Ton / ha / year in the sub-basin. This dynamic is maintained for the 2030 and 2040 scenarios. Therefore; the dynamics of land use is variable and is related to climate variability through precipitation by showing that there is an increase in water erosion.

KEYWORDS

Land use, precipitation, water erosion, urbanization, forest.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un ecosistema que surge a través de procesos de meteorización, no es un sistema estático (FAO, 2016). El área de estudio es la subcuenca del río Panajachel, cuenca del lago de Atitlán, Sololá. A nivel mundial se estima que la erosión hídrica transporta entre 23 a 42 millones de toneladas de Nitrógeno y de 15 a 26 millones de toneladas de Fósforo cada año (FAO, 2016). La erosión hídrica es ocasionada cuando el agua que escurre sobre la superficie no se infiltra (Pulido, 2014).

Netzer et al. (2011), plantea que para Latinoamérica, la degradación, el cambio del uso de la tierra y la deforestación, son algunos de los orígenes importantes de la concentración de gases de efecto invernadero, generados por cambio de uso de la tierra.

Conocer estos resultados contribuirán a la adaptación al cambio climático.

DESARROLLO DEL ESTUDIO

Se tuvo como unidad de estudio la subcuenca del río Panajachel, cuenca del lago de Atitlán, Sololá, Guatemala y como unidad de análisis la erosión hídrica. En cuanto al diseño es no experimental, debido a que se observó el fenómeno tal como se da en la realidad para luego analizar y explicarlo. Es un estudio cuantitativo; porque usa la recopilación de datos para probar una hipótesis con base en mediciones numéricas y análisis estadístico. Es longitudinal de tendencia, dado que se busca entender y explicar los cambios a través del tiempo del uso de la tierra y la precipitación manifestada en la erosión hídrica y es transversal en cuanto al análisis a realizar de la interacción de la precipitación y el uso de la tierra manifestada en la erosión hídrica en el periodo de tiempo de 1980 a 2018.

Tiene un alcance descriptivo, pero a la vez explicativo, correlacional e interpretativo, porque describe la dinámica del uso de la tierra y la variabilidad climática por medio de la precipitación y explica e interpreta

la interacción de estas, manifestada en la erosión hídrica. Se utilizaron herramientas digitales, la base cartográfica del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala y del Instituto Geográfico Nacional, Mapa de Cuencas Hidrográficas de la República de Guatemala (MAGA-IGN), Hojas Cartográficas (IGN), Modelos de Elevación Digital y ortofotografías. El análisis de toda esta información se hizo con software SIG ARCGIS 10.X. Se utilizó la imagen satelital Landsat 8, Sentynel, para la clasificación de los usos de la tierra de cada período en estudio se utilizó la clasificación basada en los usos mas predominantes.

Para la precipitación se utilizó el software Rclimdex y el método Delta. La determinación de la erosión hídrica fue mediante la aplicación del método RUSLE integrado a Sistemas de Información Geográfica. La ecuación es la siguiente:

$$A=R \times K \times L \times C \times P$$

Donde,

A = pérdida de suelo (t/ha).

R = índice de erosividad asociado a la lluvia.

K = factor de erodabilidad del suelo.

L = longitud de la pendiente.

S = porcentaje de pendiente.

C = cobertura y manejo.

P = prácticas de control de la erosión.

La elaboración de una simulación de ocupación y usos de la tierra de la subcuenca del río Panajachel, para los años 2030 y 2040, bajo un escenario tendencial, se realizó mediante la utilización de Sistemas de Información Geográfica, utilizando el software de ARGIS y Conversion of Land use and its Effects (CLUE).

RESULTADOS OBTENIDOS

Existe un incremento de la transformación de las áreas de bosque a otros usos como agrícola o urbanización.

Tabla 1.

Uso de la tierra de la subcuenca del río Panajachel.

Uso	Área (km ²)						
	1980	1990	2000	2010	2018	2030	2040
Bosques	49.14	43.62	39.13	36.62	34.23	31.26	28.31
Agricultura	17.58	21.33	23.03	25.54	27.19	30.09	32.72
Poblados	0.75	1.98	2.72	3.51	3.92	4.64	5.11
Matorrales	1.98	2.33	3.56	3.76	3.95	3.38	3.01
Pastizales	0.95	1.14	1.96	0.97	1.11	1.03	1.25
Total	70.40	70.40	70.40	70.40	70.40	70.40	70.40

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la tendencia de la precipitación se identificó que del año 1994 al 2001 se observa una tendencia normal, sin embargo, se observó una disminución en la precipitación promedio anual de 1,235 mm anual en los últimos 7 años.

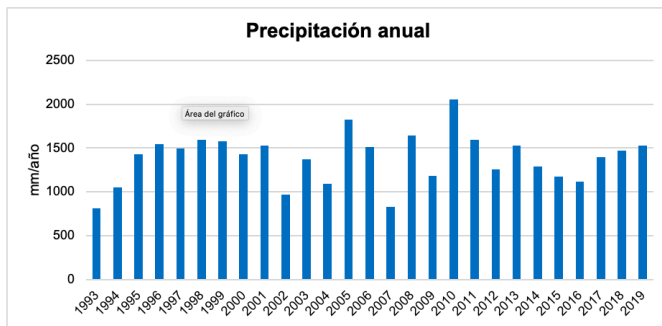
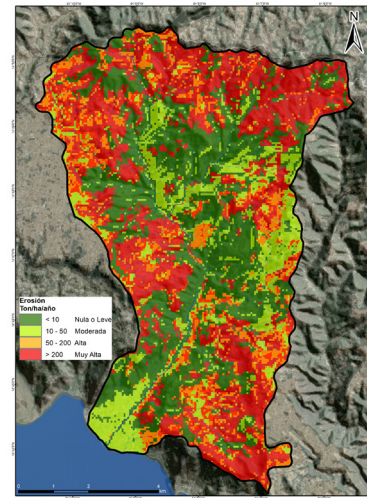


Figura 1. Variabilidad de la precipitación.

De acuerdo al análisis de la erosión hídrica en la subcuenca del río Panajachel en el año 2018, se determinó que existe muy alta erosión con pérdidas mayores a 200 Ton/ha/año y una cobertura del 39.82 % del área total de la subcuenca, el 17.79 % de erosión alta entre rangos de 50-200 Ton/ha/año, moderada 21.44 %. Entre 10 a 50 Ton/ha/año y 22.26 % con una erosión nula o leve menor a 10 Ton/ha/año. Del año 2001 al año 2018 se observa un incremento del uso de

la tierra para agricultura anual de 18.63 a 22.96 km² y una disminución del área para bosques de 27.50 a 21.79 km².

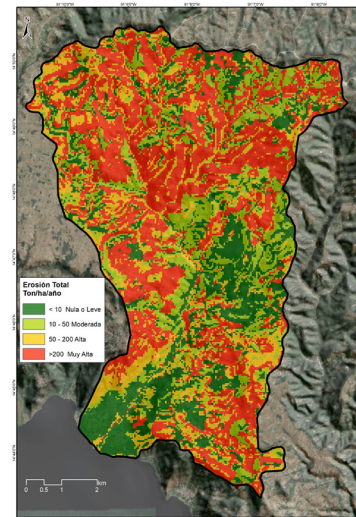


Escenarios de erosión hídrica del año 2030, subcuenca del río San Francisco o Panajachel, cuenca del lago de Atitlán

Nivel	Pérdida de suelo (Ton/ha/año)	Tipo de erosión	Área (km ²)	Área (%)
1	< 10	Nula o leve	14.32	20.06
2	10-50	Moderada	14.82	21.05
3	50-200	Alta	11.60	16.39
4	> 200	Muy Alta	30.06	42.70
Total			70.40	100

Figura 2. Erosión hídrica de la subcuenca del río Panajachel del año 2018.

En cuanto a los escenarios al 2030 y 2040 los resultados fueron los siguientes:



Erosión hídrica en la subcuenca del río Panajachel o San Francisco, Cuenca del lago de Atitlán. Año 2018

Nivel	Pérdida de suelo (Ton/ha/año)	Tipo Erosión	Área (km ²)	Área (%)
1	< 10	Nula o leve	14.77	20.95
2	10-50	Moderada	15.11	21.44
3	50-200	Alta	12.51	17.79
4	> 200	Muy Alta	28.07	39.82
Total			70.45	100.00

Figura 3. Escenario de erosión hídrica, año 2030.

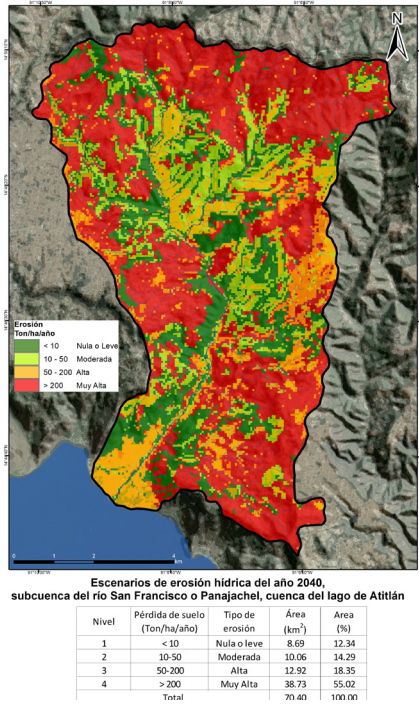


Figura 4. Escenarios de erosión hídrica, año 2040.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los cambios de cobertura y uso de la tierra en escalas locales están ligados a una combinación específica de factores económicos, tecnológicos, institucionales, culturales y demográficos, que dependen de cada lugar y de cada contexto histórico, así como a la ubicación geográfica, topografía, geología, suelo, clima y factores antropogénico como la historia del uso del suelo y las tendencias socioeconómicas y demográficas (Gallardo et al., 2015).

Para Mendoza (2011), el cambio de uso de la tierra constituye, entre otras posibilidades la modificación de la cubierta vegetal y la deforestación constituye la pérdida de una cubierta vegetal arbolada, sustituida principalmente por una cubierta como la agricultura, a lo que se le llama también modificación en la composición del suelo en términos de Alvarado, (2011).

Se evidencia que uno de los factores de mayor incidencia en los procesos de cambio de cobertura

y uso de la tierra es la deforestación y con esto se observa que el cambio del uso de la tierra debido a presión demográfica entre otros factores, provoca procesos de suelo así como pérdida y deterioro de bosques.

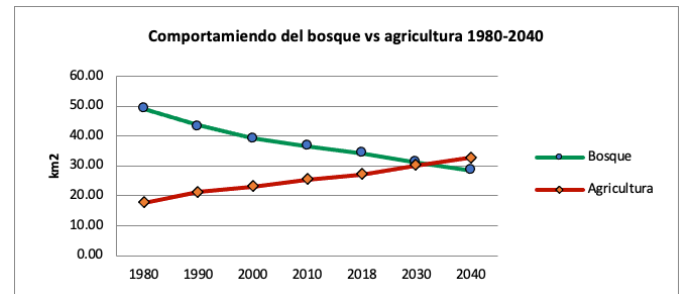


Figura 5. Bosque versus agricultura 1980-2040.

Para Prado-Hernández et al. (2017), en las cuencas de cabecera en régimen natural, se observa que ante los cambios de uso de la tierra existen cambios en los patrones de precipitación, en el ciclo hidrológico, donde no solo afecta a las aportaciones superficiales sino también al contenido de humedad del suelo y recarga al acuífero.

Los valores de erosión hídrica respecto al uso de la tierra en el año 2018, reflejan una estrecha dependencia entre el uso de la tierra y los regímenes de precipitación, topografía y manejos de los suelos. Esta dinámica se refleja en los escenarios obtenidos para los años 2030 y 2040.

La erosión y el cambio del uso de la tierra tienen una estrecha relación, a medida que la degradación del suelo aumenta por la pérdida de cobertura principalmente la boscosa y de matorrales (Netzer, 2011 y FAO, 2016).

La erosión hídrica en la subcuenca del río Panajachel, en el escenario para el año 2030, 42.70 % de la cuenca posee erosiones mayores a 200 ton/ha/año. Según FAO, (2016) y Netzer, (2011); la tasa máxima permisible, cuando se habla de erosión del suelo es de 10 toneladas/hectárea/año, ya que se calcula que esta es la velocidad a la que el suelo se genera, por lo que todo territorio

cuyas pérdidas de suelo no superen las 10 T/Ha/año no presentarán pérdidas netas debido a la erosión.

El uso de la tierra afecta el clima y las precipitaciones. El uso de la tierra tiene una influencia directa sobre la evapotranspiración, los vientos y la forma de las nubes. En términos concretos se puede deducir que en algunos lugares llueve menos porque hay menos bosque, debido a que los bosques evitan que se sequen las fuentes de agua en el verano. El uso de la tierra determina, en parte, cual es el porcentaje de lluvia que cae y se infiltra en el suelo y que porcentaje se pierde, fluyendo como escorrentía. Los bosques naturales suelen poseer buena infiltración, su amplia estructura de raíces abren muchos poros en el suelo y la vegetación lo protege de la compactación, sin olvidar la cantidad de material como obstáculo para la disminución de la velocidad de la escorrentía (ramas, troncos caídos, pastos) estos favorecen y aumentan la infiltración y reducen la erosión a causa del agua.

En el marco de estos escenarios con los resultados obtenidos, cabe mencionar que, al incrementar el uso de la tierra para urbanización es muy probable que los caudales tiendan a aumentar debido a la impermeabilización. A pesar de que para la subcuenca se proyecta una disminución de la precipitación anual en el área, pero con eventos de mayor intensidad y corta duración, en específico se espera un aumento de intensidad de lluvia diaria, lo cual en términos concretos para los escenarios de erosión hídrica significa mayores valores de erosión y con una tendencia incremental, coincidiendo con la conclusión del estudio de impactos del uso de la tierra y cambios de cobertura vegetal en la modificación de precipitaciones extremas en Postdam, Alemania, quienes afirman que los cambios de uso de la tierra modifican la magnitud y la distribución espacial de la precipitación extrema (Woldemichael et al., 2014).

El cambio de uso de la tierra hacia usos incorrectos tienen un efecto negativo directo en la erosión hídrica, ya que se incrementa dicha erosión, al relacionarse con la precipitación.

CONCLUSIONES

La dinámica del uso de la tierra en la subcuenca ha sido bastante variable, sin embargo, del año 2001 al año 2018 se observa un incremento para agricultura anual de 18.63 a 22.96 km² y una disminución del área para bosques de 27.50 a 21.79 km². El comportamiento de bosque y agricultura anual, evidencia que existe un crecimiento en el año 2006 de uso de la tierra para la agricultura, evidenciando la disminución de la cobertura forestal. El comportamiento de la precipitación evidencia que del año 1994 al 2001 se observa una tendencia normal, sin embargo, de los años 2002 al 2010 las tendencias de la precipitación comienzan a variar y se normalizan del 2011 al 2017, luego, se observa una disminución en la precipitación anual de 1,235 mm anual en los últimos 9 años y un aumento de intensidad de lluvia diaria y de corta duración.

Para el año 2018 se determinó que existe muy alta erosión con pérdidas mayores a 200 Ton/ha/año y una cobertura del 39.82 % del área total de la subcuenca, el 17.79 % de erosión alta entre rangos de 50-200 Ton/ha/año, moderada 21.44 % entre 10 a 50 Ton/ha/año y 22.26 % con una erosión nula o leve menor a 10 Ton/ha/año, esto como consecuencia del cambio de uso de la tierra de cobertura forestal a uso agrícola lo cual aumenta la vulnerabilidad ante las precipitaciones normales de la estación lluviosa.

En cuanto a los escenarios, se proyecta el incremento de erosión hídrica para el año 2030 y 2040, debido al incremento de cambio de uso de la tierra para fines agrícolas o áreas artificiales, aumentando las interfaces forestales – agrícola y agrícola/forestal – urbano. En términos concretos los escenarios de erosión hídrica son mayores y con una tendencia incremental.

RECOMENDACIONES

Trabajar de manera inmediata una propuesta de gestión del uso de la tierra en la subcuenca, orientando a programas de conservación del suelo en las regiones de mayor riesgo a erosión y en las áreas con cobertura

agrícola principalmente para adaptarse al cambio climático.

Estudiar a profundidad un solo uso de la tierra, pudiendo ser solo bosque y/o solo uso agrícola relacionado con mas variables climáticas como la precipitación, la temperatura y la humedad del suelo para comprender un poco mas la relación del sistema climático con el uso de la tierra.

Investigar sobre la relación del cambio del uso de la tierra y su influencia en la hidrología e hidrogeología de la subcuenca.

Continuar investigando el papel del uso de la tierra y sus cambios y su relación con las tele conexiones climáticas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, K. (2011). Pérdida de suelo por erosión hídrica en diferentes sistemas de producción con papa. *Solanum tuberosum L. Revista Ciencias Agrícolas vol. XXVIII No. 1. p. 64-72.*
- FAO. (2016). *Estado mundial del recurso suelo.* FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>
- Gallardo, M. y Martínez-Vega, J. (2015). *La utilización de escenarios futuros de usos del suelo como herramienta en la planificación territorial.* Poster. Tercer Foro Nacional de Percepción Remota y SIG. Concepción, Chile. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/322437435_La_utilizacion_de_escenarios_futuros_de_usos_del_suelo_como_herramienta_en_la_planificacion_territorial
- Mendoza, M. (2011). Alternativas para el control de la erosión mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetalización. *Revista Ingeniería e Investigación. Volúmen 31 (3). Pp 89-90,* Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v31n3/v31n3a09.pdf>
- Netzer, N. & Gouverneur, J., (2011). *Saving Tomorrow – Today?* Recuperado de <http://library.fes.de/pdf-files/iez/08586.pdf>.

Prado, J., Rivera, P., León, B., Carrillo, M. & Martínez, A. (2017). Calibración de los modelos de pérdidas de suelo usle y musle en una cuenca forestal de México: caso El Malacate. *Agrociencia, 51(3), 265-284.* Recuperado en 21 de mayo de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000300265&lng=es&tlng=es.

Woldemichael, A., Hossain, F., y Pielke, R. (2014). *Impactos del uso de la tierra de Postdam / Cambios en la cobertura de la tierra en la modificación de la precipitación extrema en hidroclima contrastante y características del terreno. J. Hydrometeor., 15, 777–800,* <https://doi.org/10.1175/JHM-D-13-085.1>

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES

Doctor en Cambio Climático y Sostenibilidad, Wener Armando Ochoa Orozco. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2020. Maestro en Ciencias en Gestión Ambiental, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2010.

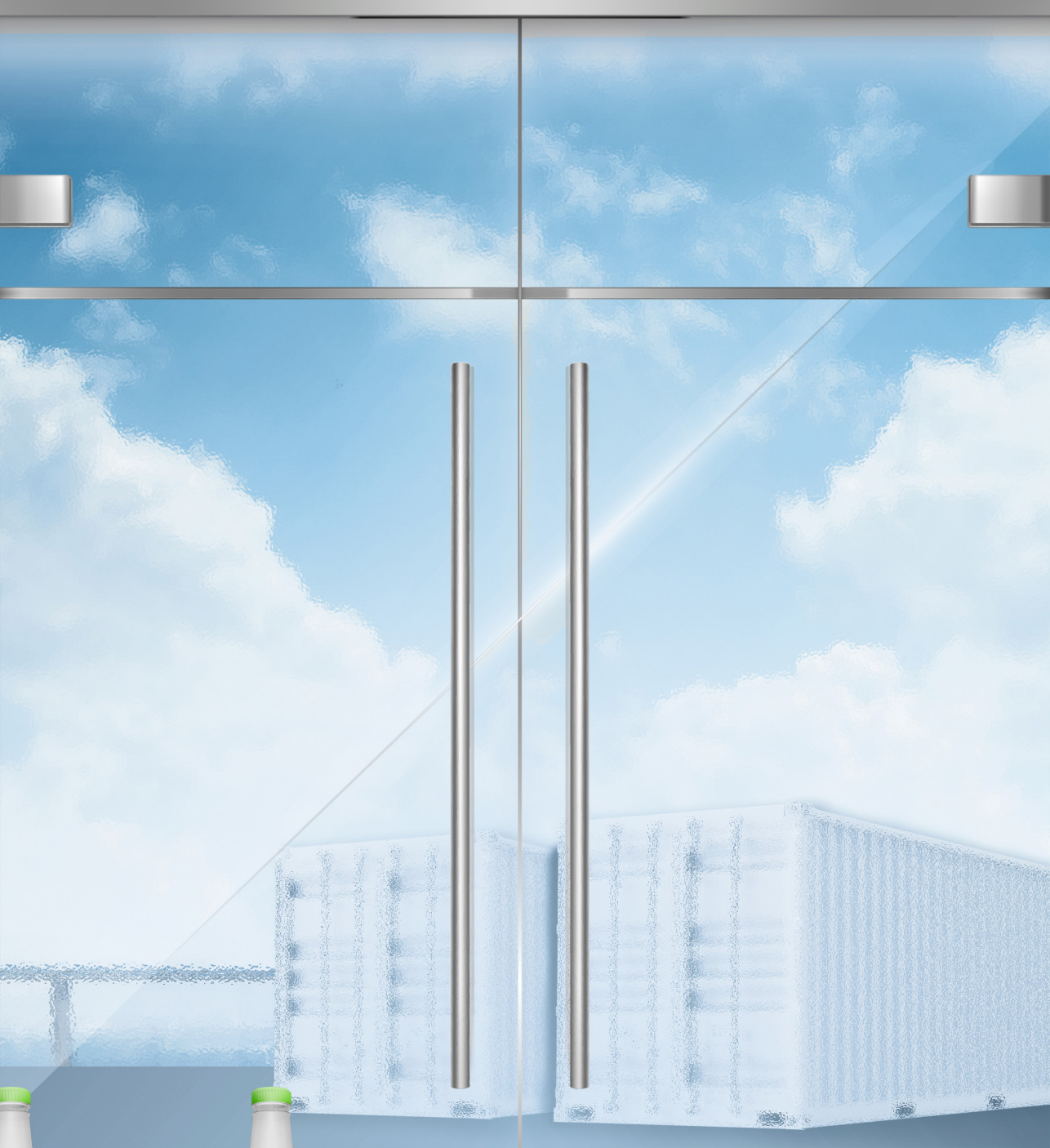
Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007. Afiliación laboral: Profesor de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, USAC.

Doctor en Gestión Integrada y Gobernabilidad de Recursos Hídricos, Marvin Roberto Salguero Barahona. Facultad de Geociencias, Universidad de Utrecht, 2009.

Maestro en Manejo Sostenible de Suelo y Agua con Especialidad en Planificación y Manejo de Recursos Hídricos en Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad San Carlos de Guatemala, 2002.

Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007.

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



Gestión y Servicios

Área
de

HERRAMIENTAS LEAN MANUFACTURING PARA MEJORAR EL INDICADOR DE CALIDAD EN EL ÁREA DE SURTIDO DE PRODUCTOS DE UNA EMPRESA DE VENTAS POR CATÁLOGO

Oscar Estuardo de León Maldonado

Mtro. en Gestión Industrial
kesdl08@gmail.com

Claudia Calderón de Cerón

Mtra. en Gestión Industrial
clcalderon@gmail.com

Recibido: 22 de marzo de 2022.

Revisado: 20 de abril de 2022.

Aprobado: 23 de mayo de 2022.

RESUMEN

En procesos industriales se considera importante un indicador de calidad conocido como DPMO (Defectos por millón de oportunidades). El uso de herramientas Lean Manufacturing desarrolla actividades de enfoque estadístico, así como cultural, al adquirir conocimientos de los distintos tipos de desperdicios en un proceso, aplicar técnicas para reforzar la calidad desde el inicio usando Jidoka, la cual se complementa con otra herramienta llamada Andon. En consecuencia, el personal posiciona en su mente y actividades, conceptos de mejora continua. Para la empresa en estudio, la principal conclusión como consecuencia de utilizar herramientas Lean Manufacturing se obtiene una mejora de 41.37 % en el indicador de DPMO, lo cual evidencia que la aplicación de la metodología proporciona resultados en calidad de procesos y fomenta una cultura de mejora continua.

PALABRAS CLAVE

Lean manufacturing, indicador DPMO, calidad, mejora continua.

ABSTRACT

In industrial processes, a quality indicator known as DPMO (Defects Per Million Opportunities) is considered important. The use of Lean Manufacturing tools develops activities with a statistical approach, as well as a cultural one, by acquiring knowledge of the different types of waste in a process, applying techniques to reinforce quality from the beginning using Jidoka, which is complemented by another tool called Andon. Consequently, the staff positions in their minds and activities, concepts of continuous improvement. For the company under study, the main conclusion because of using Lean Manufacturing tools is an improvement of 41.37% in the DPMO indicator, which shows that the application of the methodology provides results in process quality and fosters a culture of improvement.

KEYWORDS

Lean manufacturing, DPMO indicator, quality, continuous improvement.

INTRODUCCIÓN

El área de surtido de una compañía dedicada a la venta directa a través de catálogo se ve afectada por la reducción de recursos para realizar un muestreo estadístico que alimente de datos para la generación de información que de visibilidad del desempeño del trabajo; por lo tanto, se observa un deterioro en el proceso de surtido, lo que puede tener un impacto fuerte en los consumidores finales a los que llega el producto. Lean Manufacturing proporciona un apoyo oportuno para sistematizar las tareas de surtido, al orientar las actividades a una continua búsqueda de mejoramiento de calidad.

Se deben analizar aquellas actividades que tienen relación con el surtido y apoyarse en la utilización de diagramas de causa raíz, para descubrir aquellas situaciones que afectan el espacio, tiempo, calidad y recurso humano (Maldonado, 2018). Esto facilita las acciones y tareas que generen beneficio en el indicador de desempeño, que para efectos de garantizar la calidad en el surtido de productos se usa el DPMO, optimizando la integración del personal.

DESARROLLO DEL ESTUDIO

Inicialmente se analizan datos históricos relacionados con el indicador DPMO y se identifica un incremento de este, al verse afectada la cantidad de recurso humano para el muestreo estadístico. Se realizan entrevistas personales y monitoreo del comportamiento de los trabajadores; se establecen diagramas causa-raíz, así como diagramas de Pareto, para facilitar la integración de los principios y apoyos que brinda el enfoque Lean Manufacturing.

Se selecciona un grupo piloto, al cual se le capacita y sensibiliza sobre los conceptos fundamentales de la metodología y se verifica que muchos trabajadores muestran temor de comentar y participar, como indican Connors y Smith (2011).

Como consecuencia de las capacitaciones se desarrolla en los participantes el interés por el uso de herramientas como el Kaizen, el cual, Liker (2004) establece que es

de suma importancia para dar sentido de pertenencia y participación al personal operativo.

Esta actividad incluye la elaboración de controles de seguimiento a través de hojas en Excel, en las cuales se registran las actividades, así como los logros alcanzados, dando visibilidad al equipo que integra el área de la evolución de la mejora propuesta. Las reuniones diarias y posteriormente semanales permiten profundizar en la comprensión de los propósitos de mejora y a la vez, el desarrollo de la confianza de los participantes. Simultáneamente, se introdujo conceptos de 5 S's, ya que, de acuerdo con Torres, Santos y Wysk (2017), estas reuniones y/o capacitaciones se integran a una acción de educación, formación de equipo y generación de hábitos, las que mejoran la cultura y clima laboral.

El Jidoka, para Jones, Ballé, Chaize y Fiume (2018), es de suma importancia ya que pone un alto a la producción para evaluar en el momento en el que se da la alerta de error, las causas que lo generan, el registro que se realiza y el análisis de acciones que reduzcan o eliminen la posibilidad de ocurrencia. Esta actividad genera descontento al inicio por su orientación a mejorar la rapidez más que a la calidad; sin embargo, al evolucionar y dar visibilidad a la mejora de los resultados del indicador de calidad, el personal se motiva a continuar aplicando la técnica. Como resultado, al igual que lo expresan Collier y Evans (2009), se confirma que el uso de herramientas Lean Manufacturing, mejoran el indicador de calidad y optimizan los recursos.

RESULTADOS OBTENIDOS

En el centro de distribución se detecta que varias actividades llevan el nombre de surtido, sin embargo, considerando al consumidor como el fin último de todo proceso y que la calidad consiste en enviarle lo que ha solicitado, se considera que este proceso consiste en colocar y empaquetar el producto solicitado para ser enviado al consumidor.

Las áreas de interrelación con el proceso de surtido abarcan la planeación del abastecimiento,

almacenamiento, registro en sistemas informáticos y al personal involucrado en cada etapa.

Por medio de diagramas de Ishikawa, se identifica una falta de liderazgo y compromiso en la gestión, a lo cual se presta especial atención y se orientan los esfuerzos para mejorar la gestión a través de la aplicación de herramientas Lean Manufacturing, como Kaizen, Jidoka, Andon y análisis de estadística descriptiva. Como resultado de la aplicación de dichas herramientas se disminuye la valoración del indicador DPMO de 1,253 a 735, que corresponde a una mejora del 41.37%.

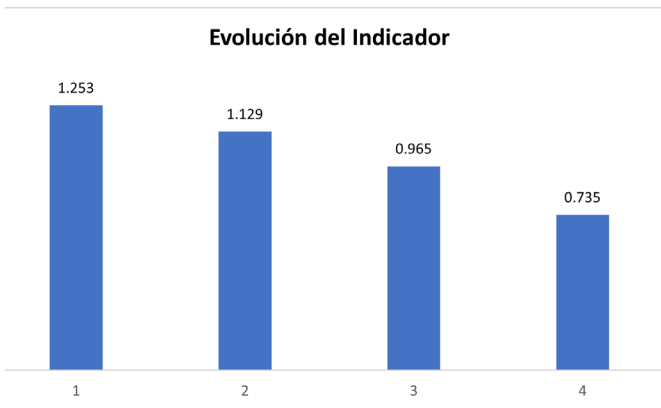


Figura 1. Mejora del indicador DPMO.

Se establecen formatos Kaizen que favorecen una mayor integración de las personas a la búsqueda de mejoras en el proceso de surtido, creando un sentido de pertenencia y una cultura de mejora continua en la organización. Las mejoras expresadas inicialmente como ideas se plasman en dichos formatos y con el apoyo en la gestión de liderazgo, se ejecutan y se retroalimenta a todo el personal sobre los resultados y acciones de seguimiento para cuya planeación se establecen reuniones frecuentes para reforzar los conceptos de Lean Manufacturing.

Se elabora un procedimiento para la aplicación de la técnica Jidoka, que consiste en detener la línea de producción al momento de detectar un error, para lo cual se hace uso de un Andon, el cual brinda la alerta al equipo para en ese preciso momento, enfocarse en determinar la causa del error, para crear oportunidades

de mejora sobre las cuales diseñar un plan de acción para eliminarlas y favorecer un proceso Lean manufacturing, así como para reforzar de esta manera la sensibilización de realizar el proceso de surtido con calidad, desde la primera vez.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El camino para alcanzar los resultados obtenidos en el trabajo de investigación fue afectado por aspectos que van desde una baja importancia del indicador de calidad, así como una gestión pobre por parte del encargado directo del control de este indicador. Para abordar dichas actividades, se considera necesario realizar un análisis de estadística descriptiva, y generación de reuniones de sensibilización y orientación a las necesidades y oportunidades de mejora, para superar la resistencia inicial a trabajar en ejecutar las tareas de mejora.

La parte que más inconvenientes genera es la actividad de detener la planta al momento de encontrar un error, ya que representa una pérdida en el tiempo de producción. Se identifica la necesidad de estimular el desarrollo de la sensibilidad hacia la importancia de un trabajo de calidad a la primera vez. Luego de reuniones de entrenamiento y concientización, apoyadas en formatos Kaizen, Jidoka y 5 S's, se identifican los avances y se observan mejoras en el indicador, (situación que se visualiza en la figura 1). Simultáneamente, se genera y expresa un mayor compromiso y responsabilidad en la gestión del encargado de velar por el cumplimiento del indicador DPMO.

CONCLUSIONES

1. La actividad en la cual interactúa el personal operativo, con la hoja de demanda de producto y la inclusión en el empaque de envío es la acción que agrega valor en cuanto a la relación directa con la expectativa de servicio del cliente.
2. Los aspectos relevantes y críticos para la tarea de surtir el producto al consumidor, involucra liderazgo y compromiso para orientar la

dirección, instrucción, concientización, y responsabilidad de todo el personal del área, y crear un comportamiento que facilite la aplicación alienada a Lean Manufacturing.

- Entre los beneficios que se obtienen por la aplicación de Lean Manufacturing, se incluye la optimización de los espacios, recursos físicos y humanos, así como un 41.37 % de mejora del indicador DPMO. La reducción de gastos es de Q100,000.00 al año, aproximadamente.
- El uso de herramientas Lean Manufacturing favorece la mejora del indicador DPMO, mediante la aplicación del método Jidoka, que consiste en detener un proceso al momento de identificar un error; combinado con el método Andon para brindar la alarma y elaboración de kaizenes.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere generar diagramas de flujo y exponerlos en las distintas áreas de la empresa para dar visibilidad de los alcances de las actividades.
- Se recomienda capacitar frecuentemente al grupo de trabajadores del área sobre las herramientas Lean Manufacturing, que les permita incrementar la capacidad para identificar mejoras.
- Aplicar técnicas como Kaizen y Jidoka, en las diferentes áreas de la empresa.
- Se recomienda continuar con las actividades de sensibilización, así como los formatos establecidos para el seguimiento de la mejora de los procesos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Connors, R., y Smith, T. (2011). *Change the culture, change the game*. Estados Unidos: Pearson.
- Jones, D., Ballé, M., Chaize, J., y Fiume, O. (2018). *Estrategia Lean*. España: PROFIT Editorial.
- Liker, J. (2004). *Las claves del éxito de Toyota*. España: McGraw-Hill.

- Maldonado, J. A. (2018). *Gestión de procesos*. Recuperado de: file:///C:/Users/casti/Downloads/GESTION_DE_PROCESOS.pdf
- Torres, J., Santos, J., y Wysk, R. (2017). *Mejorando la Producción con Lean Thinking*. España: Ediciones Pirámide.

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES

Ingeniero Industrial, Oscar Estuardo de León Maldonado, graduado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), 2009.

Maestro en Artes en Gestión Industrial de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), 2021.

Afiliación laboral: supervisor de producción en empresa de venta por catálogo.

Ingeniera Química, Claudia Calderón de Cerón, graduada de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), 2015.

Maestra en Artes en Gestión Industrial de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), 2013.

Afiliación laboral: Bayer, S.A.

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SMED PARA MEJORAR EL INDICADOR DE EFICIENCIA DEL PROCESO DE CAMBIOS DE MOLDURAS EN VIDRIERA GUATEMALTECA, S.A.

Luis Renato Vanegas Canjura

Mtro. en Gestión Industrial
rvanegas@grupovical.com

Edwin Hartemio Valdéz Buenafé

Mtro. en Administración Financiera
edwin_valdez@colpal.com

Recibido: 14 de marzo de 2022. | Revisado: 28 de mayo de 2022. | Aprobado: 27 de agosto de 2022.

RESUMEN

El propósito de esta investigación es revertir el comportamiento de las eficiencias en el proceso de cambios de moldura en las líneas de producción en Vidriera Guatemala, S.A.

Para lograrlo, se aplica la metodología SMED (cambio de moldes en un minuto), una de las herramientas de la producción esbelta impulsada en Japón, que permite analizar el procedimiento existente en los cambios de moldura y comprender las principales dificultades que se enfrentan para lograr el cumplimiento de la meta requerida por la organización. Se catalogan factores como la planificación, grado de dificultad del cambio de moldura, programa de producción, acondicionamiento térmico del vidrio y manejo de las molduras, como actividades claves para el éxito de los cambios de artículo.

En conclusión, al aplicar la metodología SMED, es posible lograr eficiencias de ejecución de los cambios de moldura que cumplan con la meta requerida por la organización del 84 % pack to melt.

PALABRAS CLAVE

Eficiencia, producción esbelta, implementación, producción, tiempo.

ABSTRACT

The purpose of this research is to reverse the behavior of the efficiencies of making window frame changes in the production lines at Vidriera Guatemala, S.A.

To achieve this, the SMED methodology (change of window frame in one minute) is applied, one of the lean production tools strongly promoted in Japan by Dr. Shigeo Shingo its creator, which allows, thanks to its different implementation stages, to analyze the existing procedure of the window frame changes and understand the main difficulties faced to achieve the fulfillment of the goal required by the organization. Factors such as planning, degree of difficulty of the window frame change, production schedule, thermal conditioning of the glass and the manipulation of the molding are classified as key activities for the success of the window frame changes.

In conclusion, by applying the SMED methodology, it is possible to achieve efficiencies in the execution of the window frame changes that meet the goal required by the organization of 84% pack to melt.

KEYWORDS

Efficiency, lean manufacturing, implementation, production, time.

INTRODUCCIÓN

El estudio reporta la aplicación de la metodología SMED para mejorar la realización de los cambios de molduras en Vidriera Guatemalteca, S.A., dada la importancia estratégica que los cambios tienen para la compañía. Se define como objetivo principal mejorar la eficiencia de la ejecución de la realización de los cambios de moldura, lo cual requiere sistematizar el procedimiento que se utiliza. Al considerar la versatilidad de SMED en diversos campos, su aplicación en el proceso de cambios de moldura se considera provechosa.

Durante el estudio se desarrollan evaluaciones de los recursos disponibles para la ejecución de los cambios, abarcando las herramientas, las máquinas involucradas y también el conocimiento por parte de los integrantes del equipo que participa en los cambios basados en la metodología SMED. La conclusión de la investigación es que efectivamente se logra mejorar la eficiencia de la ejecución de los cambios de moldura aplicando la metodología SMED.

DESARROLLO DEL ESTUDIO

La metodología de investigación se realiza con un enfoque mixto, con alcance descriptivo y diseño no experimental; se aplican técnicas como la entrevista al personal involucrado en el proceso.

Como parte de la investigación para aplicar la metodología SMED en la mejora de la eficiencia en la realización de los cambios de moldura, se definen cuatro fases para completar la investigación: la primera fase conlleva el análisis documental y estadístico de la empresa en cuanto a eficiencias de cambios de moldura. La segunda fase desarrolla el análisis situacional del procedimiento en uso para la realización de los cambios de moldura, por medio un estudio de campo para determinar las operaciones más determinantes en los cambios de moldura y cuáles rutinas dentro del proceso necesitan mejorarse por medio de la metodología SMED.

La tercera fase evalúa las herramientas que utilizan los operadores, la maquinaria con la que interactúa el

personal en la realización de los cambios de moldura y se facilita el conocimiento al personal del equipo de cambios sobre la metodología SMED por medio de un programa de capacitación. La cuarta fase consiste en la elaboración de gráficas con análisis de tendencia del comportamiento de los tiempos de los cambios de moldura, que muestran cómo al avanzar la implementación de SMED, los tiempos de realización de los cambios de moldura se reducen; finalmente se analizan los resultados y se identifican las contribuciones positivas al aplicar SMED en el proceso de cambios de moldura.

RESULTADOS OBTENIDOS

a) Análisis de las etapas clave en el tiempo de ejecución del cambio de molduras.

Se elabora diagrama de flujo de actividades de los cambios de moldura y con este recurso se toman tiempos de las operaciones, que permiten identificar que las principales actividades que influyen en el resultado de los cambios de moldura son: programa de producción, acondicionamiento térmico del vidrio, tipo de cambio y manejo de moldura, con lo cual se clasifican estas actividades como claves.

Se estudian también los tiempos que componen los cambios de moldura, siendo: T1 el tiempo de cambio físico, T2 el tiempo de carga de vidrio y acorreamiento y TT como el tiempo total del cambio, que se compone de la sumatoria de T1 y T2. Conforme se avanza en las etapas de implementación de SMED, es posible establecer que los tiempos TT o tiempos totales de cada uno de los treinta y seis cambios que se analizan como parte de la investigación, tienden a decrecer, lo cual representa un beneficio directo a la organización, pues el tiempo productivo se incrementa a pesar de tenerse más eventos de cambios de moldura.

b) Comprobación si las herramientas y maquinaria son adecuadas.

Las herramientas que usan los operadores son de tipo manual, cuentan con elevadores eléctricos para equipos pesados necesarios en los cambios. La maquinaria tiene aditamentos que facilitan el intercambio de piezas para cambios, además se evalúa y somete a un programa de mantenimiento preventivo que se administra usando software específico. Se dictamina que tanto la herramienta como la maquinaria son las adecuadas para el trabajo.

- c) Desarrollo de programa de capacitación de los operadores de cambios de moldura.
Al ser SMED una metodología nueva para el personal operativo, se desarrolla un programa de capacitación. Evaluaciones iniciales y finales permiten medir el aprovechamiento de la capacitación; los perfiles de puestos y la experiencia del personal indican que tienen las capacidades necesarias para realizar los cambios de moldura.
- d) Aplicación de la metodología SMED para mejorar el indicador de eficiencia.
Al avanzar en la implementación de las etapas para aplicar SMED por el personal a cargo, se reducen gradualmente los tiempos que componen los cambios de moldura, lo que en algunos casos llega a ser del orden del 33 %, logro que se puede calificar como muy buen resultado. Se obtiene un impacto directo en la tendencia de las eficiencias de realización de los cambios de moldura o eficiencia de Wiegand que se logra en los primeros tres meses de la implementación, lo cual va en línea con lo que busca la organización.

En la figura 1 se muestra que se alcanza el valor mínimo de 82.21 % de eficiencia en los cambios de moldura en el mes en marzo, con un incremento a 84.33 % en el mes de abril y 85.8 % en el mes de mayo.

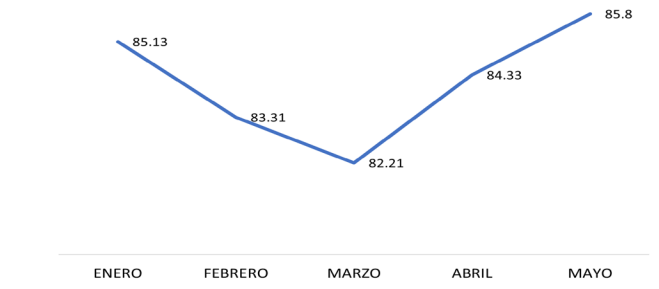


Figura 1. Eficiencias mensuales en cambios de moldura (Wiegand).

Fuente: elaboración propia.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se completan las cuatro fases para desarrollar la investigación, cada una responde a los objetivos que se definen. Se evidencia en el estudio, que con la implementación de SMED, los tiempos de ejecución de los cambios de moldura tienen reducciones de hasta un 33 %, lo cual se alinea con lo indicado por Alves y Tenera (2009), quienes logran reducciones del tiempo de montaje en líneas de ensamble de vehículos, donde aplican SMED, y obtienen mejoras que alcanzan un 10 % de reducción de tiempo por etapas, hasta un 27 % de mejora en tiempo total de ejecución.

Nieto, Delgado y Velásquez (2010), explican que la flexibilidad que logra la industria farmacéutica al aplicar SMED hace que este sector productivo tenga las mejores respuestas a las necesidades del mercado. Esto se valida en la investigación, ya que la planta de producción enfrenta exitosamente un incremento de cambios de moldura de 23 mensuales a 40, con lo que cumplir su meta operativa.

Adicionalmente, Molina y Reyes (2012), en un estudio que realizan en la industria textil, comprueban que SMED contribuye a mejorar la eficiencia de la planta y por ende, su productividad y competitividad. En la planta de Vidriera Guatemalteca, S.A., se logran también incrementos de eficiencia en la realización de los cambios de moldura, cumpliendo con la meta requerida por la empresa y su procedimiento asociado (Vidriera Guatemalteca, 2015).

CONCLUSIONES

1. El acondicionamiento de vidrio, el equipo variable y el proceso de manufactura entre otros factores, definen el cumplimiento de la meta de eficiencia de cambios de moldura o pack to melt 24 horas.
2. Las herramientas y maquinaria en uso para la ejecución de cambios de molduras son las adecuadas, ya que, sin realizarse implementaciones o modificaciones, el indicador de eficiencia del cambio presenta mejora de acuerdo con la expectativa y meta de la empresa.
3. Desarrollar el programa de capacitación para operadores facilita la comprensión de SMED, influye positivamente en su empoderamiento, lo que significa tomar mejores decisiones de forma expedita en el proceso de los cambios.
4. El aplicar la metodología SMED a los cambios de moldura en empresa en estudio, permite una mejora en la eficiencia de ejecución de los cambios de moldura, incrementando de 82.21 % a 85.8 % pack to melt 24 horas, en solo dos meses.

RECOMENDACIONES

1. Continuar el análisis de las etapas claves que influyen en el tiempo de cambios de moldura.
2. Implementar la buena práctica de comprobar anualmente si las herramientas y maquinaria utilizadas por los operadores son las adecuadas.
3. Realizar un diagnóstico de necesidades de capacitación anual dirigido a desarrollar y enriquecer el programa de capacitación de los operadores de cambios de moldura para mejorar la ejecución de los cambios.
4. Utilizar la metodología SMED para mejorar el indicador de eficiencia en la realización de los cambios de moldura en Vidriera Guatemalteca, S.A., con base en el análisis de las actividades resultantes internas y externas de los cambios de moldura como una mejora continua y sostenible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Alves, A. y Tenera, A. (2009). Improving SMED in the automotive industry: a case study. *20th Annual Conference. POMS*, Florida, U.S.A.
- Nieto, F., Delgado, J. y Velásquez, P. (2010). Desarrollo de la metodología SMED para reducir los tiempos generados por cambios de referencia en el área de empaque de una empresa del sector farmacéutico en la ciudad de Cali. *XVI International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*.
- Molina, H. y Reyes, S. (2012). *Implementación de la herramienta SMED para reducir el tiempo del proceso de preparación en el departamento de tejido en una Industria Textil*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Vidriera Guatemalteca, S. A. (2015). *Manual Ingeniería Industrial. Reporte de eficiencias de cambios de moldura*. Guatemala: VICAL S.A.

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES

Ingeniero Mecánico Industrial Luis Renato Vanegas Canjura, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2016.
Maestría en Gestión Industrial de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.
Afilación laboral: Vidriera Guatemalteca, S.A.

Ingeniero Industrial Edwin Hartemio Valdéz Buenafé, graduado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), 2000.
Maestro en Artes en Administración Financiera de la Universidad Mariano Gálvez, 2011.
Afilación laboral: Colgate Palmolive C.A.S.A.

PROCESO DE MEJORA CONTINUA APLICANDO SEIS SIGMA PARA OPTIMIZAR EL MANEJO DE CONTENEDORES VACÍOS EN UNA EMPRESA NAVIERA EN GUATEMALA

Continue improvement process using 6 sigma for the optimization of the handling of empty containers of a shipping company in Guatemala

Roberto Carlos Alvarizaes Sempé

Mtro. en Gestión Industrial
robertoalvarizaes@gmail.com

Ramón Horacio Juárez Juárez

Mtro. en Gestión Industrial
ramon.juarez@outlook.com

Recibido: 22 de marzo de 2022. | Revisado: 5 de mayo de 2022. | Aprobado: 28 de agosto de 2022.

RESUMEN

El propósito de la investigación es corregir el problema de actualización de información y comunicación, en el proceso de solicitud y retiro de contenedores vacíos de una naviera en Guatemala. El impacto durante el primer trimestre del 2019 es de \$ 8,290 en un mes; como consecuencia de 14 reclamos, aproximadamente. Se identifica que las causas del problema se relacionan con la falta de comunicación y actualización de información, durante el período en estudio, de enero a diciembre de 2019. La aplicación de la metodología Seis Sigmas y sus beneficios son: análisis de información histórica así como del proceso e identificación de causas raíz. Como principal resultado se determina que la aplicación de Seis Sigma logra la reducción del número de reclamos en un 72 %, impactando en un total anual de \$ 70,800 por concepto de reducción de notas de crédito.

PALABRAS CLAVE

Metodología Seis Sigma, mejora continua, DMAIC, naviera.

ABSTRACT

The purpose of the research is to solve the problem of updating information and communication, in the process of requesting and removing empty containers, for a shipping company in Guatemala. The impact observed during the first quarter of 2019 was \$ 8,290 in one month; because of approximately 14 claims. It was identified that the causes of the problem were due to lack of communication and updating of information, during the period under study, from January 2019 to December 2019. The use of 6 sigma is necessary and the benefits of this tool are: the analysis of information statistics, as well as the process. This helps with the approach and selection of root causes, which are later used to propose solutions, which are subjected to an analysis to understand their feasibility. As the main conclusion, it was determined that thanks to the use of 6 Sigma, the number of claims was reduced by 72%, impacting an annual total of \$ 70,800 in reduction for credit notes.

KEYWORDS

Maritime containers, port terminal, reduction, DMAIC, container depot.

INTRODUCCIÓN

El ciclo de un contenedor se considera completo cuando suma acciones de importación, trasbordo y exportación (Llopart, 2017), todo contenedor marítimo debe cumplir un ciclo para ser utilizado nuevamente. La empresa en estudio necesita un proceso de mejora continua para optimizar el ciclo.

Cuando existe un problema es necesaria una solución (DHL, 2015), entonces se requiere la aplicación de una metodología como DMAIC (Definir, medir, analizar, mejorar, controlar) para estandarizar el proceso. La estandarización es una herramienta que genera una ventaja competitiva (Corona, 2015), ya que genera mejor productividad, reduce los costos y mejora la calidad.

Es posible garantizar una gestión eficiente, con un servicio y niveles de calidad adecuados si se establecen las políticas correctas en la gestión del depósito de contenedores vacíos (Marín, 2013). Además, la economía del mundo actual demanda que las compañías se enfoquen a un crecimiento sostenible (Plaster y Alderman, 2006).

DESARROLLO DEL ESTUDIO

Se busca mejorar el proceso de solicitud y retiro de contenedores vacíos, para una empresa naviera en Guatemala, por medio de la metodología Seis Sigma; por lo que se inicia con la definición del problema, se recolecta información histórica relacionada con el proceso de solicitud y retiro de contenedores vacíos con la que cuenta el sistema operativo de la compañía.

Con la información obtenida se realiza el análisis de causa raíz, seguidamente se estructura una matriz de priorización de problemas para determinar las tres principales causas raíz.

En el siguiente paso se analiza el mapa del proceso actual y la información obtenida del sistema operativo, clasificando las variables de solicitud correcta e incorrecta. Los resultados más relevantes que se consideran para las acciones de mejora se derivan del análisis de datos.

RESULTADOS OBTENIDOS

Las causas principales del problema detectado en la empresa naviera se identifican con la ayuda de una matriz de priorización y se trabaja en mejorar los siguientes aspectos:

- a) Delegación de autoridad de seguimiento de contenedores vacíos.
- b) Falta de procedimientos claros y cierre diario.
- c) Falta de seguimiento y visibilidad a correos de contenedores vacíos.
- d) Falta de delimitación de las funciones del encargado de los contenedores vacíos.

En el mapa de proceso se puede visualizar tres pasos críticos, que se han identificado en la matriz de priorización en las operaciones y monitoreo que se realiza:

- a) Operaciones, indica en dónde se entrega el contenedor vacío, ya sea en puerto o en predio.
- b) Operaciones, se solicita en el sistema la notificación de la ubicación del contenedor vacío.
- c) Monitoreo, indica que los equipos han sido descargados en instalaciones del cliente.

Estas actividades son críticas debido a la incorrecta ejecución, ya que su efecto implica una falla en el proceso, que a su vez genera inconformidades y reclamos de los clientes.

Para el análisis de datos se toma una muestra del segundo al cuarto trimestre del 2019, en total se analizan 1,032 solicitudes de clientes para retiro de equipo vacío, de las cuales 611 se realizan al inicio y 421 después de implementar las mejoras propuestas.

Se considera un proceso de solicitud correcto si la fecha de solicitud del cliente y la fecha de ejecución, coinciden; por consiguiente, se toma como incorrecto el proceso si las fechas de solicitud y ejecución, no coinciden.

*Tabla 1.
Clasificación de solicitudes de clientes.*

Datos antes de las mejoras				
Correcta	77	235	312	51 %
Incorrecta	103	196	299	49 %
Total	180	431	611	100 %

Fuente: elaboración propia.

De los 611 datos analizados, el 51 % de las solicitudes que se realizan el mismo día, no generan reclamos o molestias a los clientes. Así mismo, el 49 % de las solicitudes realizadas, son ejecutadas en una fecha diferente a la solicitud del cliente; estas son las que generan malestar, inconformidades y cobros innecesarios, que conducen a reclamos.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Al analizar la información obtenida, se puede determinar que se presenta congruencia en los resultados obtenidos por los tres métodos aplicados.

En el análisis de causas raíz y el uso de la matriz de priorización, se determina que a nivel macro el problema general es de comunicación y actualización de información en el sistema de la compañía.

En el análisis del mapa de proceso permite identificar los tres pasos críticos que más afectan el proceso.

Si estos pasos no son ejecutados correctamente, el resultado es una solicitud incorrecta. Por eso es necesario, que la comunicación sea fluida y que cada empleado responsable de una tarea en el proceso conozca exactamente qué debe realizar y comunicar de forma inmediata los resultados. Esto ayuda en la obtención de un proceso de solicitud correcto.

Se realiza una propuesta de optimización con base en: mejora en el proceso, delimitaciones a clientes para la entrada del proceso, automatización a través de herramientas electrónicas para posibilitar una información más fluida y veraz a lo largo del proceso.

Las soluciones propuestas se evalúan mediante la herramienta de esfuerzo - beneficio, dando como resultado que las soluciones planteadas, son viables para la optimización del proceso.

*Tabla 2.
Clasificación de solicitudes posterior a la implementación de mejoras.*

Mejoras implementadas		
Clasificación	2019	%
Correcta	310	74 %
Incorrecta	111	26 %
Total	421	100 %

Fuente: elaboración propia.

Con las mejoras implementadas se obtiene un incremento de la cantidad solicitudes que se procesan de forma correcta, que se cuantifica de 60 % a un 73 % de eficiencia en un trimestre.

CONCLUSIONES

1. La utilización del método Seis Sigma en el proceso de solicitud y retiro de contenedores vacíos, produce como impacto la reducción del número de reclamos en un 72 %, con una reducción de \$ 5,900 por concepto de nota de créditos en un mes, equivalente al año a \$70,800.
2. Las causas con mayor impacto en el proceso de solicitud y retiro de contenedores vacíos son: a) Delegación de autoridad de seguimiento de contenedores vacíos. b) Falta de procedimientos claros y cierre diario. c) Falta de seguimiento y visibilidad a correos de contenedores vacíos. d) Falta de delimitación de las funciones del encargado de los contenedores vacíos.
3. Durante la fase Analizar de DMAIC, se establece que el nuevo proceso debe integrar una nueva función, para mantener en control los límites del proceso, alineado a las necesidades del cliente.

4. Durante la fase Mejorar en DMAIC, se seleccionan cuatro soluciones factibles que genera un proceso mejorado de la solicitud y retiro de contenedores vacíos para una naviera en Guatemala.

RECOMENDACIONES

1. A la empresa naviera de Guatemala, la utilización de Seis Sigma, para la optimización de procesos afines; como la asignación de pilotos afianzados en puerto.
2. El uso de tecnología y herramientas electrónicas, en el proceso. Para reducir el impacto de la principal causa raíz del problema relacionada con mejora de la comunicación entre las partes interesadas.
3. La revisión del alcance del departamento de “Manejo de equipos”, como facilitador de la comunicación entre departamentos para otros procesos relacionados.
4. Dar seguimiento a las mejoras implementadas en el desarrollo de esta investigación. Por medio de indicadores de gestión, midiendo el tiempo de respuesta y satisfacción del cliente para completar el control de emisión de notas de crédito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

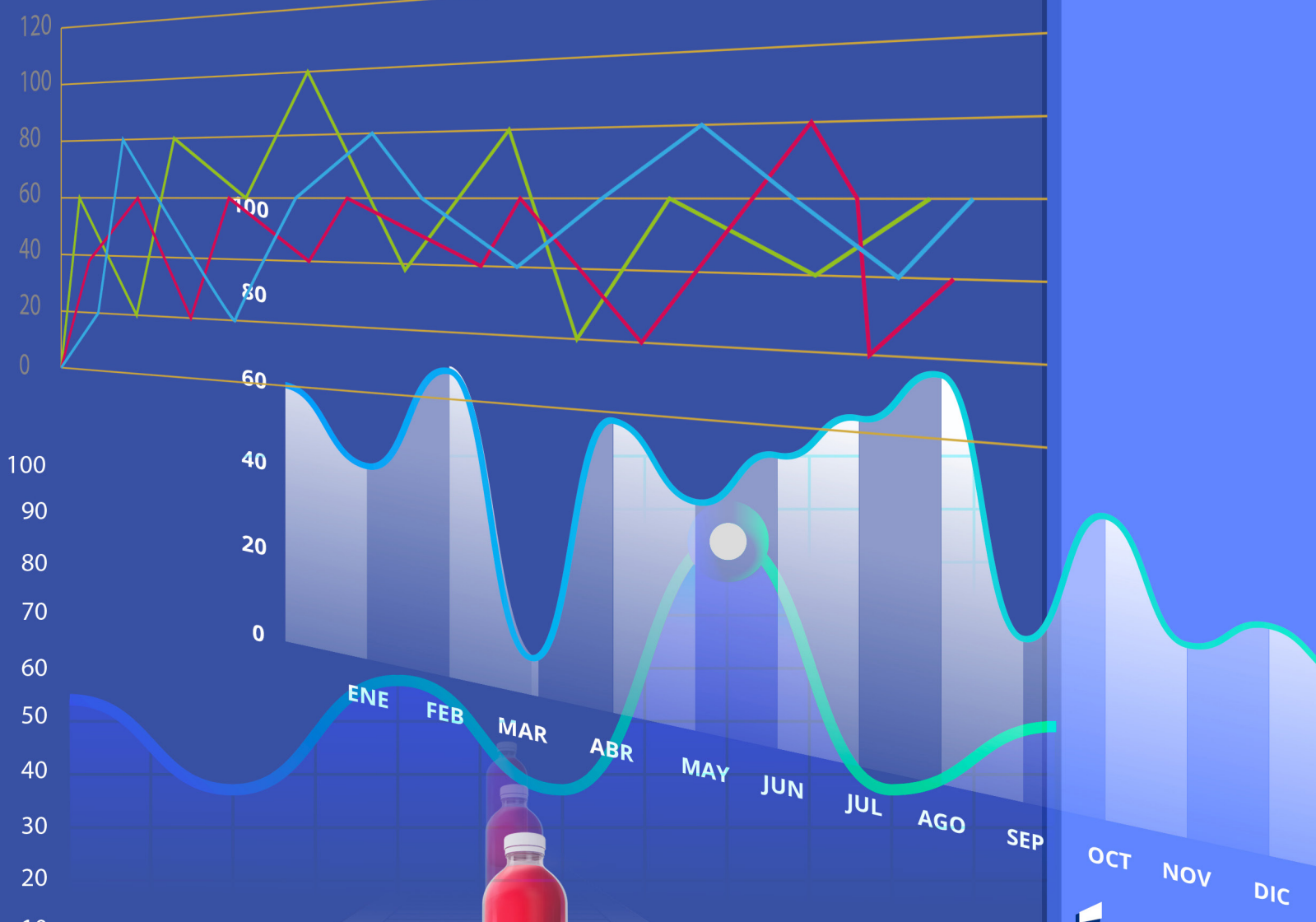
- Corona, J. G. (2015). *Estandarización de los procesos de vacíos en la empresa MELPAG*. Colima: Tecnológico Nacional de México.
- DHL. (2015). *First Choice Initiative champion training binder*. Bonn: Corporate First Choice Methodology & Training.
- Llopart, B. G. (2017). *Planificación y procesos Operativos del tráfico de contenedores*. Análisis de la línea MAF. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Marín, J. E. (2013). *Optimización de la logística de contenedores vacíos. Estudio de costes y beneficios para las navieras*. Cantabria: Escuela Técnica Superior de Náutica.

Plaster, G. A., & Alderman, J. D. (2006). *Beyond Six Sigma*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES

Ingeniero Mecánico, Roberto Carlos Alvarizaes Sempé, graduado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2010. Maestro en Artes en Gestión Industrial de la Escuela de Estudios de Postgrado de Ingeniería, EEPI de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2021. Afiliación laboral: Maersk Guatemala, S.A.

Ingeniero Mecánico Ramón Horacio Juárez Juárez graduado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), 2014. Maestro en Artes en Gestión Industrial de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), 2015. Afiliación laboral: Go Data



Área
de

Ciencias

Aplicadas



MODELO PARA EL PRONÓSTICO DE DEMANDA HORARIA DE POTENCIA ELÉCTRICA LOCAL EN EL MERCADO ELÉCTRICO DE GUATEMALA

Model for the forecast of the hourly demand of local electrical power in the electricity market of Guatemala

René Roberto Castellanos Moreira

Mtro. en Estadística Aplicada
castellanos.roberto90@gmail.com

Edwin Adalberto Bracamonte Orozco

Mtro. en Investigación de Operaciones
edwinbracamonte@yahoo.com

Recibido: 14 de marzo de 2022.

Revisado: 29 de julio de 2022.

Aprobado: 06 de octubre de 2022.

RESUMEN

En el siguiente texto se encuentra la evaluación de distintas metodologías pertenecientes a las series de tiempo, para determinar los parámetros de un modelo del pronóstico de demanda horaria de potencia eléctrica en Guatemala, el cual busca disminuir el error en la estimación que actualmente ocurre entre lo planificado y el valor en tiempo real.

Se aplican métodos para series de tiempo cuya formulación permite capturar estacionalidades múltiples como lo son el Suavizado Exponencial de Holt-Winters para la Doble Estacionalidad -HWDS- y los modelos de Espacio de Estado para la Estacionalidad Múltiple -BATS-; concluyendo que con esta última se obtiene el modelo que mejora los pronósticos oficiales actuales y permiten cumplir los requerimientos normativos vigentes.

ABSTRACT

The evaluation of various methodologies belonging to time series are presented in this research project, in order to determine forecasting modelling parameters of hourly demand of electrical power in Guatemala, which seeks to reduce the percentage of variation or error in the estimate that currently occurs between planned and real-time value. Methods were applied for time series whose formulation allows to capture multiple seasonality such as Holt-Winters Exponential Smoothing for Double Seasonality -HWDS- and State Space models for Multiple Seasonality -BATS-; concluding that with these methodologies it is possible to obtain models that improve the current official forecasts and allow meeting the current regulatory requirements.

PALABRAS CLAVE

Serie de tiempo, estacionalidad múltiple, HWDS, BATS, demanda de potencia eléctrica.

KEYWORDS

Time series, complex seasonal, HWDS, BATS, electric power demand.

INTRODUCCIÓN

A continuación, se presenta un estudio sobre la proyección demanda de potencia eléctrica de Guatemala con la aplicación de series de tiempo; dejando de lado la demanda de exportación.

Se hace uso de la metodología ARIMA, los suavizados exponenciales de doble estacionalidad anidada, desarrollados por Taylor (2003) y los modelos BATS desarrollados por De Livera, Hyndman y Snyder (2011); finalmente se presenta el análisis de los resultados y se concluye con los parámetros del modelo que disminuye el error medio porcentual.

DESARROLLO DEL ESTUDIO

Debido a la estacionalidad compleja que suele acompañar a las series de tiempo de muy alta frecuencia (Hyndman 2018), la metodología de este estudio se basa en la aplicación de modelos de pronóstico con series de tiempo que permiten modelar una componente estacional observada en la duración diaria de la serie, así como una segunda componente estacional anidada; que se observa a lo largo de las duraciones semanales.

La base de datos abarca desde 2016 hasta marzo 2020; la que se depura de aquellos valores atípicos que son resultados de días festivos, fines de semana o fallas en el sistema eléctrico de potencia, según indica Taylor (2003 y 2010).

Se utiliza una prueba de Kruskal Wallis para evaluar las diferencias estadísticas en las poblaciones de valores de demanda de potencia eléctrica categorizada en días, con el objetivo de formar subseries y modelarlas con una sola estacionalidad.

Seguidamente, se utilizan las metodologías para capturar la estacionalidad compleja de la serie completa, como lo son el suavizado exponencial de HWDS y los modelos para estacionalidad compleja BATS, se utiliza la comparación entre los errores dejados por cada modelo ajustado según cada metodología y se selecciona el de mejor ajuste en función del menor error porcentual medio (MAPE).

RESULTADOS OBTENIDOS

a) Modelado con subseries de tiempo

De forma similar al trabajo de Trull (2019), se fragmenta la serie en un conjunto de entrenamiento que desde enero 2017 hasta el 15 de febrero 2020 y un conjunto de pruebas del 16 al 22 de febrero 2020.

Para cumplir con el objetivo también se incluye la comparación de los errores medios porcentuales con las proyecciones del operador del sistema dentro de la programación semanal y la programación diaria.

En la tabla 1 se muestran los resultados con los modelos ajustados y así como con las predicciones oficiales, para los martes de las subseries de tiempo “martes a jueves”.

*Tabla 1.
Valores MAPE por intervalos acumulados*

Lecturas	Holt Winters	SARIMA	AMM-diario	AMM-semanal
04:00	3.61%	3.38%	3.16%	3.12%
12:00	2.10%	1.67%	1.53%	1.45%
19:30	1.47%	1.50%	1.26%	1.30%
24:00	1.29%	1.51%	1.32%	1.41%

Fuente: elaboración propia.

b) Modelado con serie semanal

Se ajustan modelos con las metodologías de suavizado exponencial HWDS, y la metodología de Espacio de Estado BATS, para realizar proyecciones con alcance semanal, es decir 231 valores y se obtienen los siguientes errores porcentuales medios.

Tabla 2.
Valores MAPE por intervalos acumulados

Lecturas	HWDS	BATS	AMM-diario	AMM-semanal
Domingo	1.68%	1.53%	1.95%	1.95%
Lunes	1.69%	1.52%	2.08%	2.10%
Martes	1.70%	1.50%	1.85%	1.92%
Miércoles	1.53%	1.38%	1.70%	1.74%
Jueves	1.45%	1.35%	1.64%	1.76%
Viernes	1.51%	1.42%	1.77%	1.80%
Sábado	1.54%	1.51%	1.96%	1.86%

Fuente: elaboración propia.

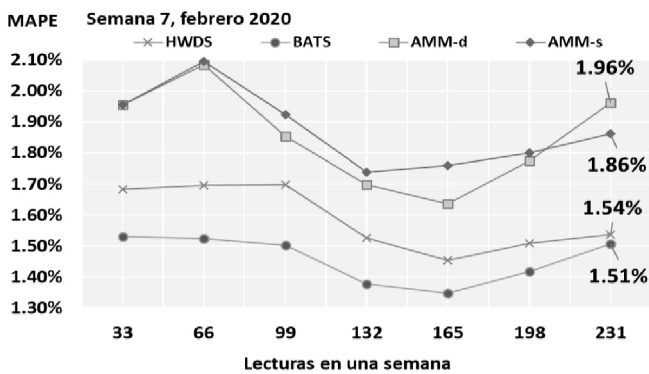


Figura 1. Valores MAPE a lo largo de la semana.

Fuente: elaboración propia.

Con lo anterior queda demostrado que para la semana de prueba del 9 al 15 de febrero 2020, el modelo de mejor ajuste es BATS (0.23, {2,3},-, {33,231}) con los parámetros que se presentan en la tabla 3.

Tabla 3.
Modelo -BATS- ($\omega, \phi, p, q, m_1, m_2, \dots, m_T$).

Omega	Phi	p	q	S1	S2
0.2328	-	2	3	33	231
Alpha	Beta	Gamma 1	Gamma 2		
0.0309	-	0.1478	-0.0053		
Ar(1)	Ar(2)				
0.4452	0.3488				
Ma(1)	Ma(2)	Ma(3)			
-0.0189	-0.2124	-0.0252			

Fuente: elaboración propia.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Popularmente, se cree que la demanda de potencia eléctrica horaria se agrupa en tres categorías que son: la de los días laborales de lunes a viernes, la de los días sábados y días domingos; sin embargo, el análisis no paramétrico de los valores de demanda permite marcar las diferencias estadísticamente significativas entre estas poblaciones, de modo que para Guatemala la agrupación debe ser en 5 grupos, los cuales son: 1) domingos, 2) lunes, 3) martes a jueves, 4) viernes y 5) sábados.

Los resultados de los modelos para subseries de tiempo que incluyen un solo tipo de día no presentan una mejora importante en la bondad de ajuste en comparación, con respecto a las predicciones que realiza el operador del sistema.

Para la subserie de tiempo, que abarca los días de martes a jueves, tanto el suavizado exponencial de Holt-Winters como el modelo SARIMA mejoran levemente el error medio porcentual que deja la proyección oficial, esto se debe a que esta subserie presenta una mayor homogeneidad consecutiva en la distribución de los valores de martes a jueves, que comparada con las otras 4 subseries, disminuye el efecto de algunos ciclos de duración variable.

Por otro lado, tanto el suavizado exponencial de Holt-Winters con Doble Estacionalidad, como los modelos de Espacio de Estado para la Estacionalidad Compleja, muestran una mejora importante en los resultados obtenidos, puesto que disminuyen los errores medios porcentuales que se obtienen con los modelos ajustados a las subseries de tiempo y con las proyecciones oficiales del operador del sistema.

CONCLUSIONES

1. El modelo de mejor ajuste para el pronóstico horario de la demanda de potencia eléctrica en Guatemala, que se obtiene con métodos estadísticos de series de tiempo de alta frecuencia y múltiple estacionalidad; es BATS (0.23,-,{2,3},33,231).
2. Se determina que las principales variables exógenas que influyen en la demanda de potencia eléctrica de Guatemala son los diferentes tipos de días, según el análisis de Kruskal Wallis realizado sobre las muestras categorizadas en días, se identifican 5 grupos

estadísticamente diferentes entre sí: 1) domingos, 2) lunes, 3) martes a jueves, 4) viernes y 5) sábados.

3. Se determina que el error medio porcentual disminuye para las semanas de prueba con 1.51 % comparado con 1.86 % correspondiente al pronóstico por parte del operador del sistema.

RECOMENDACIONES

1. Evaluar en futuros estudios si la depuración exhaustiva de la base de datos mejora significativamente los errores del modelo, para determinar si el efecto de la tercera componente estacional se puede mejorar.
2. Derivado de la relativa sencillez del modelo encontrado se propone implementar el pronóstico en línea como medida rápida de mitigación ante grandes errores sostenidos entre el pronóstico inicial y el valor real.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- De Livera, A. Hyndman, R. y Snyder, R. (2010); Forecasting time series with complex seasonal patterns using exponential smoothing. *Journal of the American Statistical Association* 106 (496): 1513-27. <http://www.buseco.monash.edu.au/ebs/pubs/wpapers/2009/wp9-09.pdf>.
- Hyndman, R.J., & Athanasopoulos, G. (2018). *Forecasting: principles and practice*, 2nd edition, OTexts: Melbourne, Australia. Recuperado de OTexts.com/fpp2.
- Taylor, J.W. (2003). Short-Term Electricity Demand Forecasting Using Double Seasonal Exponential Smoothing. *Journal of Operational Research Society*, (54), 799-805.
- Taylor, J.W. (2010). Triple Seasonal Methods for Short-Term Electricity Demand Forecasting. *European Journal of Operational Research*, (204), 139-152.
- Trull, O. (2019). *Predicción a corto plazo de la demanda horaria de energía eléctrica en España mediante modelos optimizados de Holt-Winters múltiple-estacionales* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES

Maestro en Estadística Aplicada, Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2021.

Ingeniero Electricista, egresado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2014.

Afiliación laboral: Alternativa de Energía Renovable, S.A.

Ingeniero Industrial, Edwin Adalberto Bracamonte Orozco, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1987.

Magister Scientiae en Investigación de Operaciones, Facultad de Ingeniería de Sistemas, Informática y Ciencias de la Computación, Universidad Francisco Marroquín, 1997.

Afiliación laboral: Facultad de Ingeniería USAC

ANÁLISIS DE LOS PATRONES ESTADÍSTICOS DE LAS CRIPTOMONEDAS DE MAYOR VALOR BURSÁTIL, PARA OPTIMIZAR EL RENDIMIENTO FINANCIERO RESPECTO AL INDICADOR DE RETORNO SOBRE LA INVERSIÓN (ROI)

Analysis of the statistical Patterns of the Cryptocurrencies with highest Market Value, to optimize the Financial Performance Based on the Return-on-Investment Indicator (ROI)

Fabio Andrés Sandoval Girón

Mtro. en Estadística Aplicada
fabioasandoval.g@gmail.com

William Eduardo Fagiani Cruz

Mtro. en Estadística Aplicada
williamfagiani@gmail.com

Recibido: 14 de marzo de 2022. | Revisado: 29 de julio de 2022. | Aprobado: 8 de octubre de 2022.

RESUMEN

El objetivo de este estudio es analizar el comportamiento en el tiempo de los activos virtuales más significativos en el mercado financiero, para generar una caracterización con la cual sea posible modelar estadísticamente la relación bursátil de estas criptomonedas, se utilizan metodologías basadas en autocorrelación como modelos de series de tiempo, además de relaciones lineales entre predictores, diferenciación de grupos por análisis de varianza e inferencia acorde a una generalización probabilística. El modelo estadístico generalizado es un modelo ARIMA estacional, el cual presenta normalidad en la distribución de sus residuos y significancia estadística para la prueba de Fisher, esto incluso para las criptodivisas con mayor proporción de variaciones estacionales. Como producto del análisis, se identifica un modelo matemático que explica hasta un 79 % de la variabilidad presente en la serie y permite generar predicciones para el rendimiento financiero futuro.

PALABRAS CLAVE

ARIMA, estacionalidad, autocorrelación, cadena de bloques, criptomonedas.

ABSTRACT

The objective of this study is to analyze the behavior over time of the most significant virtual assets in the financial market. To generate a characterization with which it is possible to statistically model the stock market relationship of these cryptocurrencies, methodologies based on autocorrelation such as time series models are used, in addition to linear relationships between predictors, differentiation of groups by analysis of variance and inference according to a probabilistic generalization. The generalized statistical model is a seasonal ARIMA model, which presents normality in the distribution of its residuals and statistical significance for Fisher's test, this even for cryptocurrencies with a higher proportion of seasonal variations. As a result of the analysis, a mathematical model is identified that explains up to 79 % of the variability present in the series and allows generating predictions for future financial performance.

KEYWORDS

ARIMA, seasonality, autocorrelation, blockchain, cryptocurrency.

INTRODUCCIÓN

La cadena de bloques se utiliza para consolidar y transaccionar activos, específicamente activos virtuales, actualmente Bitcoin es el activo virtual que posee el mayor poder adquisitivo en comparación con el dólar estadounidense (USD) en negocios digitales. El estudio estadístico del comportamiento de estas divisas es importante para generar información con relación a sus patrones históricos, y modelar matemáticamente su comportamiento, para obtener predicciones eficientes y con ello recomendaciones relacionadas a los mejores rendimientos financieros. Las metodologías que se basan en autocorrelación resultan ser eficientes para modelar estadísticamente las series de tiempo del comportamiento financiero de estos activos, dada su alto componente estacional, además la correlación lineal entre ellos sugiere grupos estadísticamente homogéneos a caracterizar.

DESARROLLO DEL ESTUDIO

El estudio tiene un diseño no experimental y alcance descriptivo. Todos los datos cuantitativos relacionados con las variables bursátiles de las divisas estudiadas se recaudan de distintos mercados financieros, por medio de sus portales electrónicos.

Para el estudio se contempla el uso de seis divisas para una caracterización integral del fenómeno, en dónde se utiliza a la divisa de mayor valor relativo a la fecha, es decir Bitcoin (BTC), dos divisas de valor medianamente desarrollado Ethereum (ETH), Dash (DASH) y tres de valor bajo, en comparación con la de mayor valor, estas son Litecoin (LTC), Monero (XMR) y Ripple (XRP).

Para modelar de forma histórica el fenómeno se utilizan los patrones de todos los activos virtuales, esto es posible por medio de la construcción de una base de datos única a raíz de las seis divisas originales y posteriormente extrapolar el modelo obtenido a cada divisa de forma individual (Bakar, Rosbi y Uzaki, 2017). Este análisis se realiza por medio de pesos probabilísticos bajo la distribución presentada en la tabla 1.

Tabla 1.
Pesos probabilísticos por Criptodivisa.

Criptodivisa	Peso
Bitcoin	5 %
Ethereum	10 %
Ripple	10 %
Litecoin	25 %
Dash	25 %
Monero	25 %

Fuente: elaboración propia.

Con la serie generalizada se estima un modelo de series temporales ARIMA, para inferir la variable de volumen de capital bursátil, utilizando un método estacional (Sovbetov, 2018).

Las pruebas que se aplican para validar los supuestos del modelo son: Kolmogorov Smirnov para normalidad, Breusch Pagan para la homogeneidad de varianza, Dickey Fuller para las componentes estacionales y Man Kendall para la validación de tendencia futura (Radovanov, Marcikić, Gvozdenović, 2018).

RESULTADOS OBTENIDOS

El supuesto de homogeneidad de valor se valida por medio de un análisis de varianza para los distintos mercados financieros, se contemplan el de Nueva York (NYSE), Shanghái (SSE) y Reino Unido (LSE), con resultados no significativos para ningún mercado financiero.

Tabla 2.
Análisis de Varianza para el mercado Financiero.

Fuente de Variación	F	P
Bitcoin	0.13	0.879
Dash	0.36	0.702
Ripple	0.16	0.852

Fuente: elaboración propia.

El modelo de series temporales que mejor describe el comportamiento de la serie generalizada es un modelo ARIMA (2,1,0) estacional (2,1,0) para 12 periodos (anual), el mismo presenta un ajuste a la Normal en su distribución de residuos, errores cuadrados medios de predicción no significativos y explica hasta un 79 % de la variabilidad de la serie según su coeficiente de determinación. Este modelo tiene la siguiente forma:

$$\Delta x_t = c + \phi_1 \Delta x_{t-1} + \phi_2 \Delta x_{t-2} + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + \varepsilon_t$$

donde:

ϕ = estimador del volumen de capital.

x_t = momento en cuestión para el cual se estima la variable.

ε = error o ruido blanco dados los atrasos del modelo.

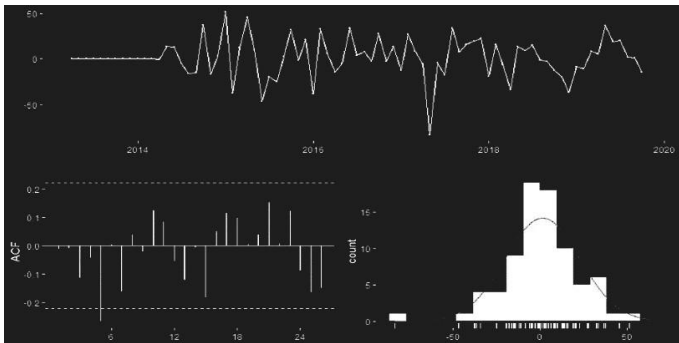


Figura 1. Aplicación del Modelo sobre Bitcoin.

Fuente: elaboración propia.

El modelo es posteriormente aplicado a cada divisa de forma individualizada para generar predicciones, con ello se estima un portafolio de inversión basado en el intervalo de confianza de la inferencia para cada periodo (Liu & Tsyvinski, 2018).

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Existe una tendencia con una componente positiva para todas las criptomonedas estudiadas, la prueba de Mann Kendall demuestra una proyección inflacionaria futura para todas las divisas (Hileman & Rauchs, 2017).

El comportamiento modelado para el volumen de capital concuerda con lo reportado en publicaciones de Sovbetov (2018). El valor de Bitcoin tiene una influencia significativa sobre el valor de divisas de

bajo volumen de capital, pero que están estrechamente correlacionadas, estas últimas están sujetas a una caída o alza con relación a la misma y con ello se evidencia que sí existe un factor especulativo en el mercado de activos virtuales.

El modelo generalizado tiene la capacidad de realizar inferencias válidas para cada divisa de forma individual, éste presenta una distribución de residuos Normal y una autocorrelación acotada como se evidencia en la figura 1. La tasa actual de inflación sí está comprendida dentro de los intervalos de predicción del modelo.

Existe el riesgo de pérdida neta en inversiones en activos virtuales, los intervalos de confianza para las predicciones del modelo suponen que para 2021 todos los activos virtuales podrían tener hasta el 100 % de pérdida de la inversión respecto a su valor de 2019 si la venta se realiza en una fecha inadecuada.

Se proyecta que una inversión de 100 USD en abril de 2019 brinde un rendimiento financiero del 210 % para febrero de 2021; si se vende en el momento adecuado, dicho ROI está contemplado en los intervalos de confianza del modelo, denotando potenciales retornos sobre la inversión.

CONCLUSIONES

1. Existe una tendencia positiva para todas las criptomonedas, por medio de la prueba de Mann Kendall se evidencia una proyección futura positiva para todas las series de tiempo.
2. El análisis de varianza para los mercados financieros evidencia que no existe diferencia estadísticamente significativa para los valores medios del volumen de capital de las criptomonedas.
3. Un modelo ARIMA estacional (2,1,0) (2,1,0) presenta una adecuada bondad de ajuste a una distribución Normal en sus residuos, y un coeficiente de determinación significativo, lo cual lo vuelve válido para generar predicciones.

4. Los intervalos de confianza denotan posibles retornos de la inversión de hasta un 200%, siendo Ethereum y Litecoin las divisas con más potencial de apreciación.

RECOMENDACIONES

Para continuar una investigación más a detalle y dar continuidad al tema se recomienda:

1. Utilizar otro acercamiento predictivo por medio de algoritmos de estadística multivariante como redes neuronales para regresión.
2. Introducir al modelo otras variables bursátiles como el precio de apertura o cierre y sus interacciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bakar, N. A., Rosbi, S., & Uzaki, K. (2017). Cryptocurrency Framework Diagnostics from Islamic Finance Perspective. *International Journal Of Management Science And Business Administration*, 4(1), 19-28
- Hileman, G., & Rauchs, M. (2017). 2017 Global Cryptocurrency Benchmarking Study. *SSRN Electronic Journal*
- Liu, Y., & Tsyvinski, A. (2018). *Risks and Returns of Cryptocurrency*. doi:10.3386/w24877
- Radovanov, B., Marcikić, A., & Gvozdenović, N. (2018). *A Time Series Analysis Of Four Major Cryptocurrencies*. Facta Universitatis
- Sovbetov, Y. (2018). Factors Influencing Cryptocurrency Prices: Evidence from Bitcoin, Ethereum, Dash, Litecoin, and Monero. *Journal of Economics and Financial Analysis*, , 1–27

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES

Ingeniero Industrial, Fabio Andrés Sandoval Girón, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2018.

Maestro en Estadística Aplicada de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2021.

Afiliación laboral: Superintendencia de Bancos de Guatemala.

Ingeniero Químico, William Eduardo Fagiani Cruz, Facultad de Ingeniería, USAC, 2009.

Maestro en Estadística Aplicada, Escuela de Estudios de Postgrado, Facultad de Ingeniería, USAC, 2016.

Afiliación laboral: Facultad de Ingeniería, USAC.

DETERMINACIÓN DEL MODELO DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE DE MEJOR AJUSTE PARA LA PREDICCIÓN DEL ABSTENCIONISMO ELECTORAL EN GUATEMALA.

Determination of the best-fit multiple linear regression model for the prediction of electoral abstentionism in Guatemala

Carlos Ottoniel Guevara Carranza

Mtro. en Estadística Aplicada
guevaracarlos.c88@gmail.com

Mayra Virginia Carvajal Castillo

Mtra. en Estadística Aplicada
mayracarvajalcastillo91@gmail.com

Recibido: 15 de marzo de 2022.

Revisado: 3 de junio de 2022.

Aprobado: 7 de octubre de 2022.

RESUMEN

Este estudio se orienta a determinar un modelo de regresión, por medio del análisis de las variables del padrón electoral, para describir el fenómeno del abstencionismo en Guatemala. Se analizan las variables del padrón electoral más actualizadas hasta el 2019 así como los resultados de los comicios del 2015 en la primera elección; se estudia la correlación que tienen estos entre sí y variables socioeconómicas como el Índice de desarrollo humano. Para el abstencionismo, se analiza la proporción de votos para calcular un modelo de regresión, agotando los supuestos de linealidad, hasta encontrar el mejor ajuste.

Entre los modelos que se evalúan, el modelo *Extreme gradient boosting* es el mejor estimado, dentro de una data en donde las variables como el rango etario, el sexo, el alfabetismo, no se relacionan entre sí, ni con variables socioeconómicas, cuando de abstencionismo se trata, en virtud de que cada una de ellas se ve afectada por este fenómeno, sin distinción alguna.

ABSTRACT

This study is oriented to determine a regression model, through the analysis of the variables of the electoral roll, to describe the abstentionism phenomenon in Guatemala. The updated electoral registration variables, as of 2020, were analyzed as well as the result of the 2015 first elections; the correlation between these two and the socioeconomic variables such as the human development index. For abstentionism, the proportion of votes was analyzed to calculate a regression model, exhausting the assumptions of linearity, until the best fit was found.

Within the evaluated models, the Extreme gradient boosting, is better adjusted inside a database in which the variables like age, range gender, and literacy, are not related to each other, or to socioeconomic variables, when it comes to abstentionism, in virtue of each of them being affected by this phenomenon with no distinction whatsoever.

PALABRAS CLAVE

Bondad de ajuste, correlación, normalidad, abstencionismo electoral.

KEYWORDS

Goodness of fit, correlation, normality, electoral abstentionism.

INTRODUCCIÓN

Este estudio analiza el fenómeno del abstencionismo en Guatemala, con base en la data proporcionada por el Tribunal Supremo Electoral, la cual contiene los votos emitidos durante la primera elección del año dos mil quince, y el padrón actualizado al año dos mil diecinueve, con la pretensión de encontrar un modelo de regresión que permita inferir el comportamiento de dicho fenómeno de la manera mejor ajustada posible. Para tal efecto se analizan los estados civiles y el alfabetismo de conformidad con la clasificación del padrón, estableciendo el nivel de asociación de cada uno de los componentes, así como el ajuste del mejor modelo de regresión para describir el comportamiento del abstencionismo electoral en Guatemala.

Las campañas electorales difundidas por la institución competente, tienen como propósito incentivar a la población a emitir su sufragio mediante un evento electoral, sin embargo, aunque la cantidad del padrón electoral crece a un ritmo más acelerado que el de la población, no significa que las tendencias de participación sean altas; por el contrario, la apatía a los eventos antes mencionados crece, por lo que es importante definir las proporciones que participan en dicho evento, para efectos de establecer los segmentos de la población que afectan el fenómeno anteriormente relacionado.

DESARROLLO DEL ESTUDIO

El estudio es de tipo cuantitativo, alcance descriptivo y diseño no experimental. La población en estudio es la registrada en el padrón electoral de la República de Guatemala, la cual se encuentra dividida en subpoblaciones descritas en el artículo 5 y 5 bis del Reglamento de la Ley Electoral y de Partidos Políticos, la cual establece la residencia electoral y de conformidad a la ley la circunscripción electoral más pequeña para efectos del cambio de alguna papeleta es la vecindad, por lo que los datos provenientes de los municipios se estudian en su totalidad.

El análisis de datos se inicia agotando los supuestos de normalidad, como base para construir una matriz

de correlación. Posteriormente, se aplica el test de Friedman para identificar las circunscripciones domiciliarias del padrón electoral, a efectos de establecer si la diferencia entre la cantidad de empadronados de la misma, ostenta una diferencia significativa. Finalmente, se evalúan diferentes modelos de regresión como lo sugiere Pons (2019) y Riba (2000), sobre cada una de las variables del padrón electoral, teniendo como variable respuesta la proporción de votos emitidos, inferida a partir de los rangos etarios, el sexo y el alfabetismo, evaluando cada variable por separado y de manera global.

RESULTADOS OBTENIDOS

Luego de analizar los residuos del modelo se infiere la proporción de votos, con base en la cantidad de sufragios de cada zona municipal; se determina que dicho modelo lineal múltiple no presenta un comportamiento normal a pesar de las transformaciones realizadas. Por consiguiente, se correlaciona cada una de las variables del padrón como lo realiza Hernández (1991), y se relaciona con variables socioeconómicas como lo muestra la figura 1, de conformidad a lo referido por Fornos, Power y Garand (2004), conjuntamente con Chavarría (2014), que sugieren la asociación antes mencionada.

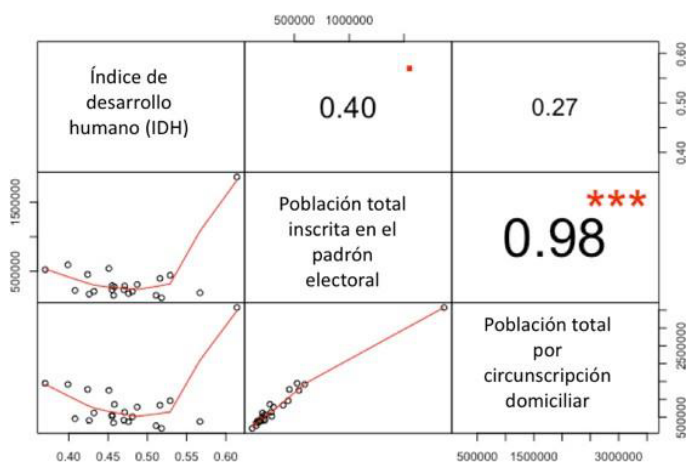


Figura 1. Correlación de Spearman.

Fuente: elaboración propia.

Para determinar si existen poblaciones con similar comportamiento electoral se aplica el test de Friedman

sobre la data de empadronados, la cual demuestra que cada circunscripción departamental tiene diferencias significativas, por lo que no existen dos departamentos homogéneos, desde el punto de vista estadístico, con respecto al padrón electoral.

El ajuste de los modelos se evalúa con base en el coeficiente de determinación, el error cuadrado medio y la media del error absoluto. Como resultado de interés, se determina que el mejor ajuste se obtiene para el modelo *Extreme gradient boosting*, cuando se utilizan todas las variables del padrón electoral.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Cada una de las circunscripciones electorales es tan dispersa que todas ellas tienen diferencias significativas entre sí, por lo que cada una tiene una participación diferenciada dentro del padrón electoral, haciendo imposible inferir una con respecto de otra. Luego del análisis de mejor ajuste, el modelo *Extreme gradient boosting* es el que mejor estimación presenta con respecto de otros, vale la pena mencionar que la población más joven es la más dispersa en su comportamiento.

El análisis demuestra el bajo nivel de asociación que tiene el padrón electoral y las variables socioeconómicas, en virtud que cada una de ellas no se correlacionan entre sí. Al contrario de la multicolinealidad, cada una de las variables en la que se divide el padrón aporta al modelo final del abstencionismo indicado, que dicho fenómeno afecta a toda la población indistintamente de su sexo, alfabetismo o edad. Por lo que el fenómeno del abstencionismo se extiende a todo el padrón electoral, indistintamente de los estados civiles e independientemente de las variables o condiciones socioeconómicas en las que se encuentre la población.

CONCLUSIONES

1. La asociación entre el Índice de desarrollo humano, las variables del padrón electoral como el sexo y el alfabetismo, correlacionadas

a nivel domiciliario, no presentan ningún nivel de asociación relevante, caso contrario de la vinculación estadística entre el total de la población, el padrón electoral y sus variables civiles, y la ausencia o presencia de analfabetismo.

2. De acuerdo con los modelos de regresión, se determina que todas las variables y sus permutas, entre sexo, abstencionismo y rangos etarios son influyentes dentro del modelo, debido a que la ausencia de una de ellas conlleva a la pérdida de información de tal forma, que la estima del modelo se ve afectada.
3. Luego de la modelización de los datos, el modelo mejor evaluado basado en los estimadores es el de regresión con base en el modelo *Extreme gradient boosting* inferido con todas las variables independientes se establece como el modelo de mejor ajuste.

RECOMENDACIONES

1. Es relevante que el Tribunal Supremo Electoral, por medio del registro de ciudadanos y el departamento de informática amplíen el registro de los votantes, precisando la data obtenida, ya que con el tiempo se necesita mayor precisión para realizar análisis más profundos con respecto del comportamiento de las variables.
2. Se recomienda dar seguimiento y segmentar la data de conformidad a los períodos que la ley establece, es decir, los rangos etarios pueden establecerse cada cuatro años en virtud de que las elecciones generales se efectúan en ese mismo período de tiempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chavarría Mora, E. (2014). Relación entre desarrollo humano y abstencionismo a nivel local en Costa Rica para las elecciones del 2010. *Revista de Derecho Electoral*. (18). Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5607359>

- Fornos, C., Power, T. y Garand, J. (2004). Explaining Voter Turnout in Latin America, 1980 to 2000. *Comparative Political Studies*. 8 (37) 09-40. doi: 10.1177/0010414004267981
- Hernández, O. (1991). Universidad de Costa Rica. Anuario de Estudios Centroamericanos. Portal de Revistas Académicas. *Análisis del abstencionismo en las elecciones presidenciales de Costa Rica en el periodo 1953-1986*. 16. (16). Recuperado de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/anuario/article/view/2734>
- Pons Sarlot, Ll. (2019). *L'abstenció diferencial i el vot dual a les Illes Balears*. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10609/91466>
- Riba, C. (2000). Voto dual y abstención diferencial. Un estudio sobre el comportamiento electoral en Cataluña. *Reis: Revista Española de Investigaciones Sociológicas*. 91, 59-88 doi: 10.2307/40184275

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES

Ingeniero en Industrias Agropecuarias y Forestales, Carlos Ottoniel Guevara Carranza, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2019.

Maestro en Estadística Aplicada egresado de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2021.

Afiliación laboral: Congreso de la República de Guatemala.

Mayra Virginia Carvajal Castillo, Ingeniera Industrial, egresada de la Facultad de Ingeniería, USAC, 2016.

Maestra en Estadística Aplicada, egresada de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, USAC, 2018.

Afiliación laboral: Facultad de Ingeniería. USAC.

DISEÑO DE MODELO ACTUARIAL PARA LA PROYECCIÓN DE MORTALIDAD EN GUATEMALA.

Actuarial Model Design for the Projection of Mortality in Guatemala.

José Pablo Hernández Maldonado

Mtro. en Estadística Aplicada
josepablohermal@gmail.com

Adonai Navas García

Mtro. en Estadística Aplicada
adonai_navas@yahoo.com

Recibido: 18 de marzo de 2022. | Revisado: 29 de junio de 2022. | Aprobado: 14 de octubre de 2022.

RESUMEN

El presente estudio busca modelar el comportamiento de la mortalidad en Guatemala, actualizada con la última información obtenida del censo de población y vivienda 2018 y sus estadísticas vitales desde el año 2009 al 2018.

Los datos son probados con las leyes de mortalidad de Moivre, Gompertz, Makeham y Weibull, así como un ajuste de suavizado de Whittaker-Henderson de orden 2, 3 y 4.

El estudio muestra que el suavizado de Whittaker-Henderson de orden 4 presenta con un 90 % de confianza y un mejor ajuste sobre los demás modelos, determinando que la esperanza de vida en mujeres es de 76.29 años, de 71.01 años para hombres, y de 73.71 años el cálculo combinado para 2018, colocando a Guatemala ligeramente por debajo de la esperanza de vida regional.

ABSTRACT

The present study seeks to model the behavior of mortality in Guatemala, validated with the latest information obtained from the 2018 population and housing census and Guatemalan vital statistics records from 2009 to 2018.

The data is tested with the mortality laws of: Moivre, Gompertz, Makeham, and Weibull, as well as a Whittaker-Henderson smoothing adjustment of order 2, 3 and 4.

The study shows that the Whittaker-Henderson smoothing of order 4 with a 90% confidence presents a better fit over the other models, determining that the life expectancy in women is 76.29 years, 71.01 years for men, and 73.71 years the combined calculation for 2018, placing Guatemala slightly below the regional life expectancy.

PALABRAS CLAVE

Actuariado, censo, esperanza de vida, estadísticas vitales, mortalidad, suavizado.

KEYWORDS

Actuarial science, life expectancy, vital statistics records, mortality, smoothing.

INTRODUCCIÓN

Para las empresas e instituciones aseguradoras en Guatemala es importante conocer los riesgos de mortalidad asociados a cada persona por edad y sexo, con el objeto de mejorar el cálculo en la predicción de reservas y creación de productos tomando en cuenta los riesgos de mortalidad vigentes para Guatemala. El propósito de la investigación es la construcción de tablas de mortalidad por sexo y grupos etarios de la población guatemalteca para el año 2018, la cual abarca todos los rangos de edad incluidos en el censo poblacional de 2018, y los fallecidos en el periodo 2009 a 2018.

La curva se suaviza por medio de cuatro distribuciones de mortalidad: Moivre, Gompertz, Makeham y Weibull, con el fin de modelar una función dependiente de la edad que permite estimar un modelo de supervivencia para diferentes rangos de edad, asimismo cada modelo se valida por medio de criterios de información.

DESARROLLO DEL ESTUDIO

El estudio se realiza con un enfoque cuantitativo transversal de alcance descriptivo, mide el efecto que tiene la variable independiente (edad) sobre la variable dependiente (mortalidad), por medio de técnicas demográficas y actuariales.

Los datos del censo poblacional y de vivienda 2018 se obtienen de la base de datos del Instituto Nacional de Estadística (INE), estos son ajustados a los porcentajes de omisión de información que se reporta para dicho censo publicado en el informe de presentación de datos (INE, 2020).

En la figura 1 se muestran los lineamientos de CEPAL (2017), que se usan para calcular mortalidad bruta en tablas completas.

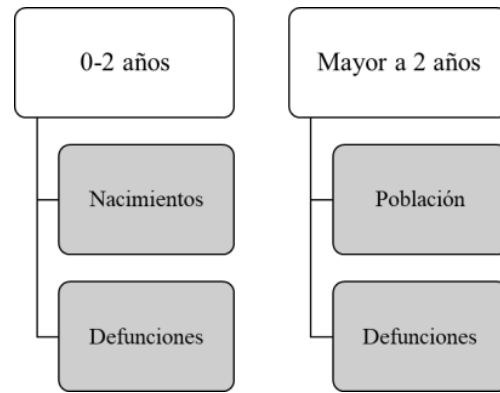


Figura 1. Esquema de mortalidad bruta.

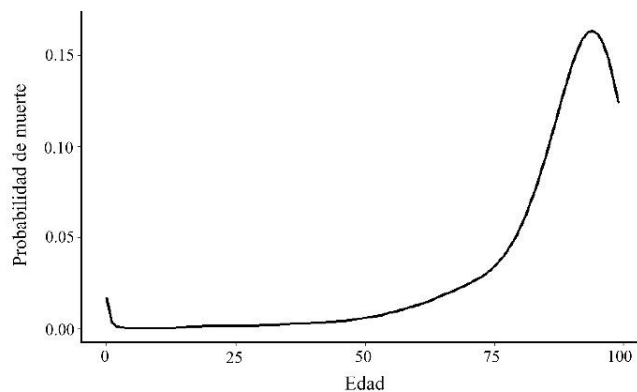
Fuente: elaboración propia.

Los datos de mortalidad bruta se contrastan con los generados por los modelos de Moivre, Gompertz, Makeham, Weibull, y las técnicas de suavizado de Whittaker-Henderson de orden 2, 3 y 4.

RESULTADOS OBTENIDOS

El modelo con mejor ajuste según los criterios de información y las pruebas de Diebold Mariano, es el de Whittaker-Henderson con los parámetros $\lambda = 1/40$ y $d = 4$, este se usa como ajuste de mortalidad como se muestra la figura 2. Mientras que el modelado de Gompertz y Makeham presenta un modelo alejado de la mortalidad bruta, similar a la investigación de Missov y Lenart (2013).

Figura 2. Curva de mortalidad 2018 de ambos sexos.



Fuente: elaboración propia.

Con el propósito de usar el modelo que representa la mayor cantidad de información con la menor cantidad de parámetros, se evalúa cada uno con el criterio bayesiano de información, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1.
Criterios de información de modelos para ambos sexos.

Leyes de mortalidad	Parámetros	BIC	AIC
Moivre	3	636.8161	636.8161
Gompertz	4	505.7322	484.1012
Makeham	5	519.5477	487.1012
Weibull	4	428.0116	406.3806
Whittaker d2	6	471.9566	450.3256
Whittaker d3	7	227.726	206.0950
Whittaker d4	8	224.4742	202.8431

Fuente: elaboración propia

Se comparan los modelos por medio de la prueba de Diebold y Mariano (1995), con un alfa del 10 %, esto evidencia que el modelo de Whittaker-Henderson de orden cuatro es significativamente superior a los otros modelos evaluados.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se calcula el comportamiento de la mortalidad para cada edad simple y se compara con el modelo paramétrico definido por cada ley de mortalidad.

El modelo de Moivre se encuentra alejado de la estimación de la mortalidad observada, con excepción de las edades en el rango de 77 a 79 años, que es donde la mortalidad observada y la del modelo de Moivre coinciden.

El modelo de Gompertz presenta un mejor ajuste a la mortalidad observada en las primeras etapas de edad, pero se aleja de las observaciones a partir de los 50 años. El modelo de Makeham muestra un comportamiento similar a Gompertz.

El modelo de Weibull coincide con la mortalidad observada en un rango de edad más pequeño que Makeham, alejándose de las observaciones a partir de los 40 años. El modelo de Whittaker-Henderson con los parámetros $\lambda = 1/40$ y $d = 4$, se identifica como el mejor modelo según los criterios de información y los contrastes Diebold Mariano. Este modelo de orden 4, se aleja de la mortalidad observada en edades jóvenes y edades avanzadas, no obstante, brinda suavidad a la curva de mortalidad, la cual es necesaria en un modelo de este tipo según Newton, Hans y Hickmanm (1997).

CONCLUSIONES

1. El modelo de Whittaker-Henderson con un valor $\lambda = 1/40$ y $d = 4$, describe el comportamiento de la mortalidad de una forma suave y continua, determinando así una esperanza de vida de 76.29 años para mujeres, de 71.01 años para hombres y de 73.71 años combinado, además se calcula una tabla de vida en edades simples.
2. Las tasas de mortalidad bruta se calculan usando la información de nacimientos, población y defunciones, a excepción de las edades de 0 a 2 años que por sesgo en datos censales en edades tempranas se considera únicamente nacimientos y defunciones, la mortalidad más alta se presenta en edades de 86-87 años en mujeres y en 85-86 años para los hombres.
3. El modelo adecuado para suavizar los datos de mortalidad observada es el de Whittaker Henderson con los parámetros de $\lambda = 1/40$ y $d = 4$, se valida por medio del criterio de información bayesiano y el criterio de Akaike.
4. El modelo con la menor sumatoria de errores medios es el de Whittaker Henderson con los parámetros $\lambda = 1/40$ y $d = 4$, el cual se contrasta por medio de una prueba Diebold-Mariano con un valor de significancia del 10 %.

RECOMENDACIONES

1. Dado que se calcula una tabla de vida en edades simples para Guatemala en 2018, las aseguradoras deben actualizar y registrar cada año posterior, los cambios en la mortalidad usando tablas abreviadas en los años intermedios hasta que ocurra el próximo censo en Guatemala.
2. Puesto que la tabla de mortalidad es calculada con estadísticas vitales de 2009-2018 y del censo poblacional 2018, las autoridades de salud pueden calcular los cambios en la mortalidad para cada rango de edad luego de crisis epidemiológicas en la población y así evidenciar el impacto que ha tenido en cada cohorte.
3. Debido a que la mortalidad es una característica de la población se hace necesario evaluar el comportamiento de esta en cada región de Guatemala o bien en cada grupo asegurado para identificar diferencias en tasas de mortalidad que adecuen de mejor manera el riesgo en las pólizas de vida.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2017). *Observatorio Demográfico América Latina y el Caribe*. Recuperado de <https://repositorio.cepal.org/pdf>
- Diebold, F., & R. Mariano. (1995). Comparing Predictive Accuracy. *Journal of Business and Economic Statistics*, 13(1), 253-263.
- Instituto Nacional de Estadística Guatemala. (2020). *Estimaciones y proyecciones nacionales de población, metodología y principales resultados*. Recuperado de <https://www.censopoblacion.gt/documentacion>
- Missov, T., & Lenart, A. (2013). Gompertz - Makeham life expectancies: Expressions and applications. *Theoretical Population Biology*, 90(1) 29 -35.
- Newton, B., Hans, G., y Hickmanm J. (1997). *Actuarial Mathematics*. Illinois, Estados Unidos: The Society of Actuaries.

INFORMACIÓN DEL AUTOR

Ingeniero Industrial, José Pablo Hernández Maldonado, graduado de Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2016. Maestro en Estadística Aplicada de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2021. Afiliación laboral: Superintendencia de Bancos de Guatemala.

ANÁLISIS DE LOS INDICADORES DE RENDIMIENTO ACADÉMICO EN LOS CURSOS PROFESIONALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN CIENCIAS Y SISTEMAS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC, 2012 A 2018

Analysis of the academic performance indicators in the professional courses for the Computer Science Engineering Majors, Faculty of Engineering, USAC, 2012 to 2018

Elmer Anselmo Calel Ramos

Mtro. en Estadística Aplicada
ercael@gmail.com

Yuri Asucena Castro Estrada

Mtra. en Ingeniería
yurica24@gmail.com

Recibido: 18 de marzo de 2022. | Revisado: 15 de julio de 2022. | Aprobado: 13 de octubre de 2022.

RESUMEN

Se analizan las notas finales de los alumnos de la Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas durante los años 2012 a 2018, para determinar el comportamiento de los indicadores de rendimiento y avance académico. Debido a la carencia de estudios de este tipo, se considera necesario desarrollar esta investigación que toma en cuenta los factores: curso, área, género, semestre y cohorte.

Se determina que el curso con el rendimiento académico más alto es Seminario de Sistemas 1 y el más bajo es el curso Organización de Lenguajes y Compiladores 2. Se verifica que el rendimiento académico entre hombres y mujeres no presenta diferencias. Además, se encuentra que el avance académico real general es de 50.8 % lo cual indica que los estudiantes se toman el doble de tiempo en aprobar los cursos profesionales.

ABSTRACT

The final grades of the students at the School of Engineering in Sciences and Systems for the years 2012 to 2018 are analyzed to determine the behavior of the performance indicators and academic progress. Due to the lack of studies of this type, it is considered necessary to develop this research that considers the factors: course, area, gender, semester, and cohort.

It is determined that the course with the highest academic performance is Seminary of Systems 1 and the lowest is the course Organization of Languages and Compilers 2. It is verified that the academic performance between men and women does not present differences. In addition, it is found that the general real academic progress is 50.8% which indicates that students take twice as long to pass professional courses.

PALABRAS CLAVE

Análisis paramétrico, análisis no paramétrico, porcentaje de aprobación, avance académico.

KEYWORDS

Parametric and non-parametric analysis, approval percentage, academic progress.

INTRODUCCIÓN

Para la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, es de suma importancia conocer el rendimiento académico de sus alumnos para determinar si se están cumpliendo con los objetivos de enseñanza y aprendizaje.

El rendimiento académico se aborda desde un punto de vista estadístico, analizando los indicadores de cursos, áreas, género, semestre y cohorte para identificar posibles diferencias a nivel estadístico entre las variables mencionadas, aplicando métodos paramétricos y no paramétricos.

Los resultados obtenidos permiten tomar decisiones para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje por medio de datos, para los cursos de la Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas.

DESARROLLO DEL ESTUDIO

El estudio tiene un enfoque de tipo cuantitativo porque se trabaja sobre las notas finales totales de los cursos profesionales, su alcance es descriptivo porque describe el rendimiento y avance académico y su diseño es no experimental pues los datos se analizan en su estado original sin manipulación; además es longitudinal de tendencia porque analiza el comportamiento que tiene el rendimiento académico durante los años 2012 a 2018.

La población la conforman los alumnos con asignación a cursos profesionales de la Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas del 2012 a 2018. Las variables de estudio son: curso, área, género, semestre y cohorte.

Para el desarrollo de la investigación se consultan fuentes bibliográficas sobre el rendimiento académico e indicadores, Horn (1993); estudios previos realizados de este tipo para escuelas de la FIUSAC como Ingeniería Mecánica, Bolaños Méndez (2018) y Escuela de Ciencias, Carvajal Castillo (2018). Se solicitan los datos al Centro de Cálculo e Investigación Educativa y se analizan por medio del lenguaje de programación R y el software SPSS. Las técnicas

estadísticas utilizadas son: estadísticas descriptivas, gráficos, prueba de Kolmogorov-Smirnov prueba de Kruskal-Wallis y prueba U de Mann Whitney, Webster, A. L. (2000) y Ardila, R. (1966).

RESULTADOS OBTENIDOS

Se aplica la prueba de Kolmogorov-Smirnov y se determina que las notas finales de los estudiantes no siguen una distribución normal con un valor p menor que 0.05.

Se aplica la prueba de Kruskal-Wallis y se muestra que los cursos presentan diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento académico, siendo Seminario de Sistemas 1 el que tiene el rendimiento más alto con promedio de 73.4 puntos y 91.1 % de aprobación; Organización de lenguajes y Compiladores 2, muestra el más bajo con promedio de 20.2 puntos y 24 % de aprobación.

Se aplica la prueba de Kruskal-Wallis y se determina que no existe diferencia significativa en el rendimiento académico entre hombres y mujeres, con porcentaje de aprobación de 51.4 % y 52.4 %, nota promedio de 45.5 y 46.4, respectivamente, el valor p es de 0.072 que es mayor que 0.05.

El rendimiento académico entre las cuatro áreas académicas muestra diferencias estadísticamente significativas, donde el área Metodología de Sistemas tiene el mayor rendimiento con promedio de 58.7 puntos y 67.4 % de aprobación, mientras que Programación de Sistemas es el curso con el menor rendimiento con promedio de 31 puntos y 36.7 % de aprobación.

El rendimiento académico en el octavo semestre muestra un promedio de 62.3 puntos y 72.8 % de aprobación, mientras que en el quinto, se calcula un promedio de 31.5 puntos y 33.3 % de aprobación, indicando las diferencias estadísticamente significativas entre los semestres profesionales. Se aplica la prueba de Kruskal-Wallis para la hipótesis y U de Mann-Whitney para determinar las diferencias.

Tabla 1.
Avance académico por año de ingreso.

Año de ingreso	% de avance
2012	51.2
2013	49.6
2014	50.9
2015	48.5
2016	48.6
2017	57.8
Total	50.8

Fuente: elaboración propia.

Se calcula el avance académico real de los estudiantes dividiendo el total de créditos aprobados con el total de créditos asignados. La tabla 1 muestra el porcentaje de avance académico real de cada cohorte. La prueba de Kruskal-Wallis aplicada muestra que en el avance académico no hay diferencias entre las cohortes, pero el rendimiento académico sí, la cohorte 2017 y 2012 presentan mayor y menor rendimiento académico con 61.9 % y 54.9 % de aprobación, respectivamente.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La falta de normalidad en los datos permite aplicar pruebas no paramétricas (Kruskal-Wallis) para verificar igualdad en las medias. Al analizar el rendimiento académico entre los cursos profesionales se muestran diferencias estadísticamente significativas y el curso que presenta el mayor rendimiento académico es Seminario de Sistemas 1 y Organización de Lenguajes y Compiladores 2 el menor. Es importante mencionar que éste último curso es considerado el más difícil y representa el mayor porcentaje de abandono por parte de los estudiantes, al punto de llevarlos a retirarse de la carrera y en casos extremos de la universidad. Todas las áreas tienen rendimiento académico promedio diferente, el área Metodología de Sistemas tiene el mayor rendimiento académico y el área con menor rendimiento es Programación de Sistemas.

Se determina que el rendimiento académico entre hombres y mujeres no presenta diferencias estadísticamente significativas en el promedio y porcentaje de aprobación.

Al analizar el rendimiento académico por semestre, se observa una mejora considerable a partir del sexto semestre, siendo el octavo el que presenta el rendimiento académico más alto.

El análisis entre cohortes muestra que el avance académico es similar, pero el rendimiento académico es diferente. De manera general, se observa que el avance académico independientemente de la cohorte es de 50.8 %, lo que indica que los estudiantes en general, se tardan el doble de tiempo en aprobar los cursos profesionales.

CONCLUSIONES

1. Se determina que los indicadores de rendimiento académico presentan un comportamiento diferente en cada curso con un nivel de significancia de 0.05, siendo los cursos de Seminario de Sistemas 1 y el curso de Organización de Lenguajes y Compiladores 2 quienes tienen el menor y mayor rendimiento.
2. El rendimiento académico es independiente en las áreas profesionales con un nivel de confianza de 95 %. Metodología de Sistemas es el área de rendimiento académico más alto y Programación de Sistemas el área con el más bajo.
3. En los índices de rendimiento académico para hombres y mujeres no existen diferencias estadísticamente significativas con 95% de confianza. Esto indica que las notas finales y porcentajes de aprobación tienen un comportamiento similar.
4. Con base en la prueba estadística de Kruskal-Wallis se identifica que existe independencia en el rendimiento académico para los semestres profesionales con un nivel de significancia de 0.05. El semestre con mayor rendimiento académico es el octavo y el más bajo se encuentra en el quinto.

5. Por año de ingreso, los índices de avance académico no presentaron independencia entre sí. Sin embargo, los índices de rendimiento académico presentan independencia de acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis realizada con un nivel de confianza de 95 %. Siendo la cohorte 2017 la que presenta el rendimiento académico más alto durante los años 2012 a 2018.

RECOMENDACIONES

A la Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas.

1. Promover el desarrollo de investigaciones relacionadas con el comportamiento indicadores de rendimiento académico de estudiantes por medio de las notas finales obtenidas en cada curso.
2. Establecer políticas para el resguardo de la nota final real de los estudiantes en los cursos, para lograr mejores estudios con niveles de confianza más altos.
3. Investigar de forma periódica los factores involucrados y que determinan el comportamiento del rendimiento académico de los estudiantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ardila, R. (1966). Técnicas estadísticas no paramétricas. *Revista Colombiana de Psicología*, (11), 89-102.
- Bolaños, L. (2018). *Análisis estadístico del rendimiento académico en los cursos profesionales de los estudiantes de Ingeniería Mecánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, durante los años 2010 a 2015*. (tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Carvajal Castillo, M. V. (2018). *Análisis de los indicadores del rendimiento académico en los cursos a cargo de la Escuela de Ciencias durante el período 2010 al 2015, en la Facultad de Ingeniería, USAC*. (tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

- Horn, R. (1993). *Statistical indicators for the economic and social sciences*. Cambridge, University Press, Hon Kong.
- Webster, A. (2000). *Estadística aplicada a los negocios y la economía*. Colombia: McGraw-Hill.

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES

Ingeniero en Ciencias y Sitemas Elmer Anselmo Calel Ramos, graduado de Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2020. Maestro en Estadística Aplicada de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2021. Afiliación laboral: Assteco Solutions.

Ingeniero en Ciencias y Sitemas Yuri Asucena Castro Estrada, graduada de Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2012. Maestro en Ingeniería graduada de la Escuela de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Industrial, Laboratorio de Diseño de Sistemas Inteligentes, Universidad de Kyung Hee, Corea del Sur, 2016. Afiliación laboral: Senacyt.

DESARROLLO DE UNA BEBIDA INSTANTÁNEA SABORIZADA A BASE DE COLÁGENO HIDROLIZADO DE ORIGEN BOVINO

Development of an instant flavored drink based on hydrolyzed collagen of cow origin

María Paola Pereda Pinto

Mtra. en Ciencia y Tecnología de Alimentos
paolapereda1109@gmail.com

Marvin Estuardo Samayoa Curiales

Mtro. En Ciencia y Tecnología de Alimentos
me_samayoa@hotmail.com

Recibido: 22 de marzo de 2022. | Revisado: 23 de agosto de 2022. | Aprobado: 13 de agosto de 2022.

RESUMEN

El objetivo de la investigación es la elaboración de una bebida funcional instantánea saborizada a base de colágeno hidrolizado de origen bovino tipo I.

Se desarrollan tres formulaciones con el objetivo de definir el porcentaje de ácido ascórbico que proporcione el requerimiento diario y permita mejorar la absorción de la proteína en el organismo. Se complementa la formulación con la adición de tres sabores para la evaluación de aceptación por medio de una prueba hedónica de 5 puntos a consumidores.

El 63.46 % prefiere la bebida que contiene 96.0 % de colágeno, 2.0 % de ácido ascórbico y 2.0 % de sabor melocotón. Se realizan análisis fisicoquímicos y microbiológicos y se selecciona como material de empaque PET/Alum/LDPE. La vida de anaquel estimada es de seis meses y el costo de un sobre de 10.5 g de Q 3.59, y una presentación de 30 sobres en caja de Q 108.73.

PALABRAS CLAVE

Formulación de alimentos, inocuidad, análisis sensorial, análisis bromatológico, análisis microbiológicos.

ABSTRACT

The objective of the research is the elaboration of a flavored instant functional drink based on hydrolyzed collagen of bovine origin. Three formulations of the drink are developed to define the percentage of ascorbic acid that provides the daily requirement and improves the absorption of protein in the body. The formulation is complemented with the addition of 3 flavors for its degree of liking evaluation through a 5-point hedonic test to aimed for consumers.

63.46% prefer the drink that contains 96.0% collagen, 2.0% ascorbic acid and 2.0% peach flavor. Physicochemical and microbiological analyzes are carried out: Total Aerobic Count, Molds and Yeasts, E. coli and Salmonella ssp. established in RTCA 67.04.54: 10. PET / Alum / LDPE is selected as packaging material. The estimated shelf life is 6 months. Finally, the cost of a stick pack of 10.5g is Q3.59, and in a presentation of a box of 30 stick packs is of Q108.73.

KEYWORDS

Food formulation, food safety, sensory analysis, bromatological analysis, microbiological analysis.

INTRODUCCIÓN

El colágeno es un suplemento alimenticio que actualmente está tomando auge por los beneficios que aporta a la salud (Martínez 2014), la propuesta es dar al consumidor una opción diferente para su consumo, por lo que se desarrolla una bebida funcional saborizada en polvo a base de colágeno hidrolizado con ácido ascórbico a escala de laboratorio, se utilizan tres sabores para determinar la aceptabilidad en los consumidores. Se determina su composición nutricional, fisicoquímico, microbiológico, se evalúa el material de empaque para mejorar la vida de anaquel y se determina el costo del producto para ofrecer una alternativa en la industria alimenticia.

DESARROLLO DEL ESTUDIO

Se compra el colágeno hidrolizado de origen bobino puro, para elaborar la formulación con ácido ascórbico utilizando tres porcentajes diferentes, como se observa en la tabla 1, posteriormente se añaden tres sabores que se observa en la tabla 2 y se evalúa la bebida con un panel de consumidores. Se determina su valor nutricional por medio de un análisis bromatológico, referido en la tabla 3; se realizan análisis microbiológicos para asegurar que la bebida sea apta para el consumo humano y se determina una vida estimada de anaquel, para su uso en la industria alimentaria, que se presenta en la tabla 4.

RESULTADOS OBTENIDOS

Para el desarrollo de la bebida se utilizan las fórmulas que se presentan a continuación.

Tabla 1. Formulación colágena con ácido ascórbico y resultados fisicoquímicos.

	21CAA301	21CAA602	21CAA903
Colágeno	99.00	98.04	97.09
Ácido ascórbico	1.00	1.96	2.91
pH	5.77	5.35	5.05
Viscosidad	3.55	3.57	3.62
Densidad	1.029	1.029	1.030

Fuente: elaboración propia, 2021.

Tabla 2. Formulación bebida saborizada y resultados fisicoquímicos.

	Fresa	Naranja	Melocotón
21CAA602	97.00	98.50	98.00
Sabor	3.00	1.50	2.00
pH	5.29	5.27	5.27
Viscosidad	3.57	3.57	3.58
Densidad	1.068	1.068	1.069

Fuente: elaboración propia, 2021.

Los resultados obtenidos en prueba hedónica de 5 puntos:

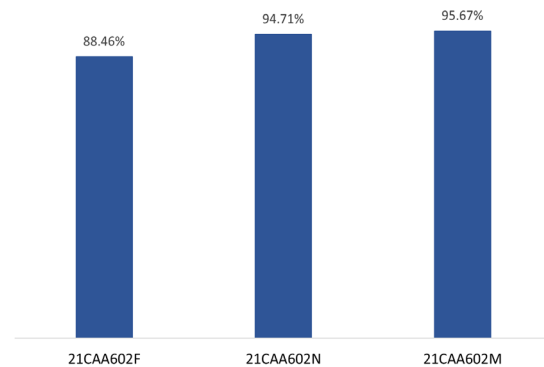


Figura 1. Porcentaje de aceptación de las tres bebidas evaluadas por consumidores.

Fuente: elaboración propia, 2021.

Tabla 3. Análisis bromatológico de la formulación con mejor perfil sensorial 21CAA602M en 100g.

Análisis	Resultado obtenido
Proteína	84.43
Carbohidratos	0.00
Cenizas	1.57
Pérdida por secado	5.37
Granulometría	93.88
Ácido ascórbico	1.29

Fuente: elaboración propia, 2021.

Tabla 4.
Microbiología, vida de anaquel.

	Semana 4	Semana 8	Semana 12	Límite máximo permitido
Aerobios totales	55	58	63	10 ⁴ UFC/g.
Mohos y levaduras	<10	<10	<10	10 ³ UFC/g.
E. coli	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia 10g
Salmonella	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia 25g

Fuente: elaboración propia, 2021.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se observa que los ingredientes en polvo se mezclan fácilmente debido a que la granulometría entre ellos es muy similar. Se mantiene la proporción de colágeno hidrolizado de 10 gramos por porción, ya que es la cantidad diaria de consumo recomendada (Figueres, 2015). La formulación elegida con base en los resultados de una encuesta de dos puntos contiene por porción 200 mg, lo que permite mejorar la absorción del colágeno hidrolizado en el organismo.

Los sabores seleccionados son de frutas que los consumidores asocian por su contenido de vitamina C, por lo que se seleccionan los sabores de: fresa, naranja y melocotón. Se utilizan porcentajes diferentes para cada uno debido a que tienen diferente intensidad.

El rango de aceptabilidad de las bebidas en la prueba hedónica, donde los punteos de 3 a 5 sean el 75 % de calificación, se considera una bebida aceptable. En la figura 1 se muestra que las tres formulaciones son aceptables para los consumidores evaluadores (Domínguez, 2007). Al contar con los diferentes análisis estadísticos descriptivos, cualitativos, cuantitativos y gráficos, la formulación que cumple con el mejor perfil sensorial entre los consumidores evaluados es la 21CAA602M (sabor de melocotón).

El porcentaje de proteína en el análisis bromatológico indica que tiene un 5.8 % menor al porcentaje de proteína indicado por la ficha técnica de colágeno puro, y

es debido a que la formulación contiene dos ingredientes adicionales. El resultado de valor nutricional de la vitamina C tiene el 64.5 % de la cantidad teórica formulada, esto se debe a que la vitamina C se degrada continuamente, por lo que en formulación para obtener la cantidad declarada, es necesario agregar el doble de la cantidad teórica (Vásquez, 2012).

El material que se elige para este producto es el PET/Aluminio/LDPE, es una película laminada, la cual cumple con los requisitos necesarios para prolongar la vida de anaquel de la formulación, ya que tiene una excelente barrera aislante de oxígeno, humedad y protección contra la luz.

Se realizan los análisis microbiológicos para determinar la vida de anaquel del producto, obteniendo resultados aceptados según la especificación del RTCA 67.04.50:17, asimismo se evaluaron sus atributos como sabor, color y olor, siendo satisfactorios. La vida de anaquel es determinada por el contenido de vitamina C, estimando un promedio de 6 meses. El análisis de costo definido con base en los porcentajes de formulación es de Q 245.33 por kilo. Para el contenido de 10.5g en cada sobre de Q 3.59, y una presentación de 30 sobres en caja de Q 108.73.

CONCLUSIONES

1. La formulación a nivel laboratorio de la bebida funcional de colágeno hidrolizado, utiliza tres porcentajes de ácido ascórbico entre 100 mg, 200 mg y 300 mg, con tres sabores de la familia frutal: fresa, naranja y melocotón.
2. Al evaluar los parámetros fisicoquímicos de las formulaciones elaboradas, se observa que el pH se ve afectado directamente por el porcentaje de ácido ascórbico. El valor nutricional de la bebida es 1.29 % de contenido de ácido ascórbico y 84.43 % de proteína.
3. Se determina la aceptabilidad de las bebidas elaboradas con una muestra de 52 consumidores, por medio de un análisis estadístico ANOVA,

en donde la bebida con el mejor perfil sensorial es la formulación con sabor de melocotón (21CAA602M).

4. Los resultados obtenidos de la evaluación de inocuidad cumplen con los criterios microbiológicos referidos en el RTCA 67.04.50:17, asegurando que la formulación es apta para el consumo humano.
5. El material de empaque es laminado de PET/Aluminio/LDPE para la presentación en sobre de 10.5g, con vida de anaquel promedio de 6 meses y con un costo de Q 245.33 por kilo, un costo de presentación de 30 sobres en caja de Q 108.73 y costo por unidad (sobre) de Q 3.59.

RECOMENDACIONES

1. Formular otras bebidas funcionales a base de colágeno hidrolizado de origen bobino con diferentes beneficios; con vitaminas hidrosolubles y minerales, agregando aditivos como edulcorantes para intensificar la percepción del sabor y para el sensorial visual, un colorante y/o enturbiantes.
2. Realizar una prueba hedónica con un mayor número de panelistas, así como pruebas dirigidas al producto con personas consumidoras de colágeno.
3. Realizar un estudio de mercado de sabores para bebidas funcionales que se adapten a las necesidades del grupo objetivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Domínguez, M. (2007). *Guía para la evaluación sensorial de los alimentos*. Lima, Perú: Instituto de Investigación Nutricional – IIN Consultora, AgroSalud.

Figueres Juher T. y Basés, E. (2015). Revisión de los efectos beneficiosos de la ingesta de colágeno hidrolizado sobre la salud osteoarticular y el envejecimiento dérmico. *Nutrición Hospitalaria*, 32(1), 62-66. Madrid, España. Recuperado de <http://www.nutricionhospitalaria.com/pdf/9482.pdf>

Martínez, P. (2014). *Suplementos de colágeno: ¿Moda o salud?* (Tesis de licenciatura). Universidad Complutense, Madrid, España.

RTCA 67.04.50:17. ICS 67.050. 1ra Revisión *Criterios Microbiológicos para la inocuidad de los Alimentos*.

Vásquez, M. (2012). *Efecto del envase sobre la estabilidad de vitamina C en caramelos de gelatina*. (Tesis de Maestría). Universidad Católica de Córdoba. Córdoba.

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES

Ingeniera Química, María Paola Pereda Pinto, Grado Académico a nivel de licenciatura, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2021.

Maestra en Ciencia y Tecnología de los Alimentos de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2021.

Filiación Laboral: Droguería y Laboratorios Sinergia.

Ingeniero Químico Marvin Estuardo Samayoa Curiales graduado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2005.

Maestro en Ciencia Ingeniería de los Alimentos graduado de la Universidad Politécnica de Valencia, 2007.

Maestro en Administración de Empresas graduado de la Facultad de Ciencias Económicas Empresariales, universidad Rafael Landívar, 2012.

Filiación Laboral: Congreso de la República de Guatemala

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 de palabras 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. 150 palabras.

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 sexta 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 dis-

ponible en Word, 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 si da el caso, 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 y orden alfabético. Mínimo 5 referencias y máximo 7.

INFORMACIÓN DEL AUTOR

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.

Márgen superior: 2.7 cm

Márgen inferior: 2.5 cm

Márgen izquierdo: 1 cm

Márgen derecho: 2 cm

Interlineado sencillo, texto justificado, utilizar el formato disponible

Extensión máxima de 4 páginas para tesis o trabajos de graduación de maestría, 6 páginas para ensayos, 8-10 para tesis de doctorado y otros estudios.

Redactar en tiempo verbal presente.


SOBRE EL ENVÍO DE ARTÍCULOS

Enviar por la vía del correo electrónico (revista-postgrado@postgrado.ingenieria.usac.edu.gt) el artículo en formato Word y en formato pdf. Tablas aparte y enumeradas, imágenes en formato jpg aparte y enumeradas, con una resolución de 300 dpi.

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.

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

 informacion_eep@ing.usac.edu.gt



ESCUELA DE ESTUDIOS DE
POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA

ISSN - 2518-3893

