

Perfiles

Perf: Número 26
Vol. 1 - 2021
ISSN: 2477-9105
Julio - Diciembre 2021

FÍSICA

MATEMÁTICAS

QUÍMICA

CIENCIAS BIOLÓGICAS

CIENCIAS DE LA SALUD

ENERGÍAS ALTERNATIVAS



Autoridades de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Ing. Byron Ernesto Vaca Barahona Ph.D.
Rector

Ing. Jenny Basantes Ph.D
Vicerrectora Académico

Ing. Pablo Vanegas Ph.D
Vicerrector de Investigación y Posgrado

Dra. Irene Gavilanes Ph.D
Vicerrectora Administrativo

Dr. Patricio Noboa Ph.D
Director Instituto de Investigaciones

Revista Internacional Arbitrada

Distribución libre

CORRESPONDENCIAS Y SUSCRIPCIONES

Revista Perfiles
Panamericana Sur, km 1½
Riobamba, Ecuador
Telef.: (593) (03) 2998200 ext. 161
e-mail: revistaperfiles@epoch.edu.ec

PERFILES (ISSN 2477-9105) es una revista científica semestral publicada por la
Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
ESPOCH
Riobamba – Ecuador
Año XXI
Número 26

CUERPO EDITORIAL

EDITOR

Celso Guillermo Recalde Moreno
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Email: crecalde672000@yahoo.com
Facultad de Ciencias (Riobamba, Ecuador)

CO-EDITOR

Víctor García
Universidad Nacional de Chimborazo (Riobamba, Ecuador)

Email: vgarcia375@gmail.com

COMITÉ EDITORIAL

Irene Del Carmen Gavilanes Teran
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

irene.gavilanes@esPOCH.edu.ec
Facultad de Ciencias (Riobamba, Ecuador)

Elio Giroletti
Università di Pavia (Pavia PV, Italia)

Email: elio.giroletti@unipv.it

Laszlo Sajo Bohus
Universidad Simon Bolivar

Email: lsajo@usb.ve
Departamento de Física (Caracas-Venezuela)

Janne Rojas
Universidad de Los Andes

Email: janne.rojas24@gmail.com
Facultad de Farmacia (Mérida-Venezuela)

Manuel Morales Yuste
Universidad de Granada

Email: yuste@ugr.es
Facultad de Farmacia (Granada-España)

Omaira Marquez
Universidad Nacional de Chimborazo (Riobamba, Ecuador)

Email: cgomarquez@gmail.com

Sabino Menolasina
Universidad de los Andes

Email: menolasina1960@gmail.com
Facultad de Farmacia (Mérida-Venezuela)

Salvador González Carcedo
Universidad de Burgos

Email: salva@ubu.es
Facultad de Ciencias (Burgos, España)

César A. Cisneros Ramírez-
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría
Centro de Estudios de Tecnologías Energéticas Renovables (La Habana, Cuba)

Email: cesar@ceter.cujae.edu.cu

David Jaramillo Abril
Servicios de laboratorio analítico mínimo (Western Australia, Australia)

Email: d_jaramillo10@hotmail.com

Jorge L. Mírez Tarrillo
Universidad Nacional de Ingeniería (Lima, Perú)

Email: jmirez@uni.edu.pe

Carlos F. Ávila Vega-
Universidad Técnica Equinoccial

Email: carlos.avila@ute.edu.ec
Facultad de Ciencias (Quito, Ecuador)

Cristian Vacacela Gomez
Universidad Yachay TECH (Ibarra, Ecuador)

Email: cristianvg7@gmail.com

COMITÉ CIENTÍFICO

Director

Jorge Efrén Silva Yumi
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

jorge.silvay@esPOCH.edu.ec
Facultad de Ciencias (Riobamba, Ecuador)

Miembros

Carlos Francisco Carpio Coba
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

ccarpio@esPOCH.edu.ec
Facultad de Recursos Naturales (Riobamba, Ecuador)

Gabriela Viviana Tubón Usca
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

gabriela.tubon@esPOCH.edu.ec
Facultad de Ciencias (Riobamba, Ecuador)

Gerardo E. Medina Ramírez
Universidad Estatal Amazónica

Email: medinag47@gmail.com
Escuela de Biología (Puyo, Ecuador)

Adriana C. Rincón Alarcón
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Email: rinconadri@yahoo.com
Facultad de Ciencias (Riobamba, Ecuador)

Morella L. Guillén Ferraro-
Universidad Nacional de Chimborazo

Email: morellaguillen@hotmail.com
Facultad de Ciencias de la Salud (Riobamba, Ecuador)

José Mejía López
Pontificia Universidad Católica de Chile

Email: jmejia@puc.cl
Facultad de Física (Santiago, Chile)

John Martin Evans
Universidad de Buenos Aires

Email: evansjmartin@gmail.com
Facultad de Arquitectura (Buenos Aires, Argentina)

Silvia de Schiller-
Universidad de Buenos Aires

Email: sdechiller@gmail.com
Facultad de Arquitectura (Buenos Aires, Argentina)

Natalí Alejandra Chávez Oleas-
Ministerio de Electricidad y Energía Renovable

Email: natalichavez87@gmail.com
Dirección de Aplicaciones Nucleares (Quito, Ecuador)

Freddy Benalcázar-
Universidad Técnica de Ambato(Ambato, Ecuador)

Email: f.benalcazar@yahoo.es

Revisor Texto en Inglés

Jorge Juan Villarroel Santillán-
Trabajador Independiente

Email: jjvillarroels@outlook.com

Diseño, Diagramación, Maquetación

Luis Mullo Chicaiza
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Email: luis_mulloch@yahoo.com
Facultad de Ciencias (Riobamba, Ecuador)

CONTENIDO

ESTUDIO FARMACOGNÓSTICO PRELIMINAR DE OCIMUM MICRANTHUM Y EUPATORIUM ODARATUM, ESPECIES VEGETALES NATIVAS DE ESMERALDAS (ECUADOR). Karen Acosta, Valeria Zapata, Aida Miranda, José Mora, Alfredo Lajones.....	4
EVALUACIÓN DE LOS EXTRACTOS ETANÓLICOS DE LAS HOJAS DE MORA Y MANGO EN EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DE CRUDOS PESADOS. Hernán Tixi Toapanta, Natalia Barahona Alvear, Henry Garmendia.....	13
FACTORES ASOCIADOS A LA DESNUTRICIÓN CRÓNICA INFANTIL EN ECUADOR. ESTUDIO BASADO EN MODELOS DE REGRESIÓN Y ÁRBOLES DE CLASIFICACIÓN. Pablo Javier Flores Muñoz, Giorgia Nohelia Congacha Ortega.....	21
INOCUIDAD DE LOS ALIMENTOS EXPENDIDOS EN LA VÍA PÚBLICA UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA. Paola Arguello, Ana Karina Albuja.....	34
EL ANÁLISIS DE SUPERVIVENCIA EN LA GESTIÓN DEL RIESGO DE CRÉDITO: EL CASO DE UNA CARTERA HIPOTECARIA ECUATORIANA. Luis Felipe Guevara, Miguel Flores, Ana Cabezas-Martínez.....	48
APLICACIÓN DE PRUEBAS NO PARAMÉTRICAS PARA K-MUESTRAS PARA IDENTIFICAR CAMBIOS EN LA DISTRIBUCIÓN DEL INGRESO EN ECUADOR 2006-2016. Liliana Roldan, Miguel Flores, Ana Cabezas-Martínez.....	62
EFFECTIVIDAD DE LOS LECHOS FILTRANTES EN LA REDUCCIÓN DE SULFATOS Y CARBONATO DE CALCIO EN EL AGUA DE CONSUMO HUMANO. Marco Pino-Vallejo, Franklin Vásquez Basantes, Martha Pazmiño Montero, Patricia Andrade Orozco.....	83
MODELO MATEMÁTICO PARA MINIMIZAR LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN EN UNA ENSAMBLADORA DE VEHÍCULOS – ÁREA DE ENSAMBLAJE. José Gavidia, Antonio Meneses, Lourdes Zúñiga, Christian Mariño.....	90

ESTUDIO FARMACOGNÓSTICO PRELIMINAR DE *OCIMUM MICRANTHUM* Y *EUPATORIUM ODARATUM*, ESPECIES VEGETALES NATIVAS DE ESMERALDAS (ECUADOR).

Preliminary pharmacognostic study of *Ocimum micranthum* and *Eupatorium odoratum*, native plant species from Esmeraldas (Ecuador).

¹Karen Acosta* , ¹Valeria Zapata , ¹Aida Miranda , ²José Mora , ³Alfredo Lajones

¹Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Grupo de Investigación GIPRONAF / Grupo de Investigación GITAFEC, Riobamba, Ecuador.

²Grupo Cultural Flor de Mangle, Esmeraldas, Ecuador.

³Universidad Luis Vargas Torres, Esmeraldas, Ecuador.

*karen.acosta.leon@gmail.com

Resumen

El uso de plantas medicinales ha sido de gran importancia desde la antigüedad en todas las culturas. En Ecuador, la población aún usa de forma habitual plantas de forma terapéutica, como es el caso de los habitantes de Muisne, cantón localizado en la provincia de Esmeraldas. En esta investigación se realizó el estudio farmacognóstico preliminar de dos especies nativas de Esmeraldas (*Ocimum micranthum* y *Eupatorium odoratum*), a través de su análisis macromorfológico, micromorfológico, pruebas fisicoquímicas cualitativas y cuantitativas. Además, se llevó a cabo el estudio etnobotánico de estas especies. Se evidenció cualitativamente que *Ocimum micranthum* presenta aceites, saponinas, lactonas, cumarinas, triterpenos, esteroides, azúcares reductores, resinas, aminoácidos libres o aminas y mucílagos. En el caso de *Eupatorium odoratum* presentó aceites, grasas, resinas, azúcares reductores, aminoácidos libres, mucílagos triterpenos y esteroides. En consecuencia, estas dos especies presentan un potencial destacable para posteriores estudios farmacológicos.

Palabras clave: *Ocimum micranthum*, *Eupatorium odoratum*, estudio farmacognóstico, Esmeraldas, Ecuador.

Abstract

The use of medicinal plants has been of great importance since ancient times in all cultures. In Ecuador, the population still regularly uses plants therapeutically, as is the case of the inhabitants of Muisne, a town located in the province of Esmeraldas. In this research, the preliminary pharmacognostic study of two native species of Esmeraldas (*Ocimum micranthum* and *Eupatorium odoratum*) was carried out, through their macromorphological, micromorphological analysis, qualitative and quantitative physicochemical tests. In addition, the ethnobotanical study of these species was developed. It was qualitatively evidenced that *Ocimum micranthum* presents oils, saponins, lactones, coumarins, triterpenes, steroids, reducing sugars, resins, free amino acids or amines and mucilages. In the case of *Eupatorium odoratum*, it presented oils, fats, resins, reducing sugars, free amino acids, triterpene mucilages and steroids. Consequently, these two species present remarkable potential for further pharmacological studies.

Keywords: *Ocimum micranthum*, *Eupatorium odoratum*, pharmacognostic study, Esmeraldas, Ecuador.

Fecha de recepción: 08-10-2020

Fecha de aceptación: 07-06-2021

Fecha de publicación: 09-09-2021

I. INTRODUCCIÓN

El aumento de problemas de salud y la difícil obtención de medicamentos comerciales, han llevado reiteradamente a la búsqueda de la medicina tradicional a través del uso y manejo de plantas. La utilización de éstas como agentes terapéuticos en la atención primaria de la salud, se ha mantenido a lo largo del tiempo y puede afirmarse que aproximadamente el 60-80% de la población mundial todavía depende en gran parte de los tratamientos tradicionales que implican el uso de extractos de plantas o de sus principios activos (1,2).

En el año 1977, la Organización Mundial de la Salud (OMS) decidió dar énfasis a la medicina tradicional a través de la elaboración de una resolución en la cual se destaca su importancia. La OMS dio a conocer que el 71% de los pacientes utilizan tanto métodos occidentales de salud como la medicina tradicional, lo que permitió establecer que es necesaria su preservación y conservación (3,4).

La Constitución de la República del Ecuador del 2008, en su art. 387 recalca la necesidad de promover la generación y producción de conocimiento, fomentar la investigación científica, tecnológica, y ancestral, para así ayudar a la práctica del Buen Vivir, con el fin de transmitir y enriquecer los saberes que han sido desvalorizados en el transcurso del tiempo. En Ecuador, el 80% de la población depende de la medicina ancestral para solventar sus necesidades básicas como alimentación, vivienda y/o medicina (3,5).

Los productos a base de plantas medicinales se consumen sobretodo en zonas urbanas marginales y de situación socioeconómica baja. No obstante, el comercio y uso de especies medicinales también está presente en las ciudades andinas y en los mercados urbanos del Ecuador, donde suelen existir aproximadamente 200 plantas medicinales diferentes, empleadas en el tratamiento de más de 70 patologías (3,5).

En la región costa de Ecuador, específicamente en la provincia de Esmeraldas, son pocos los estudios etnobotánicos, debido a que regularmente

no son tomados en cuenta para estudios de esta índole (3,6). En los últimos años, los habitantes de la isla de Muisne han estado siendo desalojados debido a los riesgos sísmicos, a raíz del terremoto de abril de 2016 (3,7).

En base a este contexto, es fundamental promover estudios etnobotánicos y farmacognósticos de especies vegetales con la finalidad de rescatar la sabiduría ancestral de la zona, con la finalidad de ofrecer una alternativa segura para la atención primaria de salud(3,8).

Ocimum micranthum y *Eupatorium odoratum* son especies nativas presentes tradicionalmente en la Isla de Muisne, las cuales no presentan estudios previos en Ecuador. Sin embargo, se han encontrado diversas investigaciones enfocadas en el análisis y en la identificación de propiedades de aceites esenciales de ambas especies (9), estudios realizados en el noreste de Brasil y Nigeria, respectivamente.

Ocimum micranthum pertenece a la familia *Lamiaceae*. Se localiza en las Antillas, Florida, México, Isla Galápagos, Centro y Sudamérica y se encuentra en lugares rocosos, abiertos y arenosos, crece de forma silvestre en climas húmedos y cálidos (3,10).

Eupatorium odoratum pertenece a la familia *Asteraceae*, es arbusto muy ramoso que crece de forma abundante en África, Asia, Australia, América Central y del Sur, también está distribuido en zonas tropicales y subtropicales del mundo (3,11).

El objetivo de esta investigación fue, en primer lugar, realizar el estudio etnobotánico de *Ocimum micranthum* y *Eupatorium odoratum* de la isla de Muisne con la finalidad de revitalizar los usos tradicionales de estas especies. Por otro lado, se realizó el análisis farmacognóstico de ambas especies a través de ensayos botánicos y físicoquímicos con el propósito de determinar la calidad del material vegetal y conocer los metabolitos presentes en ellas. Con esta investigación se pretendió potenciar el conocimiento sobre la flora del Ecuador que pueda servir, a largo plazo, para el desarrollo de nuevos agentes fitoterapéu-

ticos.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Estudio etnobotánico: se realizó a través de la metodología de investigación etnobotánica decolonial denominada Revitalización Cultural la cual tiene como base teórica la “energía cultural”, entendida como la fuerza interna que promueve la vivencia, práctica y transmisión de la cultura desde los propios valores comunitarios. Es un método propio de la Investigación-Acción Participativa, que busca promover el autoreconocimiento del patrimonio cultural, así como la reflexión sobre los problemas y sus soluciones, en la lógica de la protección, conservación y uso social del bioconocimiento (12,13).

En primer lugar, se realizó un taller con la comunidad con la finalidad de reconocer los saberes sobre las plantas medicinales de la comunidad en el cual se estableció un diálogo de saberes intergeneracional. A continuación, las especies de interés fueron recolectadas para su identificación taxonómica. Realizado el reconocimiento taxonómico se procedió con la elaboración de un herbario comunitario siguiendo la metodología descrita por Flores (14) que implica el secado del material a una temperatura de 21 °C, en una prensa de madera por 30 días, montaje y colocación de etiquetas informativas siguiendo el protocolo descrito por Fernández, et.al(15). La información detalla: nombre común, nombre científico, sitio de recolección, ubicación (longitud, latitud y altitud), descripción y el uso social de los saberes.

Material vegetal: Se determinó la localización geográfica de ambas especies usando un GPS de marca GARMIN ETREX 10, se recolectaron manualmente el tallo y las hojas de ambas especies (*Ocimum micranthum* y *Eupatorium odoratum*) ubicadas en la Isla de Muisne de la provincia de Esmeraldas- Ecuador. Se procedió a recoger 1 kg de cada muestra fresca, las cuales fueron limpiadas con abundante agua y secadas en una estufa marca RE 115 a una temperatura de 21°C, durante 48 horas (3,16). La identificación de cada especie se realizó con la colaboración del Ing. Alfredo Lajones docente de la carrera de Agronomía de

la Universidad Luis Vargas Torres de la ciudad de Esmeraldas y el Ing. Jorge Caranqui encargado del Herbario de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (3).

Estudio Macro y Micromorfológico: Se realizaron manualmente cortes histológicos de cada especie, se situaron en el porta-objetos con una gota de agua destilada y fueron observados en un microscopio digital AMSCOPE de lente WF 20 X (3,17).

Estudios fisicoquímicos cuantitativos: Mediante el método gravimétrico se determinó el contenido de humedad, cenizas totales, cenizas solubles en agua, cenizas insolubles en ácido clorhídrico (3,18).

Estudios fisicoquímicos cualitativos: Con cada especie se prepararon los extractos etéreo, alcohólico y acuoso, siguiendo un gradiente de polaridad y realizando maceraciones de 24 horas. Una vez obtenidos los extractos se llevaron a cabo pruebas cualitativas de identificación de metabolitos basadas en coloración y/o precipitación: Shinoda, Dragendorff, Wagner, Mayer, ensayo de Fehling, ensayo de espuma, cloruro férrico, etc. (3,18).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Usos etnobotánicos

Ocimum micranthum: se determinó que la población de la isla de Muisne usa tradicionalmente las hojas de esta planta para el resfriado (infusión), como condimento en las comidas y para erradicar las flatulencias. Mientras que las semillas se utilizan para curar las cataratas (3).

En Mexico, las hojas se usan tradicionalmente para el tratamiento de disentería, parálisis, reumatismo, enfermedades mentales y epilepsia. Por otro lado, se utilizan en forma de baños afecciones tópicas (granos y llagas), actúa como regulador menstrual y en problemas digestivos como náuseas, ardor, pesadez y dolor de estómago (3,19).

Eupatorium odoratum: Tradicionalmente es usada en la zona de Muisne para el “malaire”, de

manera que al individuo se le debe “latigear” con las ramas por todo el cuerpo desde la cabeza hasta los pies, durante un lapso de tres días. Los cogollos se usan en infusión, para el tratamiento de resfriados (3).

En la Costa del Pacífico Colombiano, esta especie se emplea para dolores reumáticos (baños aromáticos) y para las flatulencia intestinal en forma de infusión (20). Estudios demuestran que la infusión de las hojas de *E. odoratum* se usan contra el paludismo e inflamaciones (21).

Descripción macromorfológica

Ocimum micranthum: Es considerada como hierba aromática anual o de poca duración, conocida como maleza ambiental y agrícola, y puede llegar a tener una altura de 40 hasta 60 cm. Está formada por tallo erecto, ramificado, sin pelos de color rojizo a púrpura. Las hojas son de tamaño pequeño con sabor picante y astringente, muestra coloración más clara en la cara inferior que en la superior, son elípticas a ovaladas y dentadas, miden entre 3 a 5 cm de largo, con pecíolos delgados (3,19,22,23).

Su inflorescencia es numerosa y se ubica en forma ascendente en las puntas de los tallos, forma generalmente un racimo con seis flores. El cáliz tiene forma de un tubo aplanado, es gamosépalo. La corola es de color blanca o lila clara, está constituida por pétalos unidos, el ápice se divide en dos labios y uno de ellos se divide en cuatro lóbulos. Las semillas y el fruto presentan una estructura lisa de color café y se encuentran dentro del cáliz, se divide en cuatro segmentos obovoides (3,23).

Eupatorium odoratum: A esta especie se le identifica como una maleza, se encuentra de forma perenne en los campos, crece rápidamente y puede llegar a medir entre 1.5 a 3 m de altura. Sus raíces son abundantes, delgadas y amarillentas, el tallo es de color verde amarillento, es ramificado con abundantes pelillos, a veces sus ramas son algo trepadoras y muy largas (3,11).

Las hojas desprenden un olor acre aromático cuando son destruidas, presentan en sentido opuesto, son puntiagudas con dientes grandes y

triangulares a ovadas, miden hasta 5 cm de ancho y 10 cm de largo, con pecíolos de hasta 1 a 4 cm de largo. Las flores son tubulares de color azul o blanca rosa están formadas por panículas de 10 a 30 flores que se encuentran en los extremos de las ramas, las semillas son de coloración negruzca, tiene forma de aquenios, en el ápice muestra una estructura de cerdas rígidas, cubierta de pelillos y gruesa (3,11).

Descripción micromorfológica

Ocimum micranthum

Corte transversal del tallo: En la figura 1 se puede observar la presencia de la capa celular externa denominada epidermis la cual está cubierta de cutícula, cuya función es protección de los órganos internos. Debajo de ésta se observa la corteza y médula formadas por células parenquimáticas poliédricas, las cuales son las células más abundantes en la planta (3,24).

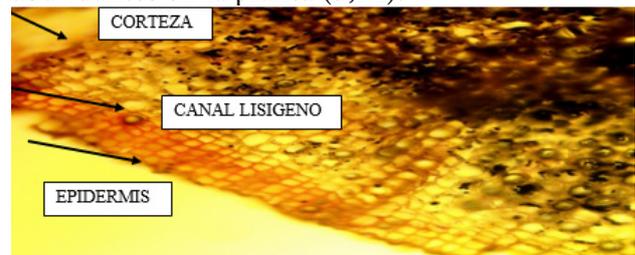


Figura 1. Tallo *Ocimum micranthum* (corte transversal)

Corte longitudinal del tallo: se identifica el córtex formado por células parenquimáticas, además se observan los tejidos conductores denominados xilema y floema. En el caso del xilema, se observan las tráqueas que son estructuras pluricelulares que permiten el transporte de la savia bruta desde la raíz hacia el resto de órganos de la planta. En el caso del floema se observan los vasos cribosos encargados del transporte de savia elaborada (Figura 2) (3,24).

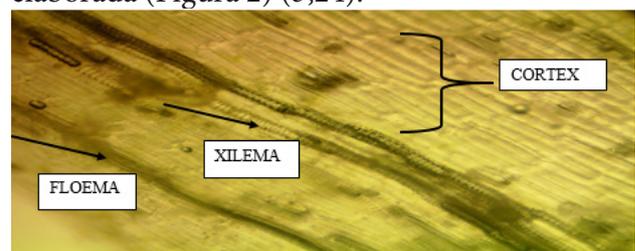


Figura 2. Tallo *Ocimum micranthum* (corte longitudinal)

Corte en la hoja: presenta células parenquimáticas que contienen cloroplastos, además se ob-

servan estomas, estructuras anexas a la epidermis que utilizan las plantas para el intercambio gaseoso. En los estomas se observa claramente la estructura central llamada ostiolo y las células oclusivas que rodean al mismo. Se observa la coloración verdosa de las células debido a la presencia de cloroplastos que contienen el pigmento vegetal llamado clorofila (Figura 3) (3,24).

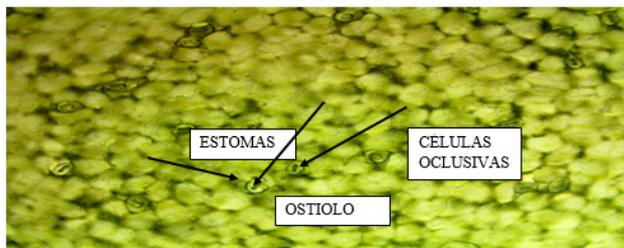


Figura 4. Hoja de *Ocimum micranthum*

Eupatorium odoratum

Corte transversal del tallo: en la parte más externa se observa una fina capa de color rojiza constituida de cutina y de la cual también sale pelos protectores llamados tricomas. La epidermis está formada por células alargadas unidas entre sí. Además, se observa el córtex formado por células parenquimáticas. En la zona central también se pueden observar los haces vasculares que transportan savia. (Figura 4) (3,24).

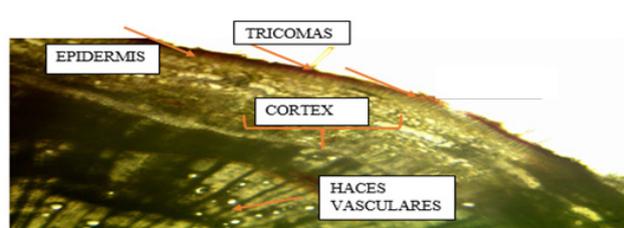


Figura 4. Tallo *Eupatorium odoratum* (corte transversal)

Corte longitudinal del tallo: de forma similar que, en su corte transversal, se observó la cutícula y tricomas en la parte más externa. En la zona central se observaron tanto tráqueas (xilema) como vasos cribosos (floema), los cuales también están rodeados de parénquima que constituye el córtex (Figura 5) (3,24).

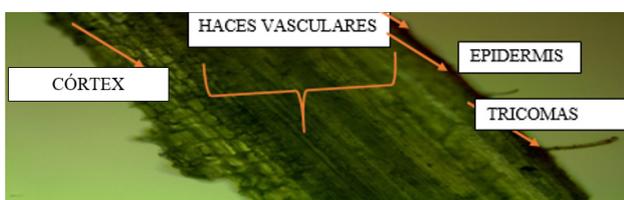


Figura 5. Tallo *Eupatorium odoratum* corte longitudinal

Corte en la hoja: presenta una delgada capa de cutícula la misma que cubre a las células epidérmicas, además de una médula central desarrollada, compuesta de los haces vasculares y unas estructuras estomáticas (Figura 6) (3,24).

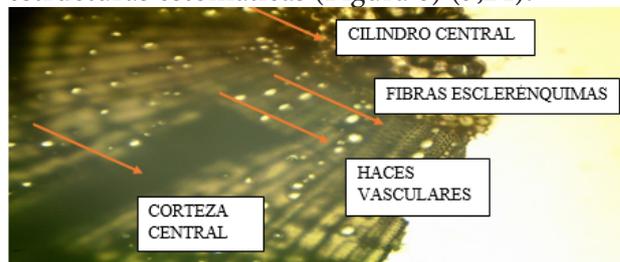


Figura 6. Corte de la hoja de *Eupatorium odoratum*

Estudios fisicoquímicos cuantitativos de *Ocimum micranthum*

En la tabla 1, se observa que el porcentaje de cenizas totales en las hojas de *Ocimum micranthum* fue de 4.82 % y las cenizas solubles en agua e insolubles en ácido clorhídrico tuvieron valores de 2.02 % y 2.54 %, respectivamente. Estos porcentajes se encuentran dentro de los límites establecidos, a excepción del resultado de cenizas ácido insolubles, cuyo valor es relativamente alto en relación a la normativa, la cual determina como valor máximo 1 %, indicando que la especie vegetal tenía alto contenido tierra silíceo y arena (24). El contenido de humedad obtenido en la materia prima fue de 10.77 %, porcentaje que se encuentra dentro los niveles permitidos que evitan la degradación de la droga vegetal (3,25).

Parámetros	Resultados (%)	Referencia Farmacopea Española
Cenizas totales	4.82 ± 0.1301	Máximo 5%
Cenizas solubles en agua	2.02 ± 0.0360	Máximo 2%
Cenizas insolubles en ácido clorhídrico	2.52 ± 0.0493	Máximo 1%
Contenido de humedad %	10.77 ± 0.0680	Máx 14%

Tabla 1. Características fisicoquímicas de la materia prima de *Ocimum micranthum*

En la tabla 2, se observan los resultados de *Eupatorium odoratum*, especie que muestra porcentaje de cenizas totales de 4.38 %, cenizas solubles en agua de 1.88 % y cenizas insolubles en ácido clorhídrico 0.90 %; valores similares a los obtenidos por (Debashisha P et al 2010. pp. 123-124). El contenido de humedad fue de 12.23 %. Tanto los resultados de humedad como de cenizas se encuentran dentro de los rangos establecidos por la normativa (3,25).

Parámetros	Resultados	Referencia Farmacopea Española
Cenizas totales %	4.38 ± 0.0351	Máx 5%
Cenizas solubles en agua %	1.88 ± 0.0361	Máx 2%
Cenizas insolubles en ácido clorhídrico %	0.90 ± 0.0300	Máx 1%
Contenido de humedad %	12.24 ± 0.0456	Máx 14%

Tabla 2. Características fisicoquímicas de la materia prima de *Eupatorium odoratum*

Estudios fisicoquímicos cualitativos *Ocimum micranthum*

En la tabla 3, se observan los metabolitos identificados en *Ocimum micrathum*. En los diferentes extractos se observa la ausencia de quinonas, se evidencia la presencia de metabolitos secundarios como aceites, saponinas, lactonas, cumari-

nas, triterpenos, esteroides, azúcares reductores, resinas, aminoácidos libres o aminas y mucílagos. Se observa cualitativamente mayor cantidad de familias fitoquímicas como: alcaloides, catequinas, fenoles, taninos, flavonoides, y principios amargos y astringentes. Los metabolitos secundarios identificados cualitativamente en el tamizaje fitoquímico de las hojas de *Ocimum micranthum* concuerdan con estudios realizados a diferentes especies del género *Ocimum* (3,26).

El análisis cualitativo de los metabolitos de la especie vegetal *Ocimum micranthum* se relacionó con el uso etnobotánico pudiendo asociar probablemente la presencia de alcaloides y flavonoides en la disminución de los cuadros febriles, dolor de cabeza y de oído (3,27).

Determinación de metabolitos	Indicadores	Tipo de extracto		
		ETÉREO	ALCOHÓLICO	ACUOSO
SUDAN (Aceites - grasas)	Coloración roja (+)	(+)		
BALJET (Lactonas - cumarinas)	Rojo (++) Precipitado rojo (+++)	(+)	(+)	
DRAGENDORFF (Alcaloides)	Opalescencia (+)	(+++)	(++)	(++)
WAGNER (Alcaloides)	Turbidez definida (++)	(+)	(+)	(+++)
MAYER (Alcaloides)	Precipitado (+++)	(+)	(+++)	(+++)
LIEBERMANN BURCHARD (Triterpenos- esteroides)	Rosado-azul Verde intenso Verde oscuro negro (+)	(+)	(+)	
CATEQUINAS	Mancha verde carmelita (+)		(++)	
RESINAS	Precipitado (+)		(+)	
FEHLING (Azúcares reductores)	Rojo Precipitado rojo (+)		(+)	(+)
CLORURO FÉRRICO (Fenoles -taninos)	Rojo vino Verde intenso Azul (+)		(++)	(++)
ESPUMA (Saponinas)	Presencia de espuma por más de 2 minutos.		(+)	(++)
NINHIDRINA (Aminoácidos libres o aminas)	Azul violáceo (+)		(+)	
BORNTRAGER (Quinonas)	Rosado (++) Rojo (+++)		(-)	
SHINODA (Flavonoides)	Amarillo - Naranja Carmelita o Rojo (+)		(+)	(++)
ANTOCIANIDINAS (Secuencias de grupos de flavonoides)	Rojo (++) Marrón (+++)		(++)	
MUCÍLAGOS	Consistencia gelatinosa (+)			(+)
PRINCIPIOS AMARGOS Y ASTRINGENTES				(+++)

Tabla 3. Tamizaje fitoquímico de *Ocimum micranthum* (3)
Interpretación: Negativo (-), Baja evidencia (+), Evidencia (++) , Alta evidencia (+++)

En la tabla 4, se observó que *Eupatorium odoratum* presentó un bajo contenido de aceites, grasas, resinas, azúcares reductores, aminoácidos libres, mucílagos triterpenos, y esteroides.

No hay evidencia de lactonas ni cumarinas en el extracto etéreo ni alcohólico. Se observan fenoles, taninos, saponinas, principios astringentes y secuencias de grupos de flavonoides(3,28).

Se destacó la presencia de compuestos secundarios como flavonoides, catequinas, quinonas y alcaloides en los extractos etéreo, alcohólico y acuoso. De acuerdo a los resultados obtenidos de *Eupatorium odoratum* en el tamizaje fitoquími-

co, coinciden con los descriptos por Germosen y Debashisha, et.al. (3,29,30), a excepción de la presencia de mucílagos, aminoácidos libres y saponinas que en el presente análisis dio positivo. Es importante mencionar, que la composición química de los metabolitos secundarios de una especie vegetal varía dependiendo a ciertos factores como: el lugar donde fue realizada la recolección, las condiciones climáticas, el suelo, la época del año e incluso las técnicas de cultivo aplicadas (3,31,32). El análisis cualitativo de los metabolitos de *Eupatorium odoratum* se pudo relacionar con su uso etnobotánico como antiinflamatorio, pudiendo asociar, posiblemente, la presencia de flavonoides con esta actividad (3,27)

Determinación de metabolitos	Indicadores	Tipo de extracto		
		ETÉREO	ALCOHÓLICO	ACUOSO
SUDAN (Aceites - grasas)	Coloración roja (+)	(+)		
BALJET (Lactonas - cumarinas)	Rojo (++) Precipitado rojo (+++)	(-)	(-)	
DRAGENDORFF (Alcaloides)	Opalescencia (+)	(+++)	(++)	(+++)
WAGNER (Alcaloides)	Turbidez definida (++)	(+)	(+)	(+)
MAYER (Alcaloides)	Precipitado (+++)	(+)	(++)	(++)
LIEBERMANN BURCHARD (Triterpenos- esteroides)	Rosado-azul Verde intenso Verde oscuro negro (+)	(+)	(+)	
CATEQUINAS	Mancha verde carmelita (+)		(+++)	
RESINAS	Precipitado (+)		(+)	
FEHLING (Azúcares reductores)	Rojo Precipitado rojo (+)		(+)	(+)
CLORURO FÉRRICO (Fenoles -taninos)	Rojo vino Verde intenso Azul (+)		(++)	(++)
ESPUMA (Saponinas)	Presencia de espuma por más de 2 minutos.		(+)	(++)
NINHIDRINA (Aminoácidos libres o aminas)	Azul violáceo (+)		(+)	
BORNTRAGER (Quinonas)	Rosado (++) Rojo (+++)		(+++)	
SHINODA (Flavonoides)	Amarillo - Naranja Carmelita o Rojo (+)		(+++)	(+++)
ANTOCIANIDINAS (Secuencias de grupos de flavonoides)	Rojo (++) Marrón (+++)		(++)	
MUCÍLAGOS	Consistencia gelatinosa (+)			(+)
PRINCIPIOS AMARGOS Y ASTRINGENTES				(++)

Tabla 4. Tamizaje fitoquímico de los diferentes extractos de *Eupatorium odoratum* (3)
Interpretación: Negativo (-), Baja evidencia (+), Evidencia (++) ,Alta evidencia (+++)

Cabe añadir que la presencia de metabolitos secundarios en las plantas son una estrategia ecológica de supervivencia frente al ambiente que les rodea. Los alcaloides son compuestos nitrogenados generalmente tóxicos y amargos que con-

tribuyen en la defensa frente a parásitos o predadores herbívoros. Los compuestos fenólicos otorgan a las plantas protección frente a agentes oxidantes evitando así la alteración de las estructuras vegetales internas (28).

IV. CONCLUSIONES

En primer lugar, este estudio permitió reconocer los usos etnobotánico de *Ocimum micranthum* y *Eupatorium odoratum*, a través de la aplicación de la metodología de Revitalización Cultural en la isla de Muisne, siendo ambas usadas tradicionalmente para afecciones respiratorias.

Por otro lado, en los tamizajes fitoquímicos realizados se evidencia que *Ocimum micranthum* presenta aceites, saponinas, lactonas, cumarinas, triterpenos, esteroides, azúcares reductores, resinas, aminoácidos libres o aminos y mucílagos. *Eupatorium odoratum* presenta aceites, grasas, resinas, azúcares reductores, aminoácidos libres, mucílagos triterpenos, y esteroides. Este estudio representan un punto de partida para estudios posteriores en la identificación de actividades farmacológicas en beneficio de la salud humana.

Además mediante esta investigación se evidenció que las dos especies, nativas de Ecuador cumplen con los estándares de calidad establecida por

normativas internacionales.

Finalmente, con este estudio se pudo relacionar el uso tradicional de estas especies con la presencia de determinados metabolitos, favoreciendo así la sistematización de los saberes ancestrales hacia el conocimiento científico, lo cual a largo plazo permita la elaboración de productos fitoterapéuticos que permitan el desarrollo económico la isla de Muisne y sus habitantes.

V. AGRADECIMIENTOS

Estudio dedicado al pueblo de Muisne, gracias por su calidez y acogida siempre. Se agradece a la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo por la facilidad de uso de las instalaciones, materiales y reactivos necesarios para el desarrollo de esta investigación. Gracias a la Ing. Patricia Tierra por su apoyo en el componente etnobotánico de la investigación. Se hace un especial agradecimiento a Linver Nazareno, coordinador del Grupo Cultural Flor de Mangle por su colaboración en el establecimiento de contactos para la realización de este estudio.

Referencias

1. Núñez IA, Mora N, Expósito J, Rodríguez O. ODONTOFIT: multimedia educativa sobre plantas medicinales y medicamentos herbarios de uso estomatológico. MEDISAN. 2014;18: 1362-1369
2. Toscano JY. Uso tradicional de plantas medicinales en la Vereda San Isidro, Municipio de San José de Pare-Boyacá: Un estudio preliminar usando técnicas cuantitativas. Acta Biológica Colombiana. 2006;11: 137-146
3. Zapata V. Estudio etnobotánico y farmacognóstico de especies vegetales en la Isla de Muisne (Esmeraldas). [Tesis]. Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 217.
4. Bernal HY, Garcia H, Quevedo F. Pautas para el conocimiento, conservación y uso sostenible de las plantas medicinales nativas en Colombia. Estrategia Nacional para la Conservación de Plantas [Internet]. 2011; 1: 17-236.. Disponible en: <http://www.terrabrasil.org.br/ecotecadigital/pdf/pautas-para-el-conocimiento-conservacion-y-uso-sostenible-de-las-plantas-medicinales-nativas-en-colombia.pdf>
5. Ansaloni R, Wilches I, León F, Orellana A, Tobar V, Witte P De, et al. Estudio Preliminar sobre Plantas Medicinales Utilizadas en Algunas Comunidades de las Provincias de Azuay , Cañar y Loja , para Afecciones del Aparato Gastrointestinal. Rev Tecnológica ESPOL [Internet]. 2010;23(1):89–97. Disponible en: [http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/40/12%5Cnfile:///C:/Users/Sony-PC/Desktop/Cursos 2013/Curso escritura articulo/Revision bibliografica/Para el art/Estudio preliminar de plantas medicinales utilizadas Azuay, Ca?a y Loja.pdf%5Cnhtt](http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/40/12%5Cnfile:///C:/Users/Sony-PC/Desktop/Cursos%202013/Curso%20escritura%20articulo/Revision%20bibliografica/Para%20el%20art/Estudio%20preliminar%20de%20plantas%20medicinales%20utilizadas%20Azuay,%20Ca%C3%A1r%20y%20Loja.pdf%5Cnhtt)
6. Zambrano-Intriago LF, Buenaño-Allauca MP, Mancera-Rodríguez NJ, Jiménez-Romero E. Estudio etnobotánico de plantas medicinales utilizadas por los habitantes del área rural de la Parroquia San Carlos, Quevedo, Ecuador. Univ y Salud. 2015;17(1):97–111.
7. Guerrero, G. Gobierno declara a Muisne altamente vulnerable y retira entidades públicas. El Universo [Internet]. 2016 [citado 29 diciembre 2019]. Disponible en: <http://www.eluniverso.com/noticias/2016/07/13/nota/5687601/gobierno-declara-muisne-altamente-vulnerable-retira-entidades>.
8. Popović Z, Matić R, Bojović S, Stefanović M, Vidaković V. Ethnobotany and herbal medicine in modern complementary and alternative medicine: An overview of publications in the field of I&C medicine 2001-

2013. J Ethnopharmacol [Internet]. 2016;181:182–92. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jep.2016.01.034>
9. Neveen, Helmy Abou El-Soud Mohamed D, El-Kassem LA, Khalil M. Chemical composition and antifungal activity of *Syzygium aromaticum* L. essential oil. Iran J Med Aromat Plants. 2017;33(4):552–61.
 10. Morataya M. Caracterización Farmacopéica de cuatro plantas aromáticas nativas de Guatemala Al-bahaca de monte (*Ocimum micranthum*), Orégano (*Lippia graveolens*), Salvia sija (*Lippia alba*) y Salviyá (*Lippia chiapasensis*). [Tesis]. Guatemala: Universidad de San Carlos. 2006: 3-4.
 11. Thapa R, Wongsiri S. Eupatorium odoratum: a honey plant for beekeepers in Thailand . Bee World. 1997;78(4):175–8.
 12. Torres V. Manual de revitalización cultural comunitario. Comunidec. 1994: 18-55.
 13. Flores J. El Proyecto de Revitalización, Mantenimiento y Desarrollo Lingüístico y Cultural: resultados y desafíos. Estudios de Lingüística Aplicada. 2011;29(53):117–38.
 14. Cascante A. Guía para la recolecta y preparación de muestras botánicas. Herbario Nacional, Museo Nacional de Costa Rica, San José, Costa Rica [Internet]. 2008. p. 10. Disponible en: <http://www.museocostarica.go.cr/herbario/pdf/Guia-para-recolectar.pdf>
 15. Carvajal C, Díaz T. Guía para la elaboración del herbario escolar. Departamento de Biología de Organismos y Sistemas [Internet]. 2008;1–6. Disponible en: <http://www.unioviado.es/bos/Herbario/PrepararHerbario/PrepararHerbario.htm>
 16. García H, Martínez C, Martín N, Sánchez L. Metodología de Investigación Avanzada. La revista [Internet]. 2013;1–20. Disponible en: http://www.uca.edu.sv/mcp/media/archivo/f53e86_entrevistapdfcopy.pdf
 17. Gattuso M, Gattuso S. Manual de procedimientos para el análisis de drogas en polvo. CYTED. 1999;1:87.
 18. Miranda M, Cuellar A. Manual de Prácticas del Laboratorio de Farmacognosia y Productos Naturales. Instituto de Farmacia y Alimentos. Univ La Habana, Cuba. 2000;3–7.
 19. Can-Sulu C. *Ocimum campechianum* (Lamiaceae): su uso en la medicina tradicional. Herb CICY. 2015;34:31–4.
 20. Meléndez E. Plantas medicinales de Puerto Rico: folklore y fundamentos científicos [Internet] 1982;498. Disponible en: http://books.google.com/books?id=HE4_rUq8hJAC&pgis=1
 21. Blair S, Madrigal B. Plants antimalaricas de Tumaco: Costa Pacífica Colombiana. Universidad de Antioquia 2005;2021.
 22. Albuquerque U, Andrade L. El género *Ocimum* L.(Lamiaceae) en el nordeste del Brasil. Anales Jardín Botánico de Madrid [Internet]. 1998;56(1):43–64. Disponible en: <http://rjb.revistas.csic.es/index.php/rjb/article/viewArticle/219>
 23. Flávius E, Sandes D. COLEÇÃO DIDÁTICA DE ACESSOS DO GÊNERO *Ocimum*. [Tesis]. Universidade de Brasília Universidade de Brasília. 2011.
 24. Wada M, Kong S-G. Atlas de histología vegetal y animal, Cloroplastos. J Cell Sci [Internet]. 2019;131(2):1–5. Disponible en: <https://mmegias.webs.uvigo.es/5-celulas/6-cloroplastos.php>
 25. González CE. Módulo de Farmacognosia. Universidad Nacional abierta y a distancia. 2008;1–123.
 26. Real Farmacopea Española. Madrid- España: Ministerio de Sanidad y Consumo 2002: 2803.
 27. Sharma V. Comparative Pharmacognostical and Phytochemical Evaluation of Different Species of *Ocimum*. Int J Phytopharm. 2012;1(2):43–9.
 28. Kuklinski C. Estudio de drogas y sustancias medicamentosas de origen natural. Farmacognosia. 2003: 106-183.
 29. Panda D, Dash SK, Dash GK. Qualitative phytochemical analysis & investigation of anthelmintic and wound healing potentials of various extracts of *Chromolaena odorata* Linn. collected from the locality of Mohuda village, Berhampur (South Orissa). Int J Pharm Sci Rev Res. 2010;1(2):122–6.
 30. Germosen L, Gomez H, Diaz F. Farmacopea Vegetal Caribeña. Fewtet. 2012;12–2424.
 31. Ríos S, Berkov S, Martínez V, Bastida J. Biogeographical patterns and phenological changes in *Lapiedra martinezii* Lag. related to its alkaloid diversity. Chem Biodivers. 2013;10(7):1220–38.
 32. Tallini LR, Bastida J, Cortes N, Osorio EH, Theoduloz C, Schmeda-Hirschmann G. Cholinesterase inhibition activity, alkaloid profiling and molecular docking of chilean *Rhodophiala* (Amaryllidaceae). Molecules. 2018;23(7).

EVALUACIÓN DE LOS EXTRACTOS ETANÓLICOS DE LAS HOJAS DE MORA Y MANGO EN EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DE CRUDOS PESADOS.

Evaluation of ethanolic extracts of mulberry and mango leaves in the dehydration process of heavy crude oils.

¹Hernán Tixi Toapanta , ¹Natalia Barahona Alvear* , ²Henry Garmendia 

¹Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias / Facultad de Mecánica, Riobamba, Ecuador.

²Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Laboratorio de Petróleo y Catálisis, Mérida, Venezuela.

*natalia.barahona@espoch.edu.ec

Resumen

En esta investigación se evaluaron los extractos etanólicos de hojas de mora y mango, como potenciales deshidratadores de crudos pesados. Los extractos fueron obtenidos por maceración con una mezcla 70:30 % vol. de etanol: agua. La efectividad fue determinada utilizando varias emulsiones acuosas, W/O, del 10 al 40% en volumen, de los crudos pesados, tipo Hamaca y Jobo, provenientes de la Faja Petrolífera del Orinoco. Las emulsiones fueron dosificadas con 100, 500, 1000, 1500 y 2000 $\mu\text{L/L}$ del extracto etanólico, agitadas, centrifugadas y separadas las fases. Los resultados mostraron que los desmulsificantes de mora y mango, poseen gran afinidad para deshidratar crudos pesados. El extracto de mango presentó mayor eficiencia en romper emulsiones, W/O, del crudo Jobo, mientras que el extracto de mora para el crudo Hamaca.

Palabras claves: Emulsiones W/O, crudos pesados, extractos etanólicos, hojas de mora y mango.

Abstract

In this research, ethanolic extracts of mulberry and mango leaves were evaluated as potential dehydrators of heavy crude oils. The extracts were obtained by maceration with a 70:30 % vol ethanol: water mixture. The effectiveness was determined using several aqueous emulsions, W/O, from 10 to 40% by volume, of heavy crudes, Hamaca and Jobo type, from the Orinoco Oil Belt. The emulsions were dosed with 100, 500, 1000, 1000, 1500 and 2000 $\mu\text{L/L}$ of the ethanolic extract, shaken, centrifuged and the phases separated. The results showed that the blackberry and mango demulsifiers have great affinity for dehydrating heavy crude oils. The mango extract presented greater efficiency in breaking emulsions, W/O, of Jobo crude oil, while the mulberry extract for Hamaca crude oil.

Keywords: Emulsion W/O, crude heavy oil, ethanol extract, mulberry leaves, mango leaves.

I. INTRODUCCIÓN

Los crudos pesados y extrapesados constituyen la base de las reservas de hidrocarburos en Ecuador y otros países de Latinoamérica (1). Estos crudos producidos contienen algunas impurezas como agua, sal y sedimentos. En el proceso de extracción y producción de estos crudos se genera la formación de emulsiones no deseadas (2,3). Estas emulsiones son del tipo W/O, es decir, agua en crudo y es un problema común en la industria petrolera (4). Además, estas emulsiones tienen una estabilidad que va desde unos minutos hasta años, dependiendo de la naturaleza del crudo y del contenido de agua. La solución a esto, es el uso de agentes químicos denominados desmulsificantes (3,5,6).

A nivel de campo el tratamiento químico que logra el rompimiento de una emulsión en fases de aceite y agua se conoce como desmulsificación (4,7,8,9). Desde el punto de vista del proceso, el productor de crudo está interesado en dos aspectos de la desmulsificación tales como, la velocidad de separación y la cantidad de agua remanente en el crudo después de la separación (5,10,11). Para este último aspecto, normalmente no pueden contener más de 0.5 % de agua y sedimentos (BS&W) y 10 lb de sal por mil barriles de crudo (PTB). Este bajo contenido de BS&W y sal es requerido para reducir la corrosión y depósitos de sales (12).

El proceso de desmulsificación se da en dos pasos: la floculación y la coalescencia (13). Cualquiera de estos pasos puede determinar la velocidad del proceso de separación (5,10,11).

Los aditivos químicos llamados desmulsificantes o rompedores de emulsión están diseñados para neutralizar el efecto emulsificante de los agentes que estabilizan la emulsión (14-17). En otras palabras, son compuestos de superficie activa, los cuales al ser agregados a la emulsión migran a la interfase crudo/agua, rompen o debilitan la película rígida y mejoran la coalescencia de las gotas de agua (7,18,19).

Existen diferentes clases de desmulsionantes en el mercado, como los copolímeros de polioxie-

tileno y polioxipropileno o las resinas de alquil-fenol-formaldehído, las aminas alcoxiladas o sus mezclas (8,20-22). Los esfuerzos actuales de investigación se centran en el desarrollo de desmulsionantes químicos rentables y respetuosos con el medio ambiente, caracterizados por una alta eficacia de separación del agua y una alta tasa de desmulsión, con el fin de cumplir con las especificaciones de las compañías petroleras (el corte de agua máximo permitido en el petróleo crudo suele ser del 0,1-0,5%). En este contexto, el uso de extractos etanólicos de plantas para la desestabilización de emulsiones w/o es una opción muy prometedora.

Los extractos etanólicos de materia vegetal contienen los grupos principales de saponinas, taninos, aceites esenciales, compuestos órgano-sulfurados y flavonoides. Estos metabolitos secundarios se han utilizado en diferentes áreas: medicamentos, saborizantes, pigmentos y drogas recreativas (9,23-26).

Los flavonoides y polifenoles presente en los extractos etanólicos de materia vegetal tienen propiedades desmulsificadoras. Dentro de estas, se encuentra las flavonas, isoflavonas y flavonoles. La presente investigación tiene como objetivo evaluar los extractos etanólicos de las hojas de mora y mango en el proceso de rompimiento de la emulsión W/O de los crudos pesados Hamaca y Jobo. Su efectividad representara una potencialidad en los procesos de deshidratación de crudos pesados y además tendrá un carácter ecológico y amigable al medio ambiente.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

La lista de materiales que se utilizaron para esta investigación incluía:

Crudos pesados Jobo y Hamaca (proveniente de la Faja Petrolífera del Orinoco, Venezuela), xileno (Merck, 99%), tolueno (Merck, 99%), etanol (Merck, 99,5%), agua destilada, hojas de mora y mango.

Equipo

Centrifuga (BenchMarks 2000, 2000 rpm máx)

Métodos

Obtención de los extractos etanólicos

La Figura 1, presenta el diagrama de flujo del proceso de obtención, de los extractos etanólicos de mora y mango. Las hojas de mora y mango se recolectaron, y transportaron al laboratorio, para el proceso de maceración y obtención de los extractos. Se inició con un lavado de las hojas y su posterior secado, por 48 horas, en una estufa a 50 °C.

Las hojas secas se molieron, y se procedió a macerarlas con una mezcla 70% etanol y 30% de agua. El tiempo de maceración fue de 10 días, con 2 agitaciones por día. Finalizada esta etapa, se procedió a separar a través de una membrana filtrante de 0.45 µm. El extracto etanólico obtenido se concentró en una unidad de destilación simple a 70 °C; se rotulo, para su evaluación posterior.

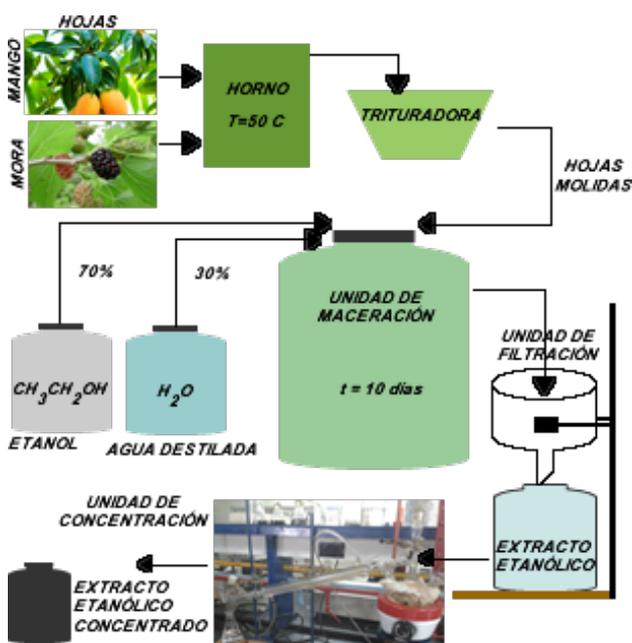


Figura 1. Diagrama del proceso de extracción etanólicos de hojas de mora y mango.

Preparación de las emulsiones sintéticas

Se prepararon emulsiones tipo W/O para los crudos pesados Hamaca y Jobo. La Figura 2 muestra la unidad de preparación de las emulsiones. Las condiciones de operación de agitación son 2000 rpm y 1 h de mezclado.

La Tabla 1 muestra las emulsiones W/O formuladas y su rotulación.

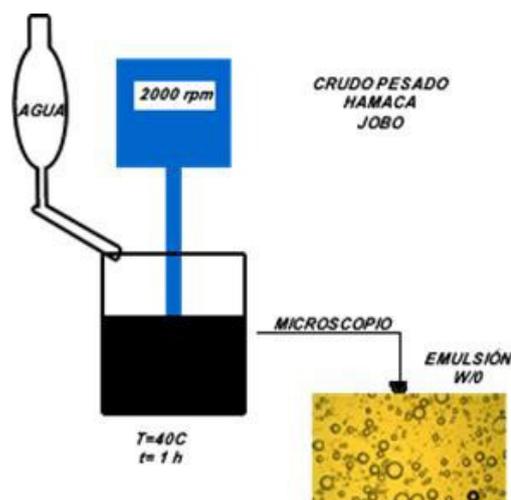


Figura 2. Proceso para la obtención de las emulsiones W/O.

	Contenido de Agua			
	10% v	20% v	30% v	40%v
Emulsión(w/o) crudo Hamaca(EH)	EH10	EH20	EH30	EH40
Emulsión(w/o) crudo Jobo(EJ)	EJ10	EJ20	EJ30	EJ40

Tabla 1. Emulsiones sintéticas W/O para los crudos Hamaca y Jobo.

Eficiencia de desmulsificación

El proceso de centrifugación permitió definir el contenido de agua y sedimentos de los crudos, siguiendo la norma ASTM D-4007. La eficiencia de separación de agua se calculó de la siguiente manera:

$$\% \text{Eficiencia} = \frac{\% \text{Agua separada}}{\% \text{Agua Emulsión}} \times 100 \quad (1)$$

Preparación de los desmulsificantes

La preparación de los diferentes desmulsificantes se realizó de la siguiente manera:

Se mide 9 ml de solvente (tolueno o xileno) y se trasvasa a un balón aforado de 10 ml, luego se enrasa con 1 ml de extracto de mora o mago. Se tapa el balón, se agita, hasta su homogenización y se rotula. La solución del desmulsificante fue al 10% v/v.

Ensayos de desmulsificación

Para los ensayos de evaluación de los extractos desmulsificantes a base de hojas de mora y mango, se procedió de la siguiente manera:

Se homogeniza el crudo emulsionado a ensayar. Se coloca en el tubo de centrifugación 50% de crudo emulsionado y 50% de solvente xileno o tolueno y se dosifica 100,500, 1000, 1500 y 2000 µL de desmulsificante a evaluar en los tubos de centrifugación, se tapa y agita. Luego, se coloca los tubos en el baño María, 60 °C por 10 min,

y después se transfieren los tubos a la centrifuga, por 10 min y 1500 rpm. Por último, se registran las lecturas de los % de volúmenes de agua y sedimentos, y el aspecto físico del agua que se separa de la emulsión, como turbia o clara, en las muestras.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de los crudos pesados

En la Tabla 2 se muestra la caracterización de los crudos pesados Hamaca y Jobo. Las propiedades de °API y viscosidad los clasifica como crudos pesados y extrapesados.

Propiedad	Valor	
	Hamaca	Jobo
°API	9,8	13,8
Carbón Conradson (%peso)	12,6	12,8
Contenido Asfáltico (%peso)	9,7	10,5
Azufre (%peso)	4,28	3,18
Contenido (V+Ni) ppm	547	319
Viscosidad, cP		
@ 40°C	8745	5439
@ 60°C	2346	1280

Tabla 2. Caracterización de los Crudos Pesados Hamaca y Jobo

Efecto desmulsificante del extracto etanólico de mora

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la dosificación del desmulsificante de mora en las diferentes emulsiones sintéticas W/O, de los crudos pesados Hamaca y Jobo.

Caso crudo pesado Hamaca

La Figura 3 muestra el efecto de la dosificación del desmulsificante extracto etanólico de mora, en el % de eficiencia de separación del agua, presente en las diferentes emulsiones W/O, del crudo pesado Hamaca.

Se puede observar que a medida que incrementa la dosificación del desmulsificante, la eficiencia de separación de agua aumenta para todas las emulsiones W/O, estudiadas.

Las emulsiones EH10 y EH20, presentan un comportamiento parecido en la remoción del agua, con respecto a la variación de la dosificación del desmulsificante. Este hecho, puede deberse a que esta relación W/O, las gotas de agua

están bastante mono dispersas y en un tamaño pequeño casi igual, que no permite romper la interfase W/O en mayor proporción, para lograr una mayor eficacia de separación.

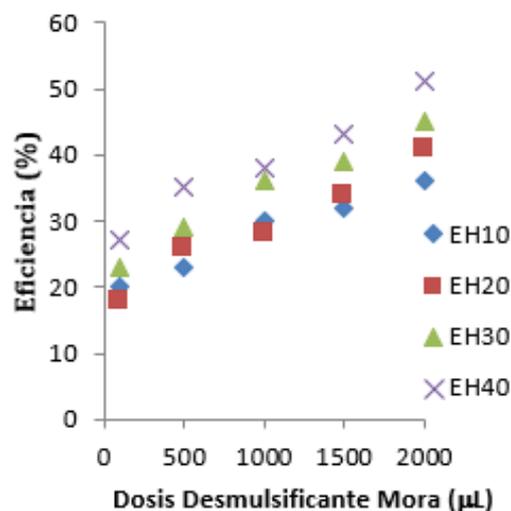


Figura 3. Efecto de la dosificación del desmulsificante de mora en función de la eficiencia de separación del agua en las diferentes emulsiones (W/O) del crudo pesado Hamaca

Mientras que para las emulsiones EH30 y EH40, se obtiene una mayor separación de agua, probablemente porque estas emulsiones contienen mayor polidispersidad de gotas, es decir, entre gotas grandes y pequeñas, que permite la adsorción del desmulsificante en la interfase W/O, facilitando mayor unión de gotas de agua y a su vez un incremento de la coalescencia del mismo.

Por lo tanto, a mayor contenido de agua en la emulsión la eficiencia de separación incrementa ya que disminuye la relación volumen de crudo en agua y el desmulsificante tiene una mayor ventaja de posicionarse en la interfase y reducir su interacción o romper la emulsión W/O, para separar el agua presente en la fase continua.

Caso crudo pesado Jobo

La Figura 4, muestra el efecto de la dosificación del demulsificante, extracto etanólico de mora, en el % de eficiencia de separación del agua, presente en las diferentes emulsiones W/O del crudo pesado Jobo.

Se puede observar que al aumentar la dosificación del demulsificante, extracto etanólico de mora, la eficiencia de separación de agua incrementa para todas las emulsiones W/O, estudiadas.

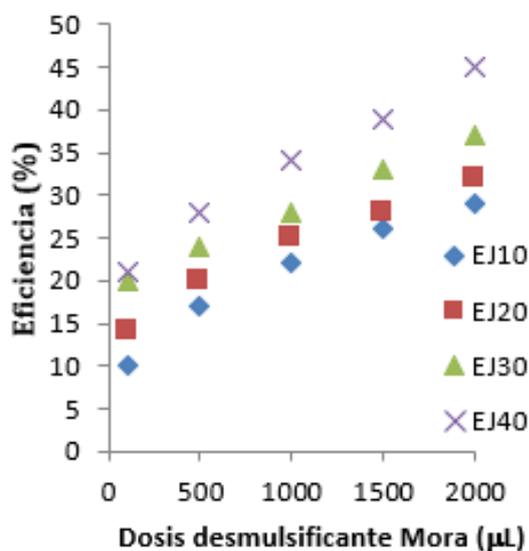


Figura 4. Efecto de la dosificación del desmulsificante de mora en función de la eficiencia de separación de agua en las diferentes emulsiones (W/O) del crudo pesado Jobo.

Las emulsiones EJ10, EJ20 y EJ30 tienen un comportamiento similar, esto es, que a medida que aumenta el contenido acuoso en la emulsión, la separación se incrementa; pero si se compara el incremento de agua separada resulta que es muy cercana, este hecho puede deberse a que la emulsión W/O quedó más mono dispersa que no permite una mayor interacción gota a gota, y el desmulsificante no logra posicionarse en la interfase W/O, que permita un mayor rompimiento de la emulsión; mientras que la emulsión EJ40 por su alto contenido de agua y posiblemente presentar una mayor polidispersidad en tamaño de gotas de agua, permite que el demulsificante se coloque en la interfase y mejore el rompimiento de la emulsión.

Por consiguiente, se logró el rompimiento de la emulsión W/O del crudo Jobo, y es de notar que el agua separada fue clara.

Efecto desmulsificante del extracto etanólico de mango

Caso crudo pesado Hamaca

La Figura 5, muestra el comportamiento de la dosificación del demulsificante, extracto de mango, en el rompimiento de las emulsiones W/O del crudo Hamaca. Se puede observar que a medida que aumenta la dosis del demulsificante la eficiencia de separación del agua se incrementa.

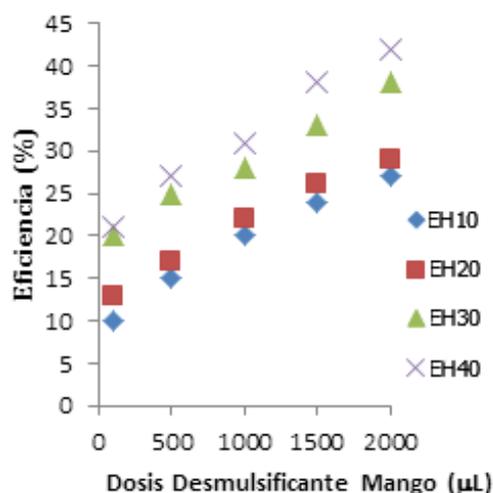


Figura 5. Efecto de la dosificación del desmulsificante de mango en función de la eficiencia de separación de agua en las diferentes emulsiones (W/O) del crudo pesado Hamaca.

Las emulsiones EH10 y EH20 presentan un comportamiento análogo en el rompimiento de la emulsión, posiblemente debido a que las gotas de aguas son de tamaño pequeño y monodispersas, lo cual hace que disminuya la interacción entre gotas. El desmulsificante disminuye su actividad al no inhibir o eliminar las fuerzas de presión que se ejerce en la interfase agua-crudo, resultando en un bajo rompimiento de la emulsión W/O.

Por el contrario, observando las emulsiones EH30 y EH40 su comportamiento de desmulsificación son parecidas, esto es debido al alto contenido de agua. La distribución de gotas está polidispersa, mejorando la interacción entre gotas y el extracto de mango que logra una mayor efectividad en el rompimiento de dichas emulsiones.

Caso crudo pesado Jobo

La Figura 6, muestra el comportamiento lineal de la dosis del demulsificante, extracto de mango, para las diferentes emulsiones W/O del crudo pesado Jobo, en función de la eficiencia de separación de agua. Se observa que a medida que aumenta la dosificación del demulsificante, la eficiencia de separación del agua también incrementa. Las emulsiones EJ10, EJ20 y EJ30 presenta un comportamiento semejante en la separación del contenido de agua, quizá se deba a que el contenido de agua en la emulsión presenta cierta monodispersión de gotas que hace que la interacción entre gotas se minimice y el demulsificante reduzca su acción de romper dichas emulsiones.

Mientras que, la emulsión EJ40 muestra un com-

portamiento diferente, que puede deberse a que, el contenido de agua en la emulsión W/O presenta una polidispersidad de las gotas de agua, que resulta en mejor interacción entre ellas. El agente desmulsificante mejora su eficacia de separación ya que, logra posicionarse en la interfase agua-crudo y reducir o eliminar esta para efectuar la coalescencia del agua.

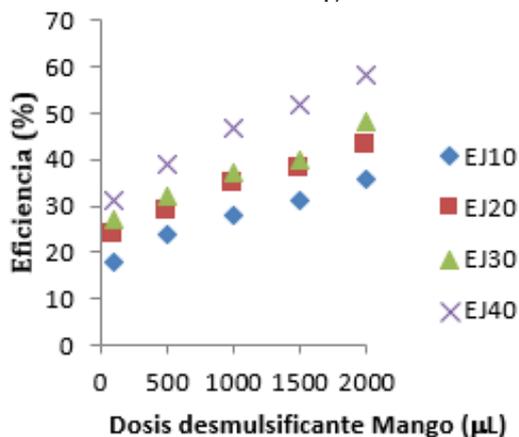


Figura 6. Efecto de la dosificación del desmulsificante de mango en función de la eficiencia de separación de agua en las diferentes emulsiones (W/O) del crudo pesado Jobo.

Evaluación comparativa de los extractos etanólicos de mora y mango

Para clarificar el efecto del tamaño de la gota en el grado de estabilidad de la emulsión, se tomó en consideración la Figura 7, dónde se muestra la estabilidad o inestabilidad de una emulsión W/O, en función de la igualdad en el tamaño de la gota. Si la emulsión es estable, los demulsificantes ejercerán poca fuerza para romper la emulsión, mientras que si los tamaños de gotas en la emulsión W/O son variables, genera mayor interacción entre ellas, lo cual mejora la efectividad del desmulsificante.

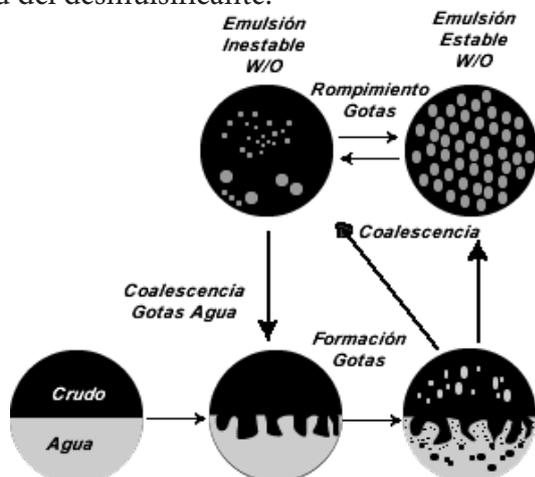


Figura 7. Esquema del efecto que tiene el tamaño de gota en las emulsiones W/O.

Las Figuras 8 a 11 muestran los resultados obtenidos al comparar las diferentes dosificaciones extractos etanólicos de mora y mango en la efectividad de separación del contenido de agua presente en las diferentes emulsiones W/O para los dos crudos pesados Hamaca y Jobo.

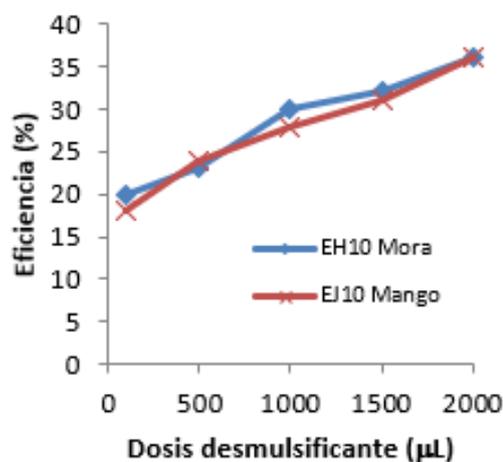


Figura 8. Efecto de la dosificación del desmulsificante de mora y mango en función de la eficiencia de separación del agua para la emulsión (W/O) 10:90 %vol., en crudos Hamaca y Jobo.

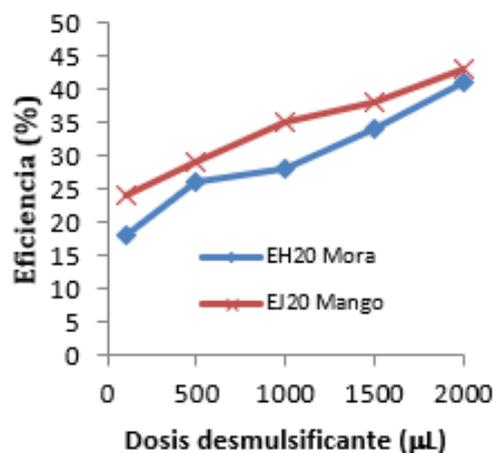


Figura 9. Efecto de la dosificación del desmulsificante de mora y mango en función de la eficiencia de separación del agua para la emulsión W/O, 20:80 %vol., en crudos Hamaca y Jobo.

Se observa que el desmulsificante de mora y mango presenta un comportamiento semejante en la eficiencia de separación del contenido de agua como se muestra en las Figuras 8 y 10.

Mientras que, en las Figuras 9 y 11 se observa que el extracto de mango tiene una mayor eficiencia de separación del contenido de agua en el crudo pesado Jobo con respecto al crudo Hamaca.

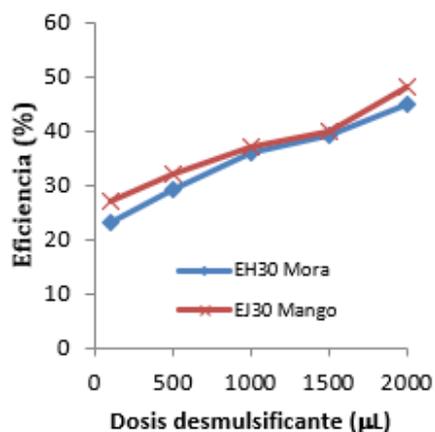


Figura 10. Efecto de la dosificación del desmulsificante de Mora y Mango en función de la eficiencia de separación del agua para la emulsión W/O, 30:70 %vol, en crudos Hamaca y Jobo.

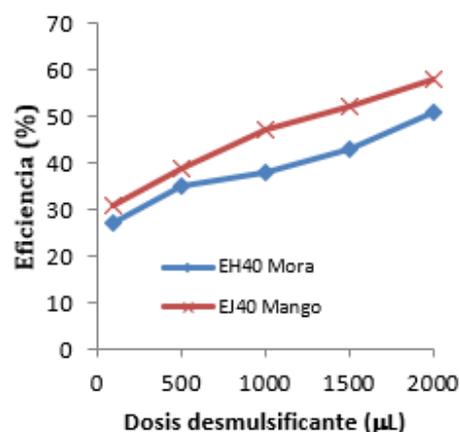


Figura 11. Efecto de la dosificación del desmulsificante de mora y mango en función de la eficiencia de separación de agua para la emulsión (W/O) 40:60 %vol. del agua, en crudos Hamaca y Jobo.

IV. CONCLUSIONES

Los resultados demostraron que los agentes deshidratante de extracto de mora y de extracto de mango tiene la afinidad de romper emulsiones agua en crudo W/O.

La eficiencia de separación de agua aumento a medida que la dosificación del desmulsificante de mora y mango incrementara.

El extracto de hojas de mango presenta una mayor actividad para desmulsificar el crudo pesado Jobo. Mientras que, el extracto de hojas de mora tiene una mayor actividad para el crudo pesado

Hamaca.

La separación de agua en el crudo pesado Jobo fue limpia, mientras que, en el crudo hamaca fue turbia.

La eficiencia de separación de agua se ve favorecida para los desmulsificante de mora y mango a altos contenidos de agua emulsionada en el crudo pesado.

Los formulados de mora y mango, tiene una gran potencialidad, en deshidratar crudos pesados con altos contenidos de agua emulsionada y además, son formulados ecológicos y con bajo impacto ambiental.

Referencias

- González C, Santiago J. Obtención y Caracterización de Fracciones SARA de Crudos Ecuatorianos de Diferente Procedencia. 2019; Tesis de Pregrado: Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Requeijo D, Ochoa A. Nuestro Petróleo a tu alcance. Editorial Biosfera. 2009.
- Al-Sahhaff TA, Fahim MA, Elsharkawy AM. Effect to inorganic solids, wax to asphaltene ratio and water cut on the stability of water-in-crude oil emulsions. J. Dis. Sci. Technol. 2009, 30: 597-604.
- Abdurahman, H, Mohd, A, & Rosli, M. Charcterization and demulsification of water-in crude oil emulsions. Journal of Applied Sciences. 2017, 1437-1441.
- Noboa, G., Márquez, L., & López, J. Tamaño de gota: Factor determinante sobre la velocidad de clarificación de una emulsión o/w. Ciencia e Ingeniería. 2017, 259-264.
- Temple-Heald C, Davis C, Wilson N y Readman N. Developing new surfact chemistry for breaking emulsions in heavy oil. J. Pet. Technol. 2015, 66: 30-36.
- Velazque I, Pereira J. Emulsiones de agua en crudo. Aspectos Generales. Revista de Ingeniería UC, 2014, Vol. 21, No. 3, pp. 45-54.
- Dos Santos R, Bannwart A, y col. Physico-chemical properties of heavy crude oil-inwater emulsions stabilized by mixtures of ionic and non-ionic ethoxylated nonylphenol surfactants and medium chain alcohols. Chemical Engineering Research and Design, 2011, 89, 957-967.
- Aruna GR, Geetha MY y Manjunath G. Chemical composition and pharmacological functions and principles of mulberry: A Review. International Journal of Applied Research, 2017,3(4): 251-254.
- Noboa, G, Márquez, L, & López, J. Tamaño de gota: Factor determinante sobre la velocidad de clarificación de una emulsión o/w. Ciencia e Ingeniería. 2017, 259-264.

11. Ahmed M, Notaila, M. and Tahany M. Investigation of Kinetic and Rheological Properties for the Demulsification Process, 2013, 22, 117-127.
12. State, E. Formulation and production of Crude Oil Demulsifiers From. 2010, 2, 26-37.
13. Temple-Heald C, Davis C, Wilson N y Readman N. Developing new surfact chemistry for breaking emulsions in heavy oil. *J. Pet. Technol.* 2015, 66: 30-36.
14. Azizi, K. and Nikazar, M., Characterization of chemical demulsification of oil in water emulsion: comparison between a kinetics model and laboratory experiments. *Petroleum Science and Technology*, 2015, 33, 8-15.
15. Cendejas, G, Arreguín, F, Castro, LV, Flores, EA and Vazquez F. Demulsifying super-heavy crude oil with bifunctionalized block copolymers. *Fuel*, 2013,103, 356.
16. Velazque I, Pereira J. Emulsiones de agua en crudo. Aspectos Generales. *Revista de Ingeniería UC*, 2014, Vol. 21, No. 3, pp. 45-54.
17. Issaka, SA, Nour, AH and Yunus, RM. Review on the fundamental aspects of petroleum oil emulsions and techniques of demulsification. *Journal of Petroleum & Environmental Biotechnology*, 2015, 6, 214.
18. Karcher V, Perrechil, FA and Bannwart, AC. Interfacial energy during the emulsification of water-in-heavy crude oil emulsions. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 2015, 32, 127.
19. Peña, AA, Hirasaki, GJ and Miller, CA. Chemically induced destabilization of water-in-crude oil emulsions. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2005, 44, 1139.
20. Dos Santos R, Bannwart A, y col. Physico-chemical properties of heavy crude oil-in water emulsions stabilized by mixtures of ionic and non-ionic ethoxylated nonylphenol surfactants and medium chain alcohols. *Chemical Engineering Research and Design*, 2011, 89, 957-967.
21. Silva, EB, Santos, D, Alves, DM, Barbosa, MS, Guimarães, RC, Ferreira, BM, Guarnieri, RA, Franceschi, E, Dariva, C, Santos, AF and Fortuny, M. Demulsification of heavy crude oil emulsions using ionic liquids. *Energy & Fuels*, 2013, 27, 6311.
22. Acevedo, S., Gutierrez, X., Rivas, H. Bitumen-in-water emulsions stabilized with natural surfactants. *J. Colloid Interface Sci.* 2001,242, 230–238.
23. Britt M. Burton-Freeman, Amandeep K. Sandhu, Indika Edirisinghe. Mangos and their bioactive components: Adding variety to the fruit plate of health. *Food&Function*, 2017, May, 1, 55.
24. Wan-Taek J, O-Chul K, y col. Qualitative and quantitative analysis of flavonoids from 12 species of Korean mulberry leaves. 2018. 55(5): 1789-1796.
25. Aruna GR, Geetha MY y Manjunath G. Chemical composition and pharmacological functions and principles of mulberry: A Review. *International Journal of Applied Research*, 2017, 3(4): 251-254.
26. Sánchez José, Moreno D, Álvarez D y col. Phenolic profile, antioxidant and anti-proliferative activities of methanolic extracts from *Asclepias linaria* Cav. Leaves, *Molecules* 2020, 25, 54.

FACTORES ASOCIADOS A LA DESNUTRICIÓN CRÓNICA INFANTIL EN ECUADOR. ESTUDIO BASADO EN MODELOS DE REGRESIÓN Y ÁRBOLES DE CLASIFICACIÓN.

Factors associated with chronic child malnutrition in Ecuador. A study based on regression models and classification trees.

¹Pablo Javier Flores Muñoz* , ²Giorgia Nohelia Congacha Ortega .

¹Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Grupo de Investigación en Ciencia de Datos, Riobamba, Ecuador.

²BASICALATAM SA, Human Data Department. Antonio de Ulloa N34-112, Quito, Ecuador.

*p_flores@esPOCH.edu.ec

Resumen

La presente investigación busca determinar los factores que influyen significativamente en la desnutrición crónica en niños de 0 a 5 años de edad en el Ecuador. Las variables que formaron parte del estudio han sido consideradas de acuerdo al marco conceptual propuesto por la UNICEF y extraídas de las bases de datos de la última encuesta de Salud y Nutrición 2018 desarrollada por el Instituto Nacional de Estadística y Censos y el Ministerio de Salud Pública. Con el objetivo de comparar resultados se aplicaron modelos basados en árboles de clasificación y de regresión logística. Se encontró que los factores básicos relacionados con: el grupo étnico del niño, la escolaridad de la madre, el acceso a comunicación móvil, el estado civil de los padres, la edad de la madre, el número de hijos en el hogar y el tipo de combustible que se usa para cocinar influyen de manera significativa sobre el estado nutricional del infante. Estos factores están relacionados directamente con factores básicos y subyacentes como control de la madre antes y después del parto, la vacunación del infante, la adecuada alimentación y el tamaño del niño al nacer, los cuales también influyen en la desnutrición.

Palabras claves: Desnutrición infantil, Regresión, Árboles de decisión.

Abstract

This research seeks to determine significantly influencing factors on chronic malnutrition of children from zero to five years old in Ecuador. The variables that were part of the study have been considered according to the conceptual framework proposed by UNICEF and extracted from the databases of the latest 2018 Health and Nutrition survey developed by the National Institute of Statistics and Censuses and the Ministry of Public Health. In order to compare results, models based on classification trees and logistic regression were applied. It was found that the basic factors related to: child's ethnic group, mother's schooling, access to mobile communication, parents' marital status, mother's age, the number of children in the family, and the type of fuel used for cooking have a significant influence on the infant's nutritional status. These factors are directly related with basic and underlying factors such as control of the mother before and after delivery, infant vaccination, adequate nutrition and the size of the child at birth, which also influence in malnutrition.

Keywords: Child malnutrition, ENSANUT, Regression, Decision trees.

Fecha de recepción: 23-05-2021

Fecha de aceptación: 07-07-2021

Fecha de publicación: 09-09-2021

I. INTRODUCCIÓN

La desnutrición crónica infantil, principalmente en niños menores de 5 años, se asocia directamente a problemas de crecimiento, desarrollo físico, cognitivo y emocional, lo cual tiene un impacto directo en el rendimiento escolar y posterior capacidad de trabajo que tenemos los seres humanos a lo largo de la vida (1). Es así que este hecho constituye no solo un problema de salud pública, sino además un problema social que afecta directamente a una nación, la cual tiene el deber de hacer los esfuerzos necesarios para erradicarla. En el Ecuador, las cifras publicadas por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), revelan, de acuerdo con el último estudio, que la prevalencia de desnutrición crónica en menores de cinco años es del 23.0 %, la cual no presenta una diferencia estadísticamente significativa con el anterior periodo analizado (2). Aunque lo ideal sería erradicar este problema, al parecer, queda mucho trabajo pendiente para alcanzar al menos la meta de nuestro actual plan nacional de desarrollo, de reducir esta prevalencia a 13.2% (3).

La Encuesta Nacional de Salud y Nutrición ENSANUT 2018 es una operación estadística realizada por el INEC y el Ministerio de Salud Pública del Ecuador (MSP), cuyo objetivo principal es “generar indicadores sobre los principales problemas y la situación de salud de la población ecuatoriana con el fin de evaluar y generar las políticas públicas en temas de salud y nutrición” (4), para ello, recolecta la información en 5 formularios, que sirven para generar 9 bases de datos diferentes.

El proceso de planificación, diseño, construcción, recolección, capacitación, procesamiento, análisis, difusión y evaluación de esta encuesta se la completó en un periodo de 965 días. Sin duda, la información obtenida es muy extensa y valiosa, ya que basa su metodología en procedimientos de alta calidad establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la UNICEF. En el año 2020, se publicaron los resultados de esta encuesta en la página web oficial del INEC, donde principalmente se puede observar indicadores (tasas, porcentajes, promedios) de las variables

estudiadas, y en particular de la variable de interés (desnutrición crónica). Aunque esta descripción, nos permite identificar la situación actual y retrospectiva de la desnutrición en nuestro país, creemos que los esfuerzos deben estar orientados a análisis más complejos, que nos permitan conocer las principales causas por las que se origina la desnutrición, lo cual, se podría constituir en un referente para la toma de decisiones, que permita destinar recursos y aplicar políticas adecuadas, enfocadas directamente a los factores influyentes y no a otros que posiblemente no generarían ningún efecto significativo sobre la problemática. Al respecto, poco o nada se ha hecho dentro de nuestra región y en particular de nuestro país. Hablando de Latinoamérica y el Caribe, donde vivimos una realidad similar, son muy pocos los países que han invertido esfuerzos en investigar estas causas.

Tradicionalmente, los modelos matemáticos de regresión se han utilizado para determinar la influencia significativa de variables (o factores) independientes sobre una dependiente, como por ejemplo el caso de la desnutrición crónica infantil (5) que es el objeto del presente estudio, sin embargo, el problema del cumplimiento previo de supuestos asociados a estos modelos, así como el advenimiento de nuevas técnicas algorítmicas de clasificación, han hecho que se puedan comparar la efectividad de estos enfoques. No decimos que una metodología en general sea mejor que otra, pero sí que, de acuerdo con la naturaleza de los datos obtenidos, una podría arrojar mejores resultados. De hecho, se ha convertido ya en una tendencia, en varias áreas del conocimiento comparar estos enfoques, mediante modelos apropiados con el fin de encontrar uno que clasifique adecuadamente una variable en función de otras (6,7,8,9).

La presente investigación, haciendo uso de la información recolectada en la última encuesta de salud y nutrición ENSANUT 2018, busca encontrar el mejor modelo, que permita determinar adecuadamente los principales factores significativos asociados a la desnutrición crónica, en niños de 0 a 5 años de edad, con el fin de contribuir en el proceso de toma de decisiones en políticas públicas eficientes, orientadas a mitigar esta pro-

blemática. En el siguiente capítulo, se explica el marco conceptual de la UNICEF que permite justificar la elección de posibles factores asociados a la desnutrición crónica y las variables medidas en la ENSANUT con las que se relacionan.

Además, se explica el proceso de operacionalización de las bases de datos y su posterior análisis. En el capítulo III se muestran los principales resultados al aplicar modelos matemáticos y algorítmicos sobre la base de datos operacionalizada. Posteriormente, en el capítulo IV, se realiza una discusión sobre el poder predictivo y eficiencia de ambas metodologías y finalmente en el Capítulo V, se concluye sobre el peso que tienen los factores más influyentes analizados sobre la desnutrición crónica infantil.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

MARCO CONCEPTUAL DE LA UNICEF PARA ANALIZAR FACTORES ASOCIADOS A LA DESNUTRICIÓN.

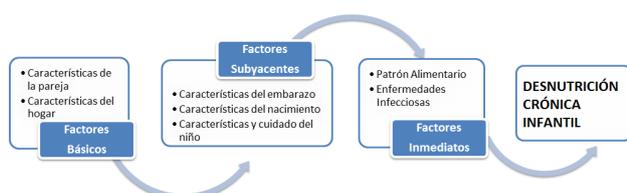


Figura 1. Posibles factores asociados a la desnutrición crónica, de acuerdo al marco conceptual propuesto por la UNICEF
Fuente: Elaboración Propia.

En la década de los noventa, el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) propuso un marco conceptual para analizar los factores asociados a la desnutrición infantil, el cual considera que dichos factores pueden clasificarse en tres grupos: Inmediatos, Subyacentes y Básicos. Los factores inmediatos estarían asociados directamente a la desnutrición crónica infantil, mismos que a su vez son intermediadores de una asociación indirecta que existe entre los factores básicos y subyacentes (10).

En este contexto, aunque en principio los factores básicos podrían presentar una significativa asociación con la desnutrición crónica infantil, estos al estar intermediados por factores subyacentes e inmediatos crean una relación que tiende a dis-

minuir la significativa asociación inicial, es decir, se crea una mayor precisión en la medición de la asociación entre los factores básicos y la variable de interés.

Del mismo modo, los factores subyacentes, aunque inicialmente podrían presentar una significativa asociación con la desnutrición, estos al estar intermediados por factores inmediatos, y a su vez condicionados por la relación con los factores básicos, crean una relación que tiende a disminuir la significativa asociación inicial, con lo que de igual manera se consigue una mayor precisión en la medición de la asociación entre los factores subyacentes y la desnutrición infantil.

Factores	Código	Variable / item
Factores Básicos	FBCP1_1	Años cumplidos de la madre
	FBCP1_5	Número de hijos nacidos vivos
	FBCH_11	Número de cuartos de la vivienda
	FBCH_12	Número de dormitorios de la vivienda
Factores Subyacentes	FSCE_3	Meses de embarazo cuando se hizo el primer control
	FSCE_4	Cuántos controles tuvo antes del parto
	FSCE_11	Primer control postparto-días
	FSCE_12	Primer control postparto-semanas
	FSCE_13	Primer control postparto-meses
	FSCN_10	Talla al nacer
	FSCCN_2	control por primera vez-días
	FSCCN_3	control por primera vez-semanas
	FSCCN_4	control por primera vez-meses
	FSCCN_8	bcg-dosisf41002a
	FSCCN_9	hepatitis b-dosis
	FSCCN_10	pentavalente 1-dosis
	FSCCN_11	pentavalente 2-dosis
	FSCCN_12	pentavalente 3-dosis
	FSCCN_13	rotavirus 1-dosis
	FSCCN_14	rotavirus 2-dosis
	FSCCN_15	antipolio(opv) 1-dosis
	FSCCN_16	antipolio(opv) 2-dosis
	FSCCN_17	antipolio(opv) 3-dosis
	FSCCN_18	neumococo 1-dosis
	FSCCN_19	neumococo 2-dosis
	FSCCN_22	Edad (en meses)
Factores Inmediatos	FIPA_1	Hasta qué edad le dio el seno-días
	FIPA_2	Hasta qué edad le dio el seno-meses
	FIPA_3	Hasta qué edad le dio el seno-años
	FIPA_14	Consumió ayer -agua pura - cuántas veces
	FIPA_21	Consumió ayer -sopa- cuántas veces

Tabla 1. Variables cuantitativas de la ENSANUT que contienen las características de los factores propuestos por el marco conceptual de la UNICEF
Fuente: Elaboración Propia.

Factores	Código	Variable / ítem	Categoría / Posible respuesta
Variable dependiente		Desnutrición crónica menores de 5 años	0: Si 1: No
FACTORES BÁSICOS	FBCP1_4	El padre vive con usted en el hogar	Si No
	FBCP1_6	Grupo étnico	Mestizo/a Indígena Montuvio/a Blanco/a Afroecuatoriano/a Negro/a Otro
	FBCP1_7	Estado civil	Casado Divorciado Separado Soltero Unión de hecho Unión libre Viudo
	FBCP1_8	Escolaridad de la madre	Ninguno o Centro de Alfabetización Educación Básica Educación Media/ Bachillerato Superior
	FBCH_1	Vía de acceso principal a la vivienda	Calle pavimentada o adoquinada Empedrado Lastrado/calle de tierra otro Río/mar Sendero
	FBCH_2	Tipo de vivienda	Casa o villa Departamento Mediagua Rancho Cuartos inquilinato Choza Otro
	FBCH_3	Material predominante del techo	Asbesto (Eternit) hormigón/losa/cemento otro palma/paja/hoja teja zinc

	FBCH_4	Material predominante de las paredes	adobe/tapia asbesto/cemento bahareque (caña, carrizo revestido) caña o estera hormigón/bloque/ ladrillo madera otra
	FBCH_5	Material predominante del piso	cemento/ladrillo cerámica/baldosa/vinyl tabla/tablon no tratado duela/parquet/ tabloncillo/piso flotante tierra mármol/marmetón otro
	FBCH_6	De donde obtienen el agua	carro repartidor/triciclo otra fuente por tubería otro pila o llave pública pozo red pública río/vertiente/acequia
	FBCH_7	El agua que recibe la vivienda es	No recibe agua por tubería recibe por tubería dentro de la vivienda recibe por tubería fuera de la vivienda pero dentro del edificio recibe por tubería fuera del edificio
	FBCH_8	El servicio higiénico de la vivienda es:	excusado y alcantarillado excusado y pozo ciego excusado y pozo séptico letrina no tiene
	FBCH_9	El servicio de luz eléctrica es:	empresa eléctrica pública Ninguno planta eléctrica privada vela/candil/mechero/gas

	FBCH_10	Principalmente cómo eliminan la basura:	botan a la calle/ quebrada/río contratan el servicio la entierran la queman otra servicio municipal
	FBCH_13	El agua que toman los miembros del hogar:	la beben tal como llega al hogar la hierven no sabe otro tratamiento
	FBCH_14	Combustible que utilizan para cocinar	electricidad (inducción) gas leña/carbón no cocina
	FBCH_15	¿El servicio higiénico del hogar es exclusivo?	Si No
	FBCH_16	¿Disponen de servicio telefónico convencional?	Si No
	FBCH_17	¿Algún miembro del hogar tiene telf. celular?	Si No
	FBCH_18	La vivienda que ocupa el hogar es:	anticresis y arriendo cedida en arriendo otra propia y la está pagando propia y totalmente pagada recibida por servicios
Factores Subyacentes	FSCE_1	Tuvo algún control prenatal	Si No
	FSCE_2	Dónde se hizo el control con mayor frecuencia	establecimiento de salud del MSP clínica/consultorio privado en casa hospital/dispensario del IESS junta de beneficencia seguro social campesino otro
	FSCE_5	En el embarazo le vacunaron contra el tétanos	Si No No sabe/no responde

	FSCE_6	En qué lugar tuvo el parto	establecimiento de salud del MSP clínica/consultorio privado en casa hospital/dispensario del IESS junta de beneficencia seguro social campesino otro
	FSCE_7	Qué persona o profesional le atendió	médico obstetra familiar comadrona o partera enfermera auxiliar de enfermería otra
	FSCE_8	El parto fue:	cesárea normal
	FSCE_9	El nacimiento fue a los 9 meses o antes de tiempo	a tiempo no sabe pos maduro prematureo
	FSCE_10	Tuvo algún control después del parto	Si No
	FSCE_14	Dónde tuvo el control postparto	establecimiento de salud del MSP clínica/consultorio privado hospital/dispensario del IESS otro, ¿cuál? seguro social campesino hospital ff.aa /policía otro
	FSCN_1	Le pesaron en el momento de nacer	Si No
	FSCN_2	En que unidad de medida fue pesado	gramos kilogramos libras-onzas no sabe
	FSCN_5	Con respecto a otros bebes el tamaño de su hijo era:	igual no sabe pequeño muy pequeño más grande
	FSCN_6	Tiene el carnet de salud infantil	Si No Si le entregaron, pero se perdió

	FSCN_7	Registró el peso al nacer	Si No
	FSCN_9	Registró la talla al nacer	Si No
	FSCN_11	Registró el perímetro cefálico al nacer	Si No
	FSCN_13	El carnet registra puntos en la curva de crecimiento	Si No
	FSCCN_1	Después que nació le llevó a control médico	Si No
	FSCCN_5	Porqué o para que lo llevó	estaba enfermo para control niño sano no recuerda
	FSCCN_6	A qué establecimiento de salud lo llevó	establecimiento de salud del MSP clínica/consultorio privado hospital/dispensario del IESS seguro social campesino otro unidad municipal de salud otro, ¿cuál?
	FSCCN_7	Vive con usted actualmente	Si No
	FSCCN_21	Grupo de edad	0-11 12-18 19-23 24-30 31-35 48-59 otro
	FSCCN_23	Sexo del niño	Hombre Mujer
Factores Inmediatos	FIPA_4	Fue alimentado con leche materna el día de ayer	Si No
	FIPA_5	A qué tiempo después del nacimiento empezó a mamar o lactar	entre una hora y menos de 24 horas después del parto más de un día menos de una hora

	FIPA_6	Los tres primeros días después del nacimiento le dió algo de beber aparte de leche materna	Si No
	FIPA_11	Le dio pecho cada vez que le pidió	Si No
	FIPA_12	Consumió algún líquido diferente a la leche materna ayer	Si No
	FIPA_13	Consumió ayer-agua pura	Si No No sabe/no responde
	FIPA_15	Consumió ayer-leche de fórmula	Si No No sabe/no responde
	FIPA_17	Consumió ayer-leche en polvo	Si No No sabe/no responde
	FIPA_19	Consumió ayer-jugos naturales	Si No No sabe/no responde
	FIPA_20	Consumió ayer-sopa	Si No No sabe/no responde
	FIPA_22	Consumió ayer-yogurt	Si No No sabe/no responde
	FIPA_24	Consumió ayer-colada	Si No No sabe/no responde
	FIPA_26	Consumió ayer-gaseosa	Si No No sabe/no responde
	FIPA_28	Consumió ayer-agua aromática	Si No No sabe/no responde
	FIPA_30	Consumió ayer-cualquier otro líquido	Si No No sabe/no responde
	FIPA_32	Comió algún alimento ayer	Si No
	FIPA_33	Comió colada espesa de harina de trigo	Si No No sabe/no responde

	FIPA_34	Comió colada espesa de granos	Si No No sabe/no responde
	FIPA_35	Comió zapallo, zanahoria, pepino	Si No No sabe/no responde
	FIPA_36	Comió papa blanca, yuca, camote	Si No No sabe/no responde
	FIEI_1	Ha tenido diarrea en las últimas dos semanas	Si No No sabe/no responde
	FIEI_4	En las dos últimas semanas ha tenido tos o moquera	Si No

Tabla 2. Variables cualitativas de la ENSANUT que contienen las características de los factores propuestos por el marco conceptual de la UNICEF. Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 1 se muestran las características que de acuerdo al marco conceptual en cuestión deben ser medidas en cada uno de estos factores, mismas que encuentran asociadas con la información recolectada en la ENSANUT 2018 de acuerdo al detalle presentado en la Tabla 1 para variables cuantitativas y Tabla 2 para cualitativas. Además, con el fin de que sirva de guía en el proceso de operacionalización de bases de datos, se muestran las categorías o posibles respuestas que tienen estas variables.

PROCESO DE OPERACIONALIZACIÓN DE LAS BASES DE DATOS.

La ENSANUT 2018 se encuentra dividida en cinco formularios, los cuales dan origen a nueve bases de datos con distintas poblaciones objetivo, pero todas interrelacionadas entre sí, por ejemplo, las características sobre salud y desarrollo infantil de un niño se pueden observar en dos bases de datos específicas, pero a la vez, las características del hogar en el que vive este mismo infante, características sociales o de salud de la madre, etc., se pueden apreciar en otras bases de datos distintas. Mediante el uso de algunos paquetes especializados del software R (11,12,13,14), se unió y filtró toda la información relacionada a los infantes de 0 a 5 años de las nueve bases de

datos con el fin de obtener una sola. Finalmente se obtuvo una nueva base de 11231 individuos y 97 variables, de acuerdo a lo resumido en la Tabla 1 y Tabla 2, estos individuos a su vez fueron divididos aleatoriamente en un conjunto de 7862 (70%) para entrenamiento y 3369 (30%) para validación, con el fin de evaluar el poder de predicción que tienen cada uno de los modelos que se usarán.

Debido a que la variable dependiente dicotómica en estudio desnutrición crónica, por su naturaleza es desbalanceada (27.97% presentan desnutrición y 72.03% no lo hacen), se procedió a balancear las clases para el conjunto de entrenamiento usando la técnica de submuestreo, a través del paquete ROSE (15). Se analizó la cantidad de datos faltantes de cada variable, y se eliminaron aquellos casos cuyo porcentaje fue superior al 50%, mientras que el resto de variables fueron imputadas usando el método de kNN vecinos más cercanos. Además, con el fin de eliminar el problema de magnitudes distintas, se centró y escaló la base de datos. Finalmente, debido a la manera en que trabajan las funciones R que se usó para implementar los modelos, se realizó una binarización, la cual consiste en crear tantas variables como niveles tenga una variable categórica, asignando ceros a todas las observaciones excepto a las observaciones que tienen el nivel que representa la nueva variable creada que se le asigna 1.

ANÁLISIS DE LA BASE DE DATOS.

La primera técnica usada para determinar los factores que influyen significativamente sobre la desnutrición crónica infantil fueron los árboles de clasificación (16,17,18,19). El algoritmo implementado para aplicar este modelo consistió en seleccionar aleatoriamente un subconjunto de variables, de las cuales se escoge aquellas que dividen significativamente a la muestra en cada uno de los nodos de clasificación que se van formando, minimizando la tasa de error de clasificación y asignando a cada observación la clase más común en su región del espacio de predictores. Este proceso es repetitivo y se detiene cuando aparecen categorías cuyas frecuencias respecto a la variable objetivo dejan de ser relevantes.

Para la implementación de este algoritmo se usó el paquete rpart (20)

El problema al usar esta técnica fue que el poder predictivo del modelo resultó muy bajo, esto debido a que, en cada corrida, el algoritmo secuencial implementado siempre elegía las mismas variables con mayor frecuencia significativa; lo cual pudo provocar una omisión de variables explicativas que quizás son importantes pero que por su baja frecuencia no se tomaron en cuenta. Con el fin de solucionar este problema, se implementó un modelo más complejo, también basado en árboles, denominado Gradient Boosting (Algoritmo XGBoost) (21,22), el cual va construyendo árboles de manera secuencial, donde cada nuevo árbol se crea tomando en cuenta el error de clasificación producido por las variables

peor clasificadas del árbol anterior, repitiendo este proceso hasta que las potencias predictivas de todos los árboles combinados se estabilizan. Para la implementación de este algoritmo se usó el paquete xgboost.

Finalmente se implementó el modelo matemático de regresión logística binaria (familia binomial) (23), el cual por su naturaleza no presenta aleatoriedad intrínseca, lo cual hace que no se produzca el problema suscitado en el modelo de árboles. Para seleccionar las variables, se aplicó el método por pasos hacia atrás, el cual incluye en principio todas las variables explicativas del modelo para luego ir eliminando iterativamente aquellas que no aportan significativamente y se detiene cuando todos los predictores son estadísticamente significativos.

III. RESULTADOS

	Descripción	B	Error estándar	valor z	Pr(> z)	exp(B)
(Intercepto)		-0,925	0,434	-2,132	0,033**	0,396
FBCP1_6. indígena.	Grupo étnico indígena	0,476	0,089	5,351	0,000***	1,608
FBCP1_7 separado	Estado civil separado	0,193	0,082	2,357	0,018**	1,213
FBCH_17 no	¿Algún miembro del hogar tiene telf. celular? no	0,207	0,069	3,008	0,003***	1,229
FBCH_12	Número de dormitorios de la vivienda	-0,073	0,028	-2,612	0,009***	0,929
FBCP1_1	Años cumplidos de la madre	-0,013	0,005	-2,388	0,017**	0,987
FBCP1_5	Número de hijos nacidos vivos	0,095	0,029	3,264	0,001***	1,099
FBCP1_8 Bachillerato	Escolaridad de la madre. Bachillerato.	-0,164	0,071	-2,302	0,021***	0,848
FBCP1_8 Superior	Escolaridad de la madre. Superior	-0,277	0,100	-2,775	0,006***	0,758
FIPA_33 No sabe - No responde	Comió colada espesa de harina de trigo. No sabe - No responde	-0,330	0,083	-3,981	0,000***	0,719
FSCE_3	Meses de embarazo cuando se hizo el primer control	0,015	0,006	2,632	0,008***	1,015
FSCE_12	Primer control postparto-semanas	0,109	0,038	2,856	0,004***	1,115
FSCN_5 más. grande	Con respecto a otros bebes el tamaño de su hijo era: Mas grande	-0,402	0,084	-4,761	0,000***	0,668
FSCN_5 pequeño	Con respecto a otros bebes el tamaño de su hijo era: Mas pequeño	0,271	0,086	3,148	0,002***	1,311
FSCCN_21 19 - 23	Grupo de edad 19 - 23	0,430	0,090	4,757	0,000***	1,537
FSCCN_21 31 - 35	Grupo de edad 31 - 35	0,339	0,093	3,646	0,000***	1,404
FIEI_1 si	¿Ha tenido diarrea en las últimas dos semanas? Si	0,842	0,416	2,024	0,043**	2,321

Tabla 3. Resultados de las variables significativas en el modelo de regresión logística.

Fuente: Elaboración Propia.

En el caso del modelo de regresión, se comprobó mediante el omnibus test, que el modelo planteado muestra una relación significativa entre las

variables independientes y la dependiente (p valor del estadístico chi cuadrado igual a 1.43×10^{-45}). La Tabla 3 muestra los coeficientes signifi-

cativos del modelo, su error estándar, valor Z, p valor y probabilidad asociada de ocurrencia con la variable dependiente (desnutrición crónica). Respecto a los p valores que indican si un coe-

ficiente es o no significativo, se ha colocado ** indicando que se cumple a un nivel de significancia del 5% y *** cuando lo hace a una significancia del 1%.

		Presenta Desnutrición crónica					
		Modelo de Regresión		Modelo de árboles		Modelo Gradeint Boosting	
		No	Si	No	Si	No	Si
Presenta Desnutrición crónica	No	1774	719	1546	465	1687	510
	Si	473	403	888	470	747	425

Tabla 4. Matriz de confusión para los modelos de regresión, árboles y gradeint boosting.
Fuente: Elaboración Propia.

Al comprobar el poder predictivo de este modelo, usando la muestra de entrenamiento, se observó en la matriz de confusión que 2177 de los 3369 individuos fueron clasificados correctamente,

por lo que el poder predictivo de este modelo se establece en 64.6%. La matriz de confusión completa se presenta en la Tabla 4.

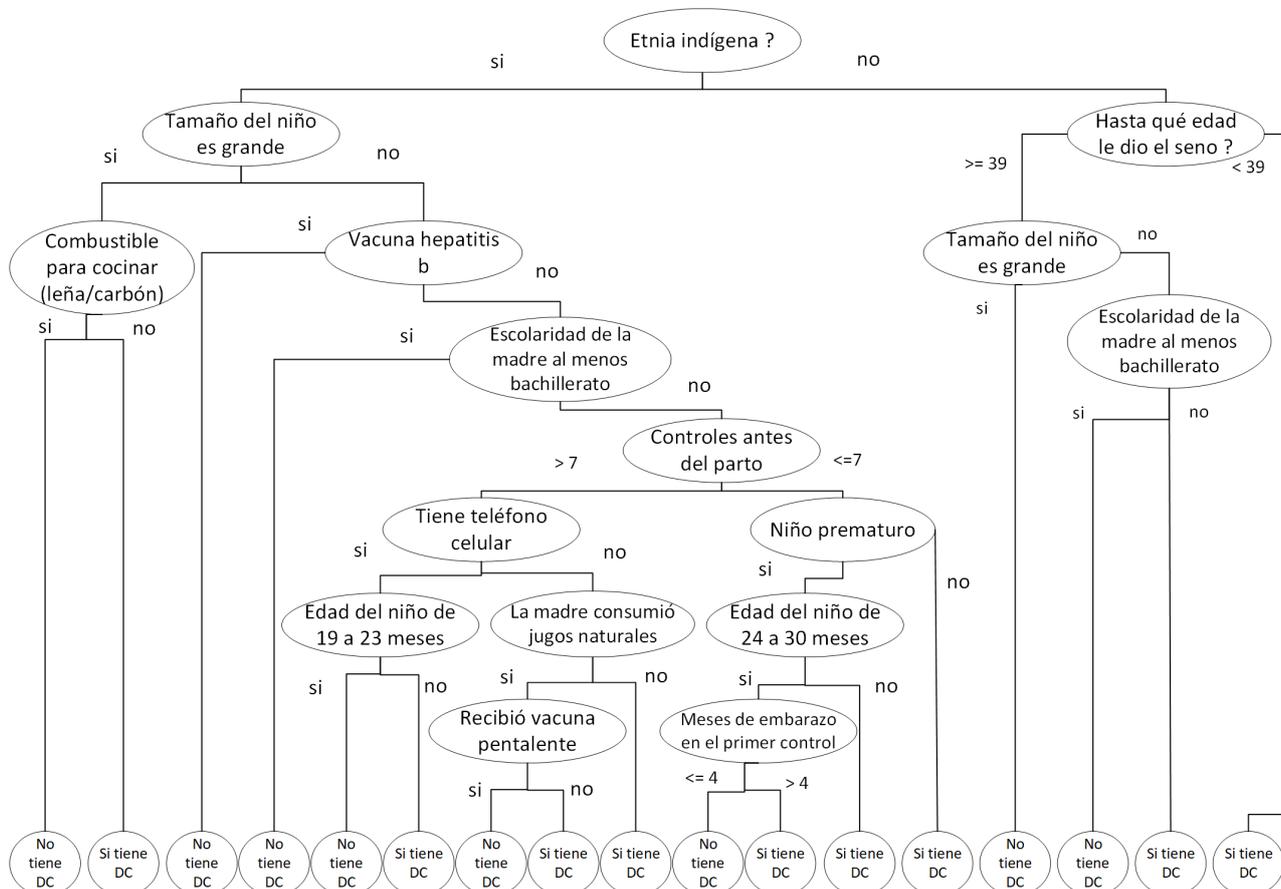


Figura 2. Modelo de árbol de decisión para predecir la desnutrición crónica infantil
Fuente: Elaboración Propia.

Respecto al modelo de árboles de clasificación, la Figura 2 muestra que se forman 15 nodos intermedios, los cuales representan las variables o factores de mayor influencia. La variable más significativa o influyente en la desnutrición crónica de acuerdo a este modelo (nodo raíz) pertenece a la categoría indígena de la variable grupo étnico (FBPCP1_6). En adelante, se muestran las variables en orden de influencia, vistas en la figura desde arriba hacia abajo. De acuerdo a la

matriz de confusión, 2016 de los 3369 individuos considerados en la muestra de evaluación fueron clasificados correctamente, lo cual nos da un poder predictivo del 59.8% (la matriz de confusión completa se presenta en la Tabla 4.). Sin embargo, como ya habíamos mencionado, con la finalidad de mejorar este indicador, se implementó el algoritmo del modelo Gradient Boosting, el cual presentó un poder predictivo de 62.7% (la matriz de confusión completa se presenta en la Tabla 4.), lo

cual, a nuestro criterio no representa una mejora significativa como teóricamente se suponía, por lo que podemos concluir que la capacidad de ajuste es estable en el árbol presentado en la Figura 2 y se puede tomar decisiones a partir de ello.

IV. DISCUSIÓN

FACTORES ASOCIADOS A LA DESNUTRICIÓN CRÓNICA EN EL ECUADOR.



Figura 3. Factores asociados a la desnutrición crónica infantil de acuerdo a los modelos de regresión logística y árboles de decisión. Intersección entre ellos.

Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 3 muestra un resumen de los factores que fueron considerados como significativos en cada uno de los modelos (tomando en cuenta para el caso de regresión un nivel de significancia del 5%), además de aquellos que fueron comunes, diferenciándolos por el tipo al que pertenecen de acuerdo con el marco teórico de clasificación propuesto por la UNICEF (10). Es importante recalcar en este punto que, de acuerdo a esta referencia teórica, si se mejoran las condiciones de las variables que pertenecen a los factores básicos (color rojo), esto incidirá directamente y de manera positiva en los factores subyacentes e inmediatos (color verde y azul respectivamente), razón por la cual, es evidente que debe existir atención principalmente en la creación de condiciones necesarias para mejorar las características de estos factores básicos.

Si analizamos los resultados de manera más detallada, el modelo de regresión logística (Tabla 3), muestra que la categoría indígena, perteneciente a la variable grupo étnico, presenta una influencia sobre la desnutrición crónica infantil por encima de las otras variables independientes,

de esta manera, si el niño es indígena tiene 60.8% mayor probabilidad de tener desnutrición crónica ante niños de otros grupos étnicos (FBCP1_6). Seguida de esta variable, en orden de significancia encontramos que si el niño resulta ser más pequeño en relación a otros niños de su misma edad (FSCN_5), la probabilidad de que el niño tenga desnutrición crónica aumenta en 31.1%. Si algún miembro del hogar no tiene comunicación mediante un teléfono celular (FBCH_17), el niño tiene 22.9% mayor probabilidad de tener desnutrición crónica. Si el estado civil (FBCP1_7) de los padres es separado, la probabilidad de que el niño tenga desnutrición aumenta en 21.3%. Si el número de hijos nacidos vivos en el hogar (FBCP1_5) aumenta, también lo hace la probabilidad de desnutrición en 9.9%. Si la madre se tarda en realizar su primer control de embarazo (FSCE_3), la probabilidad de que el niño tenga desnutrición crónica aumenta en 1.5% y si se tarda en su primer control postparto (FSCE_12) esta probabilidad aumenta en 11.5%. Además de estas, encontramos las siguientes relaciones negativas: Si el niño es más grande con respecto a otros bebés de su misma edad (FSCN_5) la probabilidad de que el niño tenga desnutrición crónica disminuye en 33.2%. Si la madre tiene un nivel de escolaridad superior (FBCP1_8) la probabilidad de que el niño tenga desnutrición crónica disminuye en 24.2%, mientras que si tiene un nivel de educación media – bachillerato, la probabilidad disminuye en 15.2% y finalmente a medida que el número de dormitorios que posee la vivienda en la que vive el niño crece (FBCH_12), la probabilidad de tener desnutrición crónica disminuye en un 7.1%.

Por otra parte, los modelos basados en árboles (Figura 2) revelan que la variable más influyente para que un niño tenga desnutrición sigue siendo el grupo étnico en la categoría indígena, seguido en orden de importancia de: La edad hasta que fue amamantado el infante (FIPA_2), el tamaño del bebe respecto a otros (FSCN_5), la escolaridad de la madre (FBCP1_8), el combustible que se usa en casa para cocinar (FBCH_14), la dosis de vacuna contra la hepatitis (FSCCN_9), el número de controles antes del parto (FSCE_4), la tenencia de un teléfono celular de un miembro del hogar (FBCH_17), la alimentación de la ma-

dre con frutas naturales (FIPA_19), la dosis de la vacuna pentavalente (FSCCN_12), el nacimiento antes de tiempo (FSCE_9) y primer control del embarazo (FSCE_3).

ANÁLISIS COMPARATIVO CON LA REALIDAD DE OTROS PAÍSES.

Aunque el estudio sobre factores asociados a la desnutrición crónica infantil en países que viven realidades cercanas a la nuestra es escaso, los estudios realizados en la región y en países en vías de desarrollo muestran escenarios similares a los encontrados en la presente investigación para nuestro país.

En Perú, se conoce que los factores básicos de mayor influencia son: Bajos niveles de escolaridad de los padres, residir en el área rural y mala calidad de la vivienda (piso y servicios higiénicos). Respecto a la escolaridad, si la madre tiene instrucción primaria, un niño tiene hasta 61% más probabilidad de tener desnutrición, lo cual resulta análogo a la realidad encontrada en la presente investigación para Ecuador, donde, si la madre tiene un alto grado de escolaridad, la probabilidad de que el niño presente desnutrición disminuye en 33.2%. Respecto a residir en el área rural (población en su mayoría indígena), en Perú es 57.9% más probable que estos niños tengan desnutrición comparados con los que viven en la zona urbana, lo cual parece ser similar a lo que se encontró en nuestro país, específicamente con la etnia indígena, los cuales como ya se mencionó son 60.8% más propensos a tener desnutrición crónica. Respecto a la calidad de la vivienda, se sabe que en Perú el riesgo asciende a 57% más en niños que viven en casas de mala calidad, lo cual se podría comparar con la variable número de dormitorios, así, en Ecuador, mientras más habitaciones exista, el riesgo disminuye. Respecto a los factores subyacentes, en Perú, no tener un parto institucionalizado, tener más de 4 hijos, bajo peso al nacer y no tener una inmunización completa aumenta la probabilidad de desnutrición en 19%, 1.8%, 21.4% y 17.6% respectivamente, mientras que en Ecuador variables similares como: Primer Control Post parto, tamaño del bebe, nacimiento prematuro y vacunas (hepatitis B y pentavalentes), también resultaron significativas en la desnutrición crónica. Final-

mente, respecto a los factores inmediatos, en Perú, la duración de la lactancia, la alimentación adecuada y presentar alguna afectación de salud (diarrea, fiebre, tos) son factores que aumentan significativamente la probabilidad de desnutrición, lo cual es similar a la realidad de Ecuador, donde se determina que las variables: Consume colada espesa, Ha tenido diarrea, Hasta qué edad le dio el seno y consume jugos naturales, afectan de igual manera a la probabilidad de desnutrición crónica (24,25).

En Brasil y Haití, aunque el proceso de muestreo no se basa en el marco teórico de la UNICEF y solo se hace el estudio para cierto grupo de individuos en específico (Municipios del estado de Acre y niños indígenas de Mangueirinha, Paraná para el caso de Brasil y niños de 6 a 24 meses para el caso de Haití), los resultados también son similares a los encontrados en nuestro país. De esta manera, en Brasil, principalmente la condición económica de los padres, su escolaridad y su edad, el número de hijos, la ausencia de la madre, el no acceso al servicio de alcantarillado y electricidad fueron factores determinantes (26,27), los cuales tienen mucha similitud con las variables: Escolaridad de la madre, años cumplidos de la madre, número de hijos nacidos vivos, estado Civil de los padres y número de dormitorios de la vivienda, las cuales fueron significativas en nuestro país y se observa que todas ellas están clasificadas dentro de los factores básicos, lo cual da a entender que en Brasil se realizó el estudio poniendo énfasis particularmente en este tipo de factores, los cuales si bien es cierto son las más importantes pero a nuestro parecer no nos deja conocer la realidad de la situación a detalle.

En Haití, la escolaridad de la madre, su acceso a los medios de comunicación, el índice de riqueza del hogar, el espaciamiento entre los nacimientos, el número de hijos, el estado nutricional de la madre, el número de consulta prenatales durante el embarazo y la defecación al aire libre a nivel de comunidad son los principales factores que influyen en la desnutrición crónica infantil (28), sin duda, estos aspectos son muy similares a las variables medidas en nuestro país por medio de la ENSANUT: Escolaridad de la madre, algún miembro del hogar tiene teléfono celular, número de hijos nacidos vivos y controles postparto,

los cuales están en las categorías de factores básicos y subyacentes.

Es importante indicar que para estos dos últimos países (Brasil y Haití), se usaron metodologías distintas a las usadas en la presente investigación, como por ejemplo análisis de frecuencias e inferencias basadas en ellas, o regresiones lineales y métodos de descomposición (por ejemplo en el caso de Haití, con variables cuantitativas obtenidas a partir de las encuestas de mortalidad y morbilidad), los cuales son métodos que si bien es cierto nos permiten conocer si una variable independiente es o no significativa para explicar una dependiente (desnutrición crónica), estos no nos dejan conocer una medida de la probabilidad de ocurrencia o influencia de la variable independiente sobre la dependiente, como sí lo hace la metodología de regresión logística usada en la presente investigación.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo, en el Ecuador, si un niño es indígena, la escolaridad de la madre es inferior al bachillerato, algún miembro del hogar no tiene teléfono celular, la madre demora en realizarse el primer control de embarazo, el tamaño del infante no es el adecuado, sus padres son separados, existen menos dormitorios en la vivienda, es mayor el número de hijos nacidos vivos en el hogar, el combustible que usan para cocinar es leña o carbón, la madre se tarda en realizarse el primer control postparto, el niño es prematuro, la madre se hizo

pocos controles antes del parto, al niño le faltan las vacunas de la hepatitis b y pentavalente, el niño no consume colada espesa de harina de trigo, no ha tenido diarrea durante las últimas semanas, no consume jugos naturales y su madre no le dio el seno durante largo tiempo, entonces son muy altas las posibilidades de que un niño presente desnutrición crónica, lo cual como ya se mencionó afecta no solo el estado del infante en sus primeros años, sino durante toda su vida.

Como ya se había mencionado: La desnutrición crónica constituye un problema de salud pública y social, la cual aumenta el riesgo de morbilidad y mortalidad, además afecta negativamente en el crecimiento y desarrollo del infante, acarreando impactos negativos que se extienden hasta la edad adulta, la cual reduce la capacidad de trabajo, afectando a la productividad económica de un país. En este contexto, y luego de medir el nivel de afectación que tienen las variables estudiadas sobre la desnutrición crónica infantil, creemos que las políticas en nuestro país deben enfocarse principalmente en aquellas variables o factores que de acuerdo al presente estudio presentan una influencia significativamente más alta, recordando a la vez que de acuerdo al marco teórico de la UNICEF, si mejoramos las condiciones principalmente en las variables pertenecientes a los factores básicos, también lo harán de manera indirecta las variables pertenecientes a los factores subyacentes e inmediatos. Creemos que tomado en cuenta estas consideraciones técnicas, los recursos que son destinados a erradicar la desnutrición se optimizarán, pero sobre todo, creemos que el problema disminuirá significativamente.

Referencias

1. UNICEF. Estado mundial de la infancia 2008 - Resumen Ejecutivo: Supervivencia Infantil.: Unicef; 2007.
2. INEC. Boletín Técnico: Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018. Quito - Ecuador.; 2019.
3. SENPLADES. Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una Vida Quito - Ecuador; 2017.
4. INEC. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición ENSANUT. [Online]. [cited 2021 Enero. Available from: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/salud-salud-reproductiva-y-nutricion/>.
5. Trujillo M. Factores asociados a desnutrición crónica infantil en niños menores de cinco años de edad en el Perú: Sub-análisis de la Endes 2018. Universidad Ricardo Palma. 2020; 1(1).
6. Pérez J, Echavarría F. Árboles de clasificación vs regresión logística en el desarrollo de competencias genéricas en ingeniería. *Computación y Sistemas*. 2018; 22(4).
7. Demir E. A decision support tool for predicting patients at risk of readmission: A comparison

of classification trees, logistic regression, generalized additive models, and multivariate adaptive regression splines. *Decision Sciences*. 2014; 45(5).

8. Charris L. Análisis comparativo de los algoritmos de árboles de decisión en el procesamiento de datos biológicos. *Investigación y desarrollo en TIC*. 2018; 9(1).
9. Andrade V, Flores P. Comparativa entre classification trees, random forest y gradient boosting; en la predicción de la satisfacción laboral en Ecuador. *Ciencia Digital*. 2018 Diciembre; 2(4).
10. UNICEF. Estado mundial de la infancia - Nutrición. New York: Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia; 1998.
11. R CT. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna - Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2020.
12. Kuhn M. caret: Classification and Regression Training. 2020. R package version 6.0-86.
13. Therneau T, Atkinson B. rpart: Recursive Partitioning and Regression Trees. 2019. R package version 4.1-15.
14. Chen T, He T, Benesty M, Khotilovich V, Tang Y, Cho H, et al. xgboost: Extreme Gradient Boosting. 2021. R package version 1.3.2.1.
15. Lunardon N, Giovanna M, Nicola T. ROSE: a Package for Binary Imbalanced Learning. *R Journal*. 2014; 6(1).
16. Maimon O, Rokach L. Data mining with decision trees: theory and applications: World scientific; 2014.
17. Breiman L. Classification and regression trees.: Wadsworth International Group; 1984.
18. Buntine W. Learning classification trees. *Statistics and computing*. 1992; 2(2).
19. Rokach L, Oded M. Classification trees. In *Data mining and knowledge discovery handbook* Boston: Springer; 2009.
20. Therneau T, Atkinson B. rpart: Recursive Partitioning and Regression Trees. 2019. R package version 4.1-15.
21. Hastie T, Tibshirani R, Friedman J. Boosting and additive trees. In *The elements of statistical learning* New York: Springer; 2009.
22. Elith J, hastie T. A working guide to boosted regression trees. *Journal of Animal Ecology*. 2008; 77(4).
23. tolles J, Meurer W. Logistic regression: relating patient characteristics to outcomes. *Jama*. 2016; 316(5).
24. Arocena V. Factores asociados a la Desnutrición Crónica Infantil en el Perú, 1996-2007. Instituto Nacional de Estadística e Informática. 2009 octubre.
25. Arocena V. Factores asociados a la desnutrición crónica infantil en Perú: una aplicación de modelos multinivel. *Revista Latinoamericana de Población*. 2010; 4(6).
26. Köhl A, Corso A, Leite M, Bastos J. Perfil nutricional e fatores associados à ocorrência de desnutrição entre crianças indígenas Kaingáng da Terra Indígena de Mangueirinha, Paraná, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*. 2009; 25.
27. Souza O, Benicio M, Castro T, Muniz P, Cardoso M. Desnutrição em crianças menores de 60 meses em dois municípios no Estado do Acre: prevalência e fatores associados. *Revista brasileira de Epidemiologia*. 2012; 15(1).
28. Génés W, Lachaud , Gayet I. Factores asociados al descenso de la desnutrición crónica de los niños de 6 a 24 meses en Haití en el período 1994-2017. *Notas de Población*. 2020.

INOCUIDAD DE LOS ALIMENTOS EXPENDIDOS EN LA VÍA PÚBLICA UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA.

Systematic review about street food safety.

Paola Arguello* , Ana Karina Albuja 

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias Pecuarias / Facultad de Salud Pública, Grupo de Investigación IDEA / LESH-PAREC, Riobamba, Ecuador.

*p_arguello@esPOCH.edu.ec

R esumen

La venta de comida ambulante expendida en la vía pública constituye una oportunidad de trabajo en países con economías emergentes. Debido a las condiciones en las que se preparan y expenden estos alimentos son una fuente potencial de enfermedades. Esto lo convierte en un problema de salud pública, siendo necesaria la investigación en países con esta problemática. Este trabajo recopila y analiza las publicaciones en torno a este tema. Los artículos fueron obtenidos de bases de datos digitales de Scopus, PubMed y Google Académico, utilizando palabras claves. Luego de aplicar los filtros correspondientes, se trabajó con 35 artículos que mostraron resultados en términos de recuentos de microorganismos y/o de porcentajes de cumplimiento de prácticas correctas de higiene. Se observó un mayor porcentaje de alimentos fuera de los niveles permitidos de E. coli, principal indicador asociado a contaminación fecal, en Gana, Nigeria, Perú y Venezuela; y ninguna publicación mostro 100% de cumplimiento de parámetros de prácticas correctas de higiene. Estos resultados muestran la apremiante necesidad de concienciar a todos los involucrados en la cadena (vendedores, consumidores, agencias de control), sobre la actuación pertinente y oportuna para mejorar las condiciones de la venta de comida en la vía pública.

Palabras Claves: Inocuidad alimentaria, alimentos de venta ambulante, calidad microbiológica, prácticas correctas de higiene.

A bstract

Street food sales constitute a job opportunity in countries with emerging economies. Due to the conditions in which these foods are prepared and sold, they are a potential source of disease, becoming a public health problem. Research is necessary in countries with this problem. This work collects and analyzes the publications on this topic. The articles were obtained from Scopus, PubMed and Google Scholar digital databases, using keywords. After applying the corresponding filters, 35 articles were used, which showed results of microbial count and percentages of compliance with correct hygiene practices. It was observed that food with a higher percentage of the permitted levels of E. coli, the main indicator associated with fecal contamination is found in Ghana, Nigeria, Peru and Venezuela; no publication shows 100% of compliance with the parameters of good hygiene practices. These results show the urgent need to raise awareness among all those involved in the selling chain (sellers, consumers, control agencies), about the pertinent and timely action to improve the conditions of street food sales.

Keywords: Food safety, food street, microbiological quality, correct food hygiene practices.

I. INTRODUCCIÓN

Los alimentos expendidos en la vía pública (comida ambulante) constituyen una fuente de ingresos para un sector vulnerable de la población, son de fácil acceso, con un costo menor y sensorialmente agradables al consumidor. Entendiéndose por comida de venta ambulante a cualquier puesto de venta móvil que comercialice alimentos preparados listos para servirse. Por estas características el consumo de estos productos se ha masificado a nivel de Iberoamérica (1).

Adicionalmente, estos alimentos tienen un potencial de atractivo turístico ya que entre éstos se comercializan alimentos étnicos que representan parte de la cultura alimentaria del país (2). El interés de consumo de este tipo de alimentos puede verse afectado por una inadecuada manipulación tanto en el lugar de elaboración como en el de expendio.

Un alimento no debe causar daño al consumidor, debiendo estar libre de peligros físicos, químicos y biológicos. El principal peligro en el expendio ambulante de alimentos preparados es la contaminación microbiana. Esta puede desarrollarse debido a varios factores entre ellos: las características del puesto de venta, calidad de los ingredientes, falta de conocimiento de una correcta manipulación al preparar y servir, el ambiente de expendio, las limitaciones de espacio, etc.

Lo anterior convierte a este tipo de productos en potenciales transmisores de enfermedades, con las consecuentes afectaciones a la población. La Organización Mundial de la Salud (OMS) (2020), señala que aproximadamente 600 millones de habitantes han sufrido de enfermedades transmitidas por alimentos (ETAs), es decir uno de cada 10 habitantes en el mundo ha presentado una enfermedad por consumir alimentos en mal estado. Además, la repercusión económica en los países de ingresos bajos y medianos asciende a US\$ 110000 millones cada año debido a la pérdida de productividad y gastos médicos a causa de alimentos insalubres (3).

Este contexto no solamente se presenta en Latinoamérica, sino que se extiende a más países

en desarrollo de varias regiones. Existe una amplia cantidad de investigaciones al respecto, en las cuales se plantea la relación entre la calidad microbiológica de productos alimenticios de venta ambulante y las condiciones higiénicas de expendio.

El objetivo de esta revisión es describir los resultados hallados en los estudios publicados en el período 2010-2020, sobre evaluación de la calidad microbiológica y condiciones de expendio de alimentos de venta ambulantes. Esto otorga una visión integral de los factores que influyen en dicha calidad durante la etapa de preparación y comercialización. Esta información es relevante para la toma de decisiones en materia de inocuidad alimentaria con efectos socio-económicos.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Fuente de datos y estrategia de búsqueda

Para la búsqueda de las publicaciones se utilizó las bases de datos digitales de Scopus, PubMed y Google Académico. Empleando las palabras clave: “higiene”, “inocuidad”, “calidad”, “calidad microbiológica”, “puesto de venta”, sumado a las expresiones “alimentos de venta ambulante”, “alimentos callejeros”, “food street”. En el caso de Ecuador, al no encontrar información en los buscadores, se realizó la búsqueda en los repositorios digitales de las Universidades.

Criterio de selección

Se seleccionaron las publicaciones con base en los criterios de inclusión: artículos en español e inglés entre el 2010-2020 con información de diferentes países que presentaban resultados cuantitativos de análisis microbiológico de alimentos expendidos en la vía pública, y/o evaluación de las condiciones de higiene del puesto de venta y su manipulador, artículos con año de publicación menor a 2010 únicamente cuando no existía información de algún país en el período de búsqueda. Se excluyeron artículos que analizaban alimentos comercializados en puestos no ambulatorios (restaurantes, bares, mercados), estudios que no indican claramente las muestras analizadas, no presentan resultados cuantitativos y artículos de opinión.

III. RESULTADOS

De los 153 documentos encontrados, 35 cumplieron con las condiciones establecidas en los criterios de inclusión, los artículos 4, 18 y 43 corresponden a estudios con año de publicación menor a 2010 (2001-Perú, 2007-Sudáfrica y 2009-Colombia). De los repositorios de las universidades ecuatorianas se obtuvieron cuatro documentos (Ref. 12, 13, 14 y 16). Se excluyeron 118 artículos con base en los criterios indicados en la metodología.

Los datos extraídos se organizaron en función del tipo de alimento analizado en cada país, seguido de los resultados microbiológicos (diferentes microorganismos en dependencia del tipo de muestra) determinados en dichos alimentos. Finalmente, el porcentaje de cumplimiento de los parámetros considerados para evaluar las prácticas correctas de higiene, aplicadas en el proceso de comercialización en los puestos de venta ambulantes.

Alimentos expendidos en la vía pública y su calidad microbiológica

De los 35 artículos seleccionados, 29 (Ref. 4-33), corresponden a estudios con diseños observacionales de corte transversal realizados en 17 países que evaluaron la calidad microbiológica de una diversidad de alimentos vendidos en la calle, propios de cada lugar. La Tabla 1 detalla los diferentes tipos de muestras de alimentos vendidos en la calle de cada país estudiado.

En América Latina, entre los alimentos comunes comercializados en la vía pública están las papas fritas, perros calientes (hotdog), hamburguesas, jugos, ceviches, empanadas, ensaladas, etc.

En el caso de países como la India, Bangladesh, Pakistán, Gana y Etiopía se mantuvo la denominación original de los alimentos étnicos sin traducción.

Los estudios que se encontraron sobre este tipo de alimentos en Ecuador (Ref. 12-16) analizan muestras de una variedad de platos que se expenden en la vía pública (Tabla 1) y, microbiológicamente, muestran menores porcentajes de incumplimiento en comparación con los países asiáticos (Tabla 2).

COLOMBIA (4, 5, 6)	BRASIL (7, 8)	ECUADOR (12, 13, 14, 15, 16)	BANGLADESH (19, 20, 21, 22, 23)	INDIA (24)	PAKISTAN (25)	LIBANO (27)	REPÚBLICA DEL CONGO (31)		
Arepas de maíz Arepas rellenas Arroz Chorizo Chorizo crudo Chorizos cocinados Chuzos Empanadas Ensalada de frutas Hamburguesa Jugo de naranja Patacones Pelanga Perros calientes Pizza	Agua de coco Bocadillos Salados Dulces Empanadas de viento Perros calientes	Ceviche de chochos Ceviche de pescado Chochos con tostado Chorizo Espumilla Ensalada Ensalada de frutas Fritada Frutas con chocolate Perros calientes Jugo de guanábana Jugo de naranja Mayonesa Mollejas Mote Obleas Papas fritas Parrillada con carne Ponche Pollo frito	Achar (Pickles) Batido de banano Chotpoti Dulce Frito salado Frutas Galletas de arroz Jhalmuri Jugos Jugo de caña de azúcar Jugo de lima dulce Jugo de mango verde Jugo de manzana Jugo mixto Jugo de papaya Jugos procesados Jugo de wood apple Picante hervido Sharbat Sólidos azucarados Vajavuji (Piaju/beguni/bora)	Alu chop Alu-cheura Jhal-muri Kachori Pork momo Puchhka Samosa Sya-faaley Vegetable chowmein	Biryani Chicken Manchurian Coleslaw salad Finger fish French fries Grilled chicken Haleem Mayogarlic roll Nehari Pani puri Samosa Sandwich Shashlik Stuffed chicken Wonton Zinger	Frutas y vegetales Productos cárnicos Productos lácteos	Carne de vaca Pescado ahumado Pescado fresco		
	VENEZUELA (9, 10)	Chica de arroz Ensalada con cebolla y lechuga Ensalada con cebolla y tomate Ensalada con lechuga Ensalada con repollo y tomate	PERÚ (17, 18)				FILIPINAS (28) Salsa dulce NEPAL (29) Pani puri	GANA (32) Salsa dulce	
	MÉXICO (11)	Tacos	PERÚ (17, 18)				NIGERIA (26) Puff-Puff Baked beans Fried potato	PORTUGAL (30) Hamburguesa Perros calientes	ETIOPIA (33) Bread Firfir Injera Sambussa

Tabla 1. Alimentos expendidos en la vía pública en diferentes países que han sido objeto de análisis microbiológico.

En la tabla 2 parte I, se observa la proporción de muestras que superan los niveles permitidos de los indicadores de calidad sanitaria por país. La mayoría de las muestras de todos los lugares examinados presentan una alta carga microbiana y por ende un considerable porcentaje de incumplimiento frente a la normativa pertinente en la legislación de cada país, situación que podría resultar un alto riesgo para la salud humana.

Las bacterias patógenas que tuvieron mayor prevalencia en función del porcentaje de no cumplimiento fueron *Escherichia coli*, *Salmonella sp.*, *Staphylococcus aureus*, aerobios mesófilos, coliformes totales, coliformes fecales, mohos y levaduras (5-21).

E. coli, bacteria patógena, contamina con frecuencia los alimentos y se le considera un buen indicador de contaminación fecal (36), siendo los alimentos callejeros de Gana, Nigeria, Perú y Venezuela los que presentan mayor porcentaje de incumplimiento

en este indicador sanitario, asociados también a las determinaciones de coliformes totales y fecales (9,10,17,18,30).

Entre las bacterias patógenas predominantes están *S. aureus*, un agente productor de enterotoxinas estafilocócicas termoestables (36) potencialmente peligrosas en la transmisión de enfermedades. Este microorganismo es también un indicador de mala manipulación y falta de higiene, pudiéndose encontrar en manos, nariz, ojos, cabello y garganta del vendedor sano (24). *Salmonella sp.* una enterobacteria patógena, la presencia de este organismo indica malas prácticas de preparación y manipulación de alimentos, como cocción inadecuada (18).

Los resultados reflejan una mala calidad microbiológica de una proporción considerable de los alimentos que se venden en la calle en los diferentes países, lo que indica una amenaza para la salud de los consumidores.

PAÍS	<i>E. coli</i>		<i>Salmonella</i>		<i>S. aureus</i>		Aerobios mesófilos		Coliformes totales		Coliformes fecales		Mohos y levaduras	
	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%
Bangladesh (19, 20,21,22,23)	31/198	16	40/90	44	66/90	73	-	-	61/100	55	-	-	-	-
Brasil (7,8)	-	-	-	-	5/20	25	-	-	9/20	45	6/20	30	-	-
Colombia (4,5,6)	17/68	25	8/12	12	-	-	9/10	90	-	-	-	-	-	-
Ecuador (12, 13,14,15,16)	25/131	19	38/251	15	-	-	21/48	44	23/53	43	-	-	-	-
Etiopía (33)	68/132	52	26/132	20	285/332	86	40/200	20	160/200	80	-	-	160/200	80
Filipinas (28)	-	-	-	-	-	-	-	-	0/2	0	-	-	-	-
Gana (32)	29/30	97	23/30	77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
India (24)	4/8	50	114/241	47	69/241	29	241/241	100	-	-	-	-	8/241	3
Líbano (27)	8/60	13	17/60	28	11/60	18	-	-	-	-	-	-	-	-
México (11)	-	-	7/100	7	0	0	-	-	-	-	36/100	36	100/100	100
Nepal (29)	32/120	27	26/120	22	38/120	32	-	-	-	-	-	-	-	-
Nigeria (26)	23/25	92	-	-	6/25	24	-	-	-	-	-	-	-	-
Pakistán (25)	-	-	-	-	-	-	54/54	100	-	-	-	-	-	-
Perú (17,18)	48/48	100	0/48	0	0	0	36/48	75	48/48	100	49/122	40	-	-
Portugal (30)	8/20	40	0/20	0	0	0	18/20	90	20/20	100	-	-	-	-
República del Congo (31)	-	-	24/42	57	21/42	50	38/42	90	-	-	-	-	-	-
Venezuela (9,10)	28/30	93	4/30	13	-	-	48/165	29	28/30	93	53/135	39	43/135	32

Tabla 2. Recuento de microorganismos indicadores de calidad sanitaria de diferentes muestras por país (Parte I)

P: número de muestras que superan los niveles permitidos por la normativa correspondiente en el país/número total de muestras analizadas. Dato diferente según la fuente revisada consolidados por país.

% porcentaje de muestras que superan los niveles permitidos por la normativa correspondiente en el país.

-parámetro no analizado en la fuente de información

Otros microorganismos que en menor frecuencia han sido estudiados se muestran en la Tabla 2 parte II. Estos se determinan con base en el tipo de matriz alimentaria (composición química, condiciones de manipulación). Destaca en la lista *Bacillus cereus*. Este microorganismo es formador de endosporas

bacterianas resistentes a condiciones extremas de temperatura incluso la pasteurización.

Además es productor de la enterotoxina emética y diarreica (37). El predominio de *Bacillus spp.* posiblemente es debido a la presencia de esporas en las

materias primas que puede haber sobrevivido a la cocción (24), o a las malas prácticas en tratamiento térmico y condiciones de almacenamiento a las que son sometidos los alimentos (37).

PAÍS	<i>Listeria</i> spp.		<i>Pseudomonas</i> spp.		<i>Aeromonas</i> spp.		<i>Vibrio</i> spp.		<i>Enterobacterias</i>		<i>Bacillus cereus</i>		<i>Klebsella</i> spp.		<i>Acinetobacter</i> spp.		<i>Proteus</i> spp.		<i>Campylobacter</i> spp.		<i>Shigela</i> spp.	
	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%
Bangladesh (19, 20, 21, 22, 23)	-	-	-	-	-	-	18/90	20	-	-	-	-	58/108	54	71/108	66	1/108	0,9	5/90	5	-	-
Brasil (7,8)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Colombia (4,5,6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ecuador (12, 13, 14, 15, 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10/23	43
Etiopía (33)	-	-	-	-	-	-	-	-	160/200	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Filipinas (28)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gana (32)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25/30	83	-	-	-	-	-	-	-	-	23/30	77
India (24)	0/233	0	8/241	3	0/233	0	6/241	2	50/233	2	233/233	100	8/8	100	-	-	-	-	-	-	1/241	0,41
Libano (27)	28/60	46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
México (11)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nepal (29)	-	-	18/120	15	-	-	-	-	-	-	24/120	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nigeria (26)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11/25	44	-	-	-	-	-	-	-	-
Pakistán (25)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perú (17,18)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Portugal (30)	4/20	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
República del Congo (31)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Venezuela (9,10)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 2. Recuento de microorganismos indicadores de calidad sanitaria de diferentes muestras por país (Parte II)

P: número de muestras que superan los niveles permitidos por la normativa correspondiente en el país/número total de muestras analizadas.

% porcentaje de muestras que superan los niveles permitidos por la normativa correspondiente en el país.

-:parámetro no analizado en la fuente de información

Evaluación de las prácticas correctas de higiene en la elaboración y venta de comida expendida en la vía pública

En las tablas 3, 4 y 5 se observa los resultados de la evaluación al cumplimiento de las prácticas correctas de higiene, las preguntas (parámetros) fueron tomadas de las publicaciones 4, 7, 8, 18, 27, 33, 38, 39, 40, 41, 42 y 43 realizadas en los puestos de venta de comida en la vía pública en 12 países. Considerando que no se ha usado un listado estándar

de evaluación en cada publicación se presenta un compendio de parámetros en función de aportar a una completa visión de las condiciones de higiene en los puestos de venta. Los parámetros se agruparon en torno a prácticas de higiene de: utensilios, materiales y operaciones; manipulador; puesto de venta y accesibilidad a servicios. Se resalta que en España los puestos de venta corresponden a food trucks, con diferente estructura que los evaluados en los otros países.

Parámetros evaluados con respecto a prácticas de higiene de utensilios, materiales y operaciones	INDIA n=13	VIETNAM n=40	LÍBANO n= 30	COLOMBIA n= 15	PERÚ n=61	BRASIL n=66	ETIOPÍA n=110	BRASIL n= 57	ESPAÑA n= 20	NIGERIA n=300	BRASIL n= 43	SUD AFRICA n= 45
Limpieza de utensilios con agua y jabón (para uso del cliente)	-	77,5	56,7	13	3,3	45	38	-	-	-	60	-
Utensilios cubiertos (para uso del cliente)	-	-	0	13	-	45	-	38	-	-	60	-
Limpieza frecuente de utensilios (no para uso del cliente) en la elaboración y expendio de alimentos	-	-	-	-	-	-	-	2	0	-	60	-
Material adecuado para la limpieza de superficies en contacto con los alimentos	-	-	23,3	13	4,9	45	-	-	-	-	-	-
Se usa desinfectantes para la limpieza de superficies	-	-	3,3	13	-	45	-	-	-	-	-	-
No hay contacto directo con alimentos	-	-	-	13	-	45	-	-	5	-	-	-

¿Hay espacio suficiente para la realización de las operaciones de manipulación?	-	-	-	-	-	-	-	-	40	-	-	-
¿No se observa contaminación cruzada entre alimentos crudos y cocinados, o se ve probable que tenga lugar una contaminación cruzada?	-	75	36,7	-	-	-	-	27	35	-	91	-
No se usa el mismo utensilio para todo tipo de alimento	-	-	6,7	-	-	-	-	-	-	-	30	-
Se separan las tablas de cortar para alimentos crudos y cocinados	-	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	0
¿El almacenamiento de los alimentos se lleva a cabo a la temperatura adecuada? (Arriba de 60° o bajo 5°)	-	-	43,3	13	-	50	-	-	30	-	46	-
Se controla la temperatura del lugar de almacenamiento con un termómetro	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
¿El almacenamiento de los alimentos que no precisan de temperatura regulada, se lleva a cabo de forma correcta?	-	-	-	-	-	-	-	-	35	-	-	-
¿Los alimentos terminados están protegidos de la contaminación?	-	67,5	56,7	-	3,3	-	-	-	65	-	86	-
¿No se observan fuentes potenciales de contaminación?	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-
Materias primas están empacadas e identificadas por: nombre del producto, fecha y vida útil después de abrir o retirar el embalaje original.	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	95*	-
Alimentos servidos al cliente sin contacto directo con papel periódico o papel usado o reciclado.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-
No se reúsan los alimentos sobrantes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	77	-
Sirven la comida en platos desechables	85,72	-	-	33	-	-	-	-	-	-	-	-
Buenas prácticas de higiene *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90,3	-	-
FUENTE BIBLIO-GRÁFICA	(38)	(39)	(27)	(4)	(18)	(7)	(33)	(8)	(40)	(41)	(42)	(43)

Tabla 3. Porcentaje de cumplimiento de los parámetros evaluados con respecto a las prácticas de higiene de utensilios, materiales y operaciones.

* Parámetro colocado de manera general.

n= número de puestos evaluados. Dato diferente según la fuente revisada.

-parámetro no analizado en la fuente de información

Ningún puesto de venta cumple con todos los parámetros evaluados (Tabla 3). Éstos corresponden a medidas básicas como el lavado de los utensilios con agua y jabón, que en las publicaciones 4, 7, 18, 27, 33, 39, 42 se incluyen, o utensilios cubiertos para evitar contaminación cruzada (4, 7, 8, 27, 42).

Solamente la referencia 42 preguntó sobre la disposición final de los productos preparados que no fueron vendidos en su totalidad durante el día de trabajo, el 77% respondió que no reutiliza estos alimentos para la venta del día siguiente. Esta práctica es importante considerando las condiciones en las

que son almacenados y expendidos dichos productos durante la jornada de trabajo (46).

En el estudio 41, donde evaluaron a 300 puestos de

venta, el dato de cumplimiento de buenas prácticas de higiene es alto (90,3%), sin embargo, no presenta los parámetros sobre los cuales determinaron este porcentaje.

Parámetros evaluados con respecto a las prácticas de higiene del manipulador	INDIA n=13	VIETNAM n=40	LÍBANO n= 30	COLOMBIA n= 15	PERÚ n=61	BRASIL n=66	ETIOPÍA n=110	BRA- SIL n= 57	ESPAÑA n= 20	NIGERIA n=300	BRASIL n= 43	SUD AFRICA n= 45
Manipuladores con cabello cubierto (uso de redecilla)	0	2,5	23,3	13	0	10	66	41,7	15	-	9	71
Manipuladores sin barba o con cubre barba	-	-	-	13	-	35	-	41,7	45	-	-	-
Manipuladores sin pendientes	71,43	52,5	70	13	-	-	-	41,7	78	-	23	-
Manipuladores sin piercings	-	-	-	13	-	-	-	41,7	96	-	-	-
Manipuladores sin relojes/pulseras	71,43	52,5	70	13	-	-	-	41,7	78	-	23	-
Manipuladores sin anillos	71,43	52,5	70	13	-	-	-	41,7	98	-	23	-
Manipuladores con uniforme limpio	38,09	-	-	13	-	40	10	41,7	48	-	54	-
Manipuladores con mandil limpio	38,09	-	50	13	20	40	10	41,7	43	-	-	-
Ropa sin suciedad visible	-	85	40	13	20	-	-	41,7	91	-	70	-
Uñas limpias y/no largas y/no pintadas	9,52	75	50	13	3,3	80	-	41,7	89	-	53	-
Utilización de guantes o utensilios adecuados	0	15	13,3	13	8,2	-	21	41,7	65	-	98	0
Heridas no visibles	-	-	-	-	-	80	-	-	96	-	-	-
Cambio de guantes	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-
Lavado de manos durante el procesamiento	52,38	47,5	3,3	-	-	0	-	-	0	-	5	100
Se lavan las manos después de manipular dinero	23,81	2,5	0	-	-	-	-	-	-	-	5	-
Se secan las manos con papel toalla o paño limpio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11
Lavado de manos después de ir al baño	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	5	98
Se lavan las manos con agua y jabón	38,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	4
Estado de salud adecuado	4,76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	55
No hay contacto de manipuladores con dinero	-	30	40	-	-	20	-	78	40	-	5	-
No hay contacto con otros objetos	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	40	-
No hay contacto con ojos	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	40	-
No hay contacto con nariz	-	-	-	-	-	-	-	-	93	-	40	-
No hay contacto con boca	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	40	-
Manipuladores no están comiendo o bebiendo	-	-	-	-	-	-	-	-	83	-	40	-

Manipuladores no están fumando	-	100	90	-	-	-	-	-	96	-	40	-
Actitud hacia las buenas prácticas de higiene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	93	-	96
Tienen capacitación sobre seguridad alimentaria	-	5	-	23	28	-	8	-	-	19	-	-
Tiene un certificado de manipulador de alimentos	-	-	-	-	-	80	-	-	-	-	-	-
FUENTE BIBLIOGRÁFICA	(38)	(39)	(27)	(4)	(18)	(7)	(33)	(8)	(40)	(41)	(42)	(43)

Tabla 4. Tabla 4. Porcentaje de cumplimiento de parámetros evaluados con respecto a las Prácticas de Higiene del manipulador.

n= número de puestos evaluados. Dato diferente según la fuente revisada.

-:parámetro no analizado en la fuente de información

En la tabla 4 se observa que en los estudios de las referencias 42 y 44 insertaron en su lista de verificación una pregunta sobre la actitud de los manipuladores hacia las buenas prácticas de higiene. No se describe en detalle los términos que se consideraron para dar una valoración a esta pregunta, sin embargo, el resultado de la evaluación fue de 93 y 96% respectivamente. Esta información se contrapone con la evaluación sobre el conocimiento, ya que a la pregunta ¿se lavan las manos con agua y jabón?, los evaluadores calificaron que solamente el 4% cumple con esta actividad, los demás utilizaban solamente agua que no correspondería a lavado (46, 50).

Por otra parte, se observa que en 7 de las publicaciones que se muestran en la Tabla 4 no incluyeron el tema de la capacitación o el certificado, pudiendo deberse a que este es un requisito para poder trabajar en esta área, sobre entendiéndose que han realizado la capacitación, o que por el contrario es poco probable que haya recibido capacitación.

Los resultados ideales de evaluar las acciones directas del manipulador sobre sí mismo, deberían corresponder a valores del 100% en cada pregunta

planteada en los diferentes artículos. Lamentablemente, ninguna publicación muestra estos valores, es decir hay parámetros elementales que no se cumplen y que no están en dependencia de otras circunstancias o personas, más bien son decisiones propias, como el caso del cabello, la barba, las uñas, la joyería (piercings, pendientes, relojes, pulseras, anillos), se suma la ropa, el uniforme y/o mandil limpios, que en ningún caso evaluado se alcanzó el 100%.

Otro ítem relevante es el lavado de manos antes de manipular los alimentos o cuando se haya realizado una actividad que puede traer contaminación como: salir del servicio higiénico, fumar, comer, tocarse la nariz, el cabello o los ojos sumado a esto manipular dinero. Los manipuladores pueden conocer que todo lo mencionado es vehículo de contaminación de alimentos, aún más de los alimentos preparados que no tendrán una etapa (cocción o fritura) en la que se disminuya los peligros microbiológicos (51), sin embargo, lo realizan, ahí se resalta el conocimiento, la actitud y la concienciación de quienes trabajan preparando y expendiendo alimentos.

PRÁCTICAS DE HIGIENE DEL PUESTO DE VENTA Y ACCESIBILIDAD A SERVICIOS	INDIA n=13	VIETNAM n=40	LÍBANO n= 30	COLOMBIA n= 15	PERÚ n=61	BRASIL n=66	ETIOPÍA n=110	BRASIL n= 57	ESPAÑA n= 20	NIGERIA n=300	BRASIL n= 43	SUD AFRICA n= 45
Limpieza de los alrededores del puesto de venta	28,57	12,5	56,7	27	0	-	-	-	-	-	84	-
No existen animales, moscas, etc. alrededor del puesto	-	62,5	56,7	27	-	-	-	-	-	-	84	-
Ausencia de olores desagradables cerca del puesto de venta	61,9	-	56,7	-	-	-	-	-	-	-	84	-
Puesto de venta exclusivo para el expendio de alimentos	-	-	-	-	98,4	-	-	-	-	-	-	-

Limpieza de superficies en contacto con los alimentos (Puesto de venta)	-	67,5	50	13	8,2	45	78	37	0	-	77	-
Estado adecuado de conservación del puesto de venta	-	-	-	-	17,5	45	-	-	-	-	72	-
Construcción del puesto de venta con materiales de grado alimentario	-	-	40	13	-	45	-	-	-	-	-	2
Puesto de venta con protección contra el sol, el viento y el polvo	-	47,5	43,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Facilidad para proteger el puesto de venta cuando no está siendo utilizado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	64	-
Disponibilidad de agua potable cerca del puesto de venta	14,28	47,5	66,7	13	-	5	-	-	-	-	-	0
Disponibilidad de instalaciones para lavar cerca del puesto de venta	19,05	52,5	26,7	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Acceso a un baño cerca del puesto de venta	4,76	-	-	-	-	0	-	-	-	-	79	2
Facilidad para eliminar los residuos	14,28	70	26,7	-	0	-	-	48,4	-	-	35	-
Dispone de tacho de basura en el puesto de venta	42,86	-	-	27	-	-	-	11,6	-	-	-	-
Almacenamiento de agua en depósitos limpios	-	-	-	-	11,5	-	-	-	-	-	23	-
Conexión a suministro de agua potable	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	2
Tiene permiso de funcionamiento (licencia sanitaria)	-	-	-	-	-	90	-	10	-	18	-	-
Iluminación adecuada en el área de preparación de alimentos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	-
FUENTE BIBLIOGRÁFICA	(38)	(39)	(27)	(4)	(18)	(7)	(33)	8)	(40)	(41)	(42)	(43)

Tabla 5. Porcentaje de cumplimiento de Parámetros evaluados con respecto a las prácticas de higiene del puesto de venta y accesibilidad a servicios. n= número de puestos evaluados. Dato diferente según la fuente revisada. -parámetro no analizado en la fuente de información.

En la tabla 5, se observan 18 ítems que evalúan las prácticas de higiene en torno al puesto de venta y accesibilidad a servicios. No todos los parámetros han sido considerados en los estudios, entre estos se encuentra el permiso correspondiente para funcionar (licencia sanitaria). Considerando las regulaciones en cada país o ciudad donde se encuentran estos puestos de venta deberían contar con este documento, sin embargo, no se puede afirmar ya que solamente las referencias 7, 8 y 41 muestran esta información.

La limpieza de superficies en contacto con los alimentos es el parámetro comúnmente evaluado, 9 de 12 publicaciones lo incluyen. En cuanto a la

ubicación del puesto en relación a la limpieza de los alrededores o que no exista fuentes visibles de contaminación, se observa valores desde 12,5% de cumplimiento en Vietnam, hasta 84% en Brasil.

IV. DISCUSIÓN

Los alimentos que se venden en la calle son comidas preparadas a precios relativamente económicos que, por su disponibilidad y sabor atractivos, son muy populares en la cultura alimentaria de los países (8,19,24), pero a su vez constituyen vehículos potenciales para el desarrollo de microorganismos debido a su naturaleza, la falta de higiene en la elaboración. Todo esto asociado al puesto de venta y al

escaso conocimiento sobre seguridad alimentaria por parte de los manipuladores (27, 33), lo que conlleva a casos de ETAs.

Varios de los artículos publicados muestran que los consumidores de comida callejera son propensos a enfermedades causadas por bacterias patógenas como *Escherichia coli*, *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens* y *Vibrio cholera* (11, 30), existiendo la necesidad de una estricta vigilancia de la seguridad microbiana de los alimentos que se venden en la vía pública.

La comida callejera étnica es común en países asiáticos, siendo bastante popular el consumo entre la población local y los turistas (25). La información obtenida sobre esta realidad en países latinoamericanos también evidencia una presencia importante de productos expendidos en la calle; mientras que ha sido compleja la búsqueda de artículos que mencionen la temática en países europeos. El Real Decreto 199/2010 (34), regula el ejercicio de la venta ambulante no sedentaria en España, por tanto, los puestos de venta deben cumplir con parámetros exigentes que requieren una inversión considerable. En cuanto a los países en vías de desarrollo en los que estas regulaciones son más flexibles, la tasa de comercio informal es alta, incrementando el incumplimiento de prácticas correctas de higiene (35).

La evaluación de las prácticas de higiene pertinentes a la elaboración y venta de alimentos en la vía pública se relaciona directamente con la calidad microbiológica de los alimentos que ingieren los consumidores, por tanto, es igual o más importante que el análisis microbiológico de los productos. Lo anterior fundamentado en que la probabilidad de contaminación microbiana es alta debido a que no hay protección contra las fuentes de origen/vehículo (polvo, viento, animales) de estos microorganismos (36), sumado a la estructura, diseño y material con el que está construido el puesto de venta (países en desarrollo) se vuelve imposible aislar el lugar de expendio de la contaminación externa. Por lo anterior, es importante guiar/controlar el diseño y el material del puesto de venta móvil.

Con respecto a prácticas de higiene de utensilios,

materiales y operaciones, en los puestos de venta que no usan utensilios desechables para el cliente (cucharas, tenedor, cuchillo, etc.), éstos deberían ser lavados, desinfectados y almacenados correctamente, garantizando al cliente que estos objetos no transmitan peligros biológicos y/o químicos. En cuanto a las pinzas, cucharones, espátulas, etc. en contacto con los alimentos deben ser lavados frecuentemente, y no usarse desde el inicio al fin de las operaciones sin ninguna limpieza intermedia. Esta práctica es realizada en la industria de alimentos, para garantizar la inocuidad de los productos (44).

Continuando con medidas que prevengan contaminación cruzada, es importante el uso de materiales adecuados para almacenar o proteger a los alimentos, así como para limpiar y desinfectar las superficies. Esto evitará el paso de agentes biológicos de un producto (alimentos crudos, productos cárnicos) a otros (alimentos cocidos, vegetales), o de una superficie (esponja o paños sucios) a otras (mesones, tablas, utensilios, etc.) (45).

Otro factor a controlar es la temperatura, la mayoría de los alimentos expendidos en la calle (Tabla 1), son cocidos o fritos, esto indica que al menos llegan a temperaturas de ebullición del agua, por lo que las siguientes etapas son críticas para evitar contaminación o desarrollo acelerado de microorganismos. El almacenamiento adecuado de los productos expendidos al consumidor debe realizarse de forma correcta (arriba de 60° o bajo 5°) (45). Las materias primas sobre todo de origen animal deben mantenerse en refrigeración o congelación, adicional se debe identificarlas para utilizarlas en el período de vida útil, por esto la temperatura es un factor a controlar (46).

Con base en el número de puestos de venta que expenden comida en las calles se podría considerar una industria alimentaria prominente que juega un papel importante y representa la mayor parte de la cultura alimentaria en muchos países en desarrollo, siendo la mujeres e inmigrantes las principales protagonistas de esta economía (2, 8, 19, 24). Además, contribuyen al mantenimiento de prácticas alimentarias tradicionales especialmente en los países mencionados. Por otra parte, están los riesgos asociados con estos alimentos que deben ser controlados para garantizar la inocuidad alimentaria.

Con respecto al manipulador de alimentos, este constituye el pilar fundamental en las prácticas correctas de higiene. La mayoría de los vendedores más aún en la vía pública en países con economías emergentes no han recibido entrenamiento que tenga una estructura y conlleve a un certificado.

Su conocimiento al respecto puede mejorar a través del tiempo, eso no significa que ejecuten sus actividades correctamente, ya que aunado al conocimiento está la actitud que ha sido ampliamente estudiado en otras investigaciones (47,48, 49,50,51).

El monitoreo de los riesgos de inocuidad alimentaria es crucial para salvaguardar, garantizar la seguridad y preservar la sostenibilidad de los negocios (52, 53), por lo tanto, merecen una atención especial de todos los sectores a través de una intervención significativa para mitigar los peligros en su consumo (54).

Por lo anterior, es necesario que los consumidores conozcan la calidad higiénica de estos alimentos, educar a los manipuladores sobre las condiciones higiénicas y, por último, las autoridades gubernamentales deberían regular la vigilancia sanitaria para controlar las condiciones de preparación en los puestos en la vía pública. Esto último se vuelve complejo debido al número de vendedores en

comparación a los inspectores debiendo utilizarse una herramienta práctica de evaluación integral del puesto de venta, como el desarrollado en el estudio “The role of street food in the urban food system” (55), que muestra una lista rápida de inspección para evaluar las prácticas higiénicas reales de los vendedores ambulantes de alimentos en menos de 20 minutos. Siempre enfatizando que de base está la concienciación de los actores involucrados para disminuir o eliminar las ETAs ocasionados por este tipo de alimentos (56, 57,58).

V. CONCLUSIONES

La necesidad de mantener buenas prácticas de higiene es evidente, en toda la cadena agroalimentaria indistintamente del volumen de producción, transformación o comercialización de alimentos, es decir, aplica también a los puestos de venta ambulantes. La concienciación en los manipuladores sobre la importancia de aplicar las medidas de higiene es fundamental para garantizar inocuidad en estos alimentos. Es necesario entonces la creación de una cultura de inocuidad alimentaria que solamente se puede conseguir con una investigación pertinente en torno a los tipos de consumidores y expendedores para crear programas personalizados de acuerdo a las necesidades de los distintos grupos involucrados.

Referencias

1. Durán-Agüero S, et al. Caracterización del consumo de comida callejera según edad, estudio multicéntrico. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*. 2018; 22: 243-250.
2. Bellia C, Pilato M, Séraphin H. Street food and food safety: A driver for tourism? *Quality - Access to Success*. 2016; 17:20-7.
3. Organización Mundial de la Salud [Página principal en Internet], Ginebra [actualizada en abril de 2020; acceso 15 de mayo 2020]. [aprox. 6 pag]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/food-safety#>
4. Bayona M. Evaluación microbiológica de alimentos adquiridos en la vía pública en un sector del norte de Bogotá. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. [Internet]. 2009 [Citado 10 Agosto 2020]; 12: 9-17. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262009000200002&lng=en.
5. Morales N, Herrera R, Jiménez L. Diagnóstico higiénico-sanitario en venta de alimentos callejeros ubicados en la entrada de la Universidad del Atlántico Área Metropolitana de Barranquilla – Colombia. *Revista Alimentos Hoy* [Internet]. 2019 [citado 14Mayo 2020]; 27(46): 15-30. Disponible en: <https://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/view/514/398>
6. Campuzano S, Flórez D, Ibarra C, Sánchez P. Determinación de la calidad microbiológica y sanitaria de alimentos preparados vendidos en la vía pública de la ciudad de Bogotá. *NOVA*. 2015; 13: 81-92.
7. Kothe C, Schild C, Tondo E, da Silva Malheiros P. Microbiological contamination and evaluation of sanitary conditions of hot dog street vendors in Southern Brazil. *Food Control*. 2016; 62:346-50.
8. Couto J, de Sao Jose J. Prácticas de manipulación de alimentos y calidad microbiana en la comida

callejera. *Journal of Food Nutrition Research*. 2019; 7: 319-324.

9. Albanys D, Lisette S, Quintero B. Calidad microbiológica de ensaladas crudas que se expenden en puestos ambulantes de comida rápida de la ciudad de Maracaibo-Venezuela. *Kasmera* [Internet]. 2018 [Citado 20 Julio 2020]; 46(2):116–26. Disponible en: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-1008103>
10. Arroyo A, Bencomo M, Bianco H. Perfil microbiológico de la chicha de venta ambulante en Barquisimeto, Estado Lara, Venezuela. *Salud, Arte y Cuidado* [Internet]. 2011 [citado 21 Mayo 2020]; 4(1):13–24. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3697047>
11. Reséndiz R, Jiménez H, Delgado V, Romero S, Villafuerte G, Nájera D. Calidad bacteriológica del taco de consumo por los habitantes del municipio de Tecamachalco. *AICA* [Internet]. 2018 [citado 20 mayo 2020]; 12:70–76. Disponible en: https://aicarevista.jimdo.com/app/download/17711663225/AICA2018Ecuador_Trabajo017.pdf?t=1580214720
12. Carrión W, Tinoco M. Estudio de la presencia de *Escherichia coli* O157:H7 en los puestos de venta ambulantes de cebiche de pescado en la ciudad de Pasaje [Tesis de maestría]. Cuenca: Universidad de Azuay; 2016. Recuperado a partir de: <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/5147/1/11578.pdf>
13. Cáceres C, Guillén A. Evaluación de la calidad microbiológica de espumillas y empanadas de viento de venta ambulante en los espacios públicos de la ciudad de Cuenca [Tesis de pregrado]. Cuenca: Universidad de Cuenca; 2018. Recuperado a partir de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30687>
14. Calderón R, Jácome J, Reyes M, Rojas D, Cando L. Consideración básica sobre la seguridad microbiológica de los jugos de naranja expendidos en los alrededores de la Universidad Politécnica Salesiana-sede Quito, campus “El Girón” [Tesis de pregrado]. Quito: Universidad Politécnica Salesiana; 2017. Recuperado a partir de: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13880>
15. Tapia M, Fuertes A, Mina J. Enfermedades transmitidas por alimentos relacionadas con la aplicación de normas de higiene en su preparación y expendio por parte de vendedores/as ambulantes y de bares escolares en la ciudad de Tulcán. *SATHIRI*. 2014; 7:135–43.
16. Muriel J, Terán R. Determinación de la presencia de *Salmonella* spp. en alimentos de venta ambulante muestreados en el parque “La Carolina” del Distrito Metropolitano de Quito [Tesis de pregrado]. Quito: Universidad Central del Ecuador; 2019. Recuperado a partir de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/19249/1/T-UCE-0008-CQU-151.pdf>
17. Vásquez V. Calidad microbiológica e higiénico-sanitaria en alimentos preparados expendidos en la vía pública en el Distrito de Florencia de Mora, enero a abril 2014. *Cientifi-k*. 2015; 3:11-16
18. Quispe M, Sánchez P. Evaluación microbiológica y sanitaria de puestos de venta ambulatoria de alimentos del distrito de Comas, Lima Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*. 2001; 18:27–32.
19. Al Mamun M, Rahman S, Turin T. Microbiological quality of selected street food items vended by school-based street food vendors in Dhaka, Bangladesh. *International Journal of Food Microbiology*. 2013; 166: 413-418.
20. Banik A, Abony M, Datta S, Towhid S. Microbial Status and Multidrug Resistance Pattern of Pathogenic Bacteria Isolated from Street Food in Dhaka City, Bangladesh. *Journal of Advances in Microbiology*. 2018; 13:1–13.
21. Yadav N, Yadav R, Prakash S. Bacterial Contamination of Street Vended Food Pani Puri Available in Janakpurdham, Dhanusha. *Tribhuvan University Journal of Microbiology*. 2019; 6: 70-75.
22. Hassan Z, Islam S, Hena A, Zafor A, Scott M. Asian Journal of Medical and Biological Research Detection of enteric bacteria in the popular street food chotpoti in Dhaka, Bangladesh. *Asian Journal of Medical and Biological Research*. 2016; 2(4):596–602.
23. Lucky N, Nur I, Ahmed T. Microbiological quality assessment for drug resistant pathogenic microorganisms from the fresh vended fruit juices. *Stamford Journal of Microbiology*. 2017; 6(1):7-10.
24. Kharel N, Palni U, Tamang J. Microbiological assessment of ethnic street foods of the Himalayas. *J Ethn Foods* [Internet]. 2016 [citado 14 agosto 2020]; 3(3):235–41. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jef.2016.01.001>
25. Mehboob A, Abbas T. Evaluation of microbial quality of street food in Karachi City, Pakistan: An epidemiological study. *Microbiology Research*. 2019; 10: 1-7.
26. Ayoade A, Gbolahan S. Assessment of Road Side Snacks’ Microbiological Qualities in Ilese-Ijebu Southwestern Nigeria : Implications on Packaging and Bioaerosol Monitoring. *ABC Research Alert*. 2017; 5:9-18.

27. Loukieh M, Mouannes E, Abou Jaoudeh C, Hanna W, Fancello F, Bou M. Street foods in Beirut city: An assessment of the food safety practices and of the microbiological quality. *Journal of Food Safety*. 2018; 38:1-11
28. Trecene J, Veronica M, Carmela W. Consumer awareness and the presence of coliform bacteria in sweet sauce used by the street food vendors. *International Journal of Pharma Sciences and Research*. 2019; 10:317–320.
29. Yadav N, Yadav R. Bacterial Contamination of Street Vended Food Pani Puri. *Tribhuvan University Journal of Microbiology*. 2019; 6:70–75.
30. Campos J, Gil J, Mourão J, Peixe L, Antunes P. Ready-to-eat street-vended food as a potential vehicle of bacterial pathogens and antimicrobial resistance: An exploratory study in Porto region, Portugal. *Int J Food Microbiol* [Internet]. 2015 [citado 15 Agosto 2020]; 206:1–6. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.04.016>
31. Makelele L, Kazadi Z, Oleko R, Foma R, Mpalang R. Microbiological quality of food sold by street vendors in Kisangani, Democratic Republic of Congo. *African Journal of Food Science*. 2015; 9: 285-290.
32. Abakari G, Cobbina SJ y Yeleliere E. Calidad microbiana de ensaladas de verduras listas para comer que se venden en el distrito comercial central de Tamale, Ghana. *Revista Internacional de Contaminación de Alimentos*. 2018; 5:3.
33. Nemo R, Bacha K, Ketema T. Microbiological quality and safety of some-street-vended foods in Jimma Town, southwestern Ethiopia. *African Journal of Microbiology Research*. 2017; 11: 574-585.
34. Boletín Oficial del Estado Núm. 634173 Real Decreto 199/2010, de 26 de febrero 2010. [página principal en internet], Parlamento Europeo [Actualizado el sábado 13 de marzo de 2010; acceso 1 julio 2020]. Sec. I. Pág. 25022 I. Disponible en: <http://www.boe.es> D. L.: M-1/1958 - ISSN: 0212-033X
35. Casalombo C. Relación entre el tamaño de la economía informal y el sector empresarial en Ecuador: Evidencia de cointegración y causalidad de Granger. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*. 2018; 25: 215-243.
36. Jay J, Loessner M, Golden D. *Microbiología moderna de los alimentos*. 5ª ed. España: Acribia, S.A; 2009.
37. Sánchez J, Correa M, Castañeda, L. *Bacillus cereus* un patógeno importante en el control microbiológico de los alimentos. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*. 2016; 34: 230-242.
38. Ghatak I, Chatterjee S. Urban Street vending practices: an investigation of ethnic food safety knowledge, attitudes, and risks among untrained Chinese vendors in chinatown, Kolkata. *Journal of Ethnic Foods*. 2018;5(4):272–85.
39. Samapundo S, Thanh T, Khaferi R, Devlieghere F. Food safety knowledge, attitudes and practices of street food vendors and consumers in Ho Chi Minh city, Vietnam. *Food Control*. 2016; 70: 79-89.
40. Montero C, Celaya C, Martín R. Evaluación de las prácticas higiénico-sanitarias en Food Trucks. Implicaciones para la Seguridad Alimentaria. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*. 2019; 39(3), 96-103.
41. Yahaya F, Suriani I, Saliluddin S, Jibrin A. Factors Associated with Food Hygiene Practices Among Street Food Vendors in Selected Food Vending Locations of Bauchi Metropolis, Nigeria. *International Journal of Public Health and Clinical Sciences*. 2018; 5: 196-208.
42. Cortese M, Veiros M, Feldman C, Cavalli S. Food safety and hygiene practices of vendors during the chain of street food production in Florianopolis, Brazil: A cross-sectional study. *Food Control*. 2016; 62: 178-186.
43. Lues, J, Rasephei M, Venter P, Theron M. Assessing food safety and associated food handling practices in street food vending. *International journal of environmental health research*. 2007; 16(5): 319–328.
44. Stranks J. *The AZ of food safety*. 1ª ed. London: Thorogood Publishing Ltd; 2007.
45. Schmidt R, Rodrick G. *Food safety handbook*. 1ª ed. New Jersey: John Wiley & Sons; 2003.
46. Vintilă I. Typical traditional processes: cooking and frying. In *Regulating safety of traditional and ethnic foods*. Academic Press. En Vishweshwaraiah Prakash, Olga Martín-Belloso, Huub Lelieveld, editores. *Regulating Safety of Traditional and Ethnic Foods*. Elsevier, 2016. p.29-62.
47. Sezgin A, Şanlıer N. Street food consumption in terms of the food safety and health. *Journal of Human Sciences*. 2016; 13: 4072-4083.
48. McIntyre L, Vallaster L, Wilcott L, Henderson S, Kosatsky T. Evaluation of food safety knowledge, attitudes and self-reported hand washing practices in Foodsafe trained and untrained food handlers in British Columbia, Canada. *Food Control*. 2016; 30(1): 150-156.

49. Da Cunha D, Stedefeldt , de Rosso V. The role of theoretical food safety training on Brazilian food handlers' knowledge, attitude and practice. *Food Control*. 2014; 43: 167-174.
50. Chapman B, Eversley T, Fillion K, MacLaurin T, Powell D. Assessment of food safety practices of food service food handlers (risk assessment data): testing a communication intervention (evaluation of tools). *Journal of Food Protection*. 2010; 73(6): 1101-1107.
51. Mohd Abd Majid H.A, Mohd Sa'ad M.S, Mohd Noor N, Ramli N, Wan Nawawi W.N, Anuar J. Knowledge, Attitude and Practices of Food Safety Hazards among Street Food Handlers towards Sustainability of Food Industry. En: Kaur N., Ahmad M. (editores) *Charting a Sustainable Future of ASEAN in Business and Social Sciences*. Springer, Singapore; 2020. p. 519-53.
52. Jahan M, Rahman M, Rahman, M. et al. Microbiological safety of street-vended foods in Bangladesh. *J Consum Prot Food Saf* . 2018;13; 257–269.
53. Alimi, B. Risk factors in street food practices in developing countries: A review. *Food Science and Human Wellness*. 2016; 5: 141-148.
54. Soon J. Rapid Food Hygiene Inspection Tool (RFHiT) to assess hygiene conformance index (CI) of street food vendors. *LWT*. 2019; 113:108304.
55. Privitera D, Nesci, F. Globalization vs. local. The role of street food in the urban food system. *Procedia Economics and Finance*. 2015; 22, 716-722.
56. Shahidi F. Does COVID-19 Affect Food Safety and Security?. *Journal of Food Bioactives* [Internet]. 2020 [citado 11 Agosto 2020]; 90. Disponible en: <http://www.isnff-jfb.com/index.php/JFB/article/view/125>
57. Powell, D, Jacob C, Chapman B. Enhancing food safety culture to reduce rates of foodborne illness. *Food Control*.2011; 22(6): 817-822.
58. Okour A, Alzein E, Saadeh, R. Food safety knowledge among Jordanians: A national study. *Food Control*. 2020; 114:107216.

EL ANÁLISIS DE SUPERVIVENCIA EN LA GESTIÓN DEL RIESGO DE CRÉDITO: EL CASO DE UNA CARTERA HIPOTECARIA ECUATORIANA.

Survival analysis in credit risk management: the case of an Ecuadorian mortgage portfolio.

¹Luis Felipe Guevara , ¹Miguel Flores , ²Ana Cabezas-Martínez* 

¹Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ciencias, Departamento de Matemáticas, MODES / SIGTI, Quito, Ecuador.

²Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Departamento de Estudios Políticos, Quito, Ecuador.

*ana.cabezas90@gmail.com

R esumen

El presente documento pretende analizar la aplicación del análisis de supervivencia, y específicamente del modelo de cox en un ámbito como el financiero, mismo que no ha sido tradicionalmente abordado en América Latina. Para ello, en primera instancia se ha descrito y analizado la bibliografía existente con respecto a los beneficios que la aplicación del análisis de supervivencia deriva en la dinámica del sistema financiero formal, posteriormente se ha propuesto un procedimiento metodológico que permita aplicar un análisis de supervivencia a una cartera de créditos hipotecario pertenecientes a una entidad financiera ecuatoriana, con el propósito de segmentarla e identificar situaciones internas y externas de cara a la definición de estrategias diferenciadas tanto para la concesión crediticia como para la gestión de cobranzas. Finalmente, se pretendió automatizar el análisis realizado a través de la programación en el software R y con ello facilitar la reproducción y parametrización del mismo de cara a su implementación como parte de las acciones de gestión y mitigación del riesgo de crédito asociado a la cartera hipotecaria analizada.

Palabras claves: Dinámica del sistema financiero, concesión crediticia, análisis de riesgo.

A bstract

This document aims to analyze the application of survival analysis, and specifically the cox model in an area such as finance, which has not traditionally been addressed in Latin America. In the first instance the existing bibliography has been described and analyzed with respect to the benefits that the application of the analysis of survival derives in the dynamics of the formal financial system, later a methodological procedure has been proposed that allows to to apply a survival analysis to a mortgage portfolio loans belonging to an Ecuadorian financial institution, with the purpose of segmenting it and identifying internal and external situations in order to define differentiated strategies for both the credit granting and the collection management. Finally, the analysis was automated through programming in the R software, thus facilitating its reproduction and parameterization for its implementation as part of the credit risk management and mitigation actions associated with the mortgage portfolio analyzed.

Keywords: Financial system dynamics, credit granting, risk analysis.

Fecha de recepción: 15-05-2021

Fecha de aceptación: 03-09-2021

Fecha de publicación: 13-10-2021

I. INTRODUCCIÓN

El sistema financiero, en tanto se constituye en un esquema organizado que traslada liquidez desde unidades excedentarias hacia unidades de-

ficitarias, aporta significativamente en la transformación del ahorro en inversión, y con ello al crecimiento económico de un país, dependiendo de las particularidades de cada una de las economías. (1)

En esta línea, la sostenibilidad de las instituciones financieras, es un elemento relevante en el buen funcionamiento del engranaje denominado sistema financiero. Una de las aristas que contribuyen a este fin, es el adecuado manejo del riesgo de crédito, entendido como la administración de la posibilidad de pérdida suscitada por el no pago de obligaciones acordadas (2).

Entre los procesos planteados para la administración y gestión del mencionado riesgo, se realizan actividades de revisión permanente del portafolio de créditos, las cuales buscan pre-identificar situaciones de mayor probabilidad de incumplimiento o deterioro de cartera a través del monitoreo de diferentes variables (3).

Para ello, a través de diferentes técnicas estadísticas las diferentes entidades buscan estimar la probabilidad de que un cliente pueda ser buen o mal pagador, de acuerdo a sus particularidades, en el mejor de los casos, a través de la implementación de mecanismos de calificación estadística (scoring) que utilizan modelos binarios logit o probit, y así mejorar los procesos de selección de clientes y posteriormente de gestión de cobranzas (4).

Por otra parte, se puede mencionar que, con el devenir del tiempo, el control de calidad, y específicamente el control estadístico de la calidad, se ha constituido en una práctica, inicialmente aplicada en el sector industrial, que se ha extendido hacia los diferentes sectores productores de bienes y servicios, públicos y privados (5).

El enfoque de control estadístico de calidad para monitorear el desempeño de un proceso cobra relevancia, ya que a través de la sistematización del mismo se puede tener una visión global y simultánea de los resultados del proceso, haciendo factible la retroalimentación del mencionado de forma oportuna (6).

En esta lógica se inserta el denominado “análisis de supervivencia”, cuyos inicios se produjeron a través de la elaboración de las tablas de mortalidad atribuidas al astrónomo Edmon Halley quien utilizó en primera instancia un registro de funerales y nacimientos en la ciudad de Breslau. Tal como se lo conoce hoy, el análisis de supervivencia se lo aplicó inicialmente en la ingeniería, encaminado a analizar la duración y fiabilidad de los elementos que forman una máquina (7).

Puntualmente, el análisis de supervivencia es un

conjunto de procedimientos estadísticos que posibilitan el estudio de los datos y cuya variable de interés primordial es el tiempo de duración de un evento (8).

La problemática que pretende abordar la presente investigación aplicada, es develar los beneficios que la introducción del análisis de supervivencia, derivado del enfoque de control estadístico de calidad (8), puede detonar en el análisis y administración del riesgo de crédito en entidades financieras, y puntualmente en el caso de la cartera hipotecaria generada por una entidad financiera ecuatoriana.

Específicamente, mediante las técnicas estadísticas tradicionales se estima la probabilidad de pago y no pago de un cliente en una entidad financiera, pero no se identifica y monitorea el tiempo que transcurre desde la concesión del crédito hasta un posible evento de no pago y las razones que motivan ese comportamiento (9).

Es así, que a través de un ejercicio empírico, utilizando el análisis de supervivencia y particularmente el modelo de Cox (semi-paramétrico) se pretende destacar los beneficios que se suscitan de incorporar al tratamiento tradicional del riesgo de crédito el análisis de la temporalidad de no pago, ya que con ello se puede implementar con mayor certeza y de forma anticipada políticas de concesión y gestión crediticia que permitan mantener saludable la cartera de créditos de las diferentes entidades financieras (9). Cabe resaltar, que, en la bibliografía existente, la aplicación de este tipo de modelos en el sector financiero aún es incipiente a nivel de América Latina y obviamente en el Ecuador, por lo cual se torna de interés la realización de investigación aplicada en este campo (10).

Pese a lo mencionado, existe bibliografía de planteamientos y aplicación del análisis de supervivencia vinculado al Sistema Financiero, principalmente, por fuera de América Latina, lo cual denota la factibilidad real de implementar este tipo de análisis a nivel Ecuador. Ejemplo de lo expuesto ha sido la aplicación del análisis de supervivencia con información de clientes de crédito de consumo en un banco Español (11), con información de créditos hipotecarios pertenecientes a minoristas en Estados Unidos (12), con información de créditos personales derivados de las instituciones que ofertan servicios financieros

en Australia (13), con información de créditos generados en el Rabobank Internacional situado en Holanda (14) y con información de créditos corporativos y grandes empresas en Perú entre algunos destacados (10).

Resumiendo, algunos elementos relevantes derivados de las experiencias de análisis y aplicación del análisis de supervivencia en el ámbito del sistema financiero se pueden destacar los siguientes:

- La principal ventaja del análisis de supervivencia es la capacidad de incorporar datos censurados a la información sujeta de análisis (14).
- Existen ejercicios de comparación de técnicas que denotaron que la transformación de logrank (modelo de supervivencia de cox) supera a la transformación logística y otros, en cuanto a la predicción de la probabilidad de supervivencia, principalmente basados en la prueba estadística de Wald (14).
- La identificación de la temporalidad en la cual se puede incurrir en incumplimiento (default) es un elemento importante de cara a mitigar el riesgo de crédito, para lo cual el típico análisis de matrices de transición es insuficiente. Así también se vislumbró la necesidad de incorporar a este tipo de modelos variables asociadas al entorno económico y variables microeconómicas específicas de los deudores (10-15).
- La censura da lugar a errores en las estimaciones de los parámetros para todas las metodologías (16). Es por ello, que en algunos casos se tomaron sub-bases de datos de la base general (créditos que no cumplen con una maduración mínima) con la finalidad de evitar casos censurados innecesarios (9).

Finalmente, en virtud de lo expuesto previamente, la hipótesis a testear en el presente trabajo de investigación aplicada es la siguiente:

“La aplicación e implementación de un modelo de supervivencia conllevaría beneficios de cara a la gestión del riesgo de crédito de una cartera hipotecaria ecuatoriana a través del análisis de la temporalidad en la que podrían suscitarse los “no pagos”, de la identificación de las variables que incidirían en el comportamiento referido; y de la implementación de políticas de crédito y gestión que permitan mitigar anticipadamente los riesgos identificados”

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Metodológicamente, en primera instancia, se elaborará un análisis de supervivencia, mediante el modelo no paramétrico de Kaplan y Meier y particularmente mediante el modelo de Cox para una base de créditos hipotecarios perteneciente a una entidad financiera ecuatoriana. El evento de interés que se constituirá en la variable de interés será la mora mayor a 90 días. Es así que la función de supervivencia a estimar estará relacionada con el tiempo que existe desde el desembolso crediticio hasta la ocurrencia de una mora grave. El procedimiento metodológico que se aplicará será el siguiente:

- Definición de la variable de interés.
- Breve descripción de la base de datos a utilizar.
- Análisis descriptivo de las variables consideradas inicialmente para formar parte del modelo de cox y construcción individual de funciones de supervivencia mediante el método de Kaplan y Meier.
- Formulación del modelo de Cox.
- Verificación de los supuestos del modelo de Cox.
- Interpretación de los resultados
- Segmentación de la base de clientes de la cartera de créditos hipotecarios, a partir del análisis de supervivencia desarrollado con la finalidad de plantear estrategias diferenciadas tanto de concesión como de gestión de cobranzas.

Adicionalmente, se automatizará el análisis de supervivencia a través de la programación del análisis en el software R, con lo cual se podrá facilitar la reproducción y parametrización del análisis de cara a la implementación del análisis como parte de las acciones dentro de la mitigación y gestión de los riesgos de crédito asociados a la cartera hipotecaria analizada.

En lo que respecta al marco teórico del presente trabajo a continuación se detallan el estimador de Kaplan y Meier y el modelo de Cox que forman parte de las técnicas utilizadas dentro del análisis de supervivencia.

Estimador de Kaplan y Meier

El estimador Kaplan-Meier desarrollado en 1958 es un método no paramétrico que estima la probabilidad de supervivencia $\hat{S}(t)$ en el momento en el que se ha suscitado el evento. Para ello, es im-

portante tener en cuenta que para sobrevivir en un momento determinado t , se tiene que haber sobrevivido en todos los instantes anteriores a t (8).

El cálculo de este método parte de una probabilidad condicional compuesta, en la cual se multiplica la supervivencia en el instante anterior y la tasa de supervivencia en ese instante. El detalle explícito del cálculo de la probabilidad de supervivencia bajo este método sería el siguiente (17):

$$\hat{S}(t) = \prod_{j: \tau_j \leq t} \left[1 - \frac{d_j}{n_j} \right] \quad (1)$$

Donde d_j es el número de individuos a los cuales les suscitó el evento de interés en el tiempo t_j , n_j es el número de individuos que se encontraban en riesgo de que les suscitara el evento de interés. Adicionalmente n_j es la muestra original de individuos menos aquellos que fueron censurados o aquellos a los que les suscitó el evento de interés antes del tiempo t_j (18).

Modelo de Cox

Definición y Funciones características: Es una forma funcional utilizada en el análisis de supervivencia conocido también como modelo de riesgo proporcional (desarrollada en 1972), que hace uso de una propuesta semi-paramétrica para encontrar una función que describa el riesgo de ocurrencia de un evento en diferentes períodos de tiempo (19).

El modelo se asemeja a una regresión que describe la relación entre la ocurrencia de un evento de interés o falla y un conjunto de variables. Formalmente, cuando $t \geq 0$ la referida función de riesgo luce de la siguiente manera (9-20).

Donde $B'x$ es el vector de covariables, la parte paramétrica $e^{(B'x)}$ se la conoce como “puntaje de riesgo” y la parte no paramétrica $h_0(t)$ se la conoce como “función de riesgo base” o aquella que describe la probabilidad de ocurrencia del evento cuando todas las variables explicativas son 0.

Algunos de las características relevantes del modelo de Cox son (21). Es producto de una función en t y una función en x ;

Algunos de las características relevantes del modelo de Cox son (21). Es producto de una función en t y una función en x ;

- x es independiente del tiempo;
- La función de riesgo base $h_0(t)$ no depende de x sino exclusivamente del tiempo;
- El exponencial (e) considera las x pero no t ;

- Sigue los supuestos del modelo de riesgo proporcional;

- Las estimaciones de riesgo son no negativas.

La función de supervivencia relacionada al modelo de Cox es la siguiente:

$$S(t|x) = e^{-H_0(t)e^{(B'x)}} \quad (2)$$

La función de distribución del modelo de Cox es la siguiente:

$$F(t|x) = 1 - e^{-H_0(t)e^{(B'x)}} \quad (3)$$

Supuestos del Modelo de Riesgo Proporcional: El supuesto clave del modelo proporcional es que el riesgo de un evento en un grupo es un múltiplo constante del riesgo en cualquier otro grupo (9). Así también se puede mencionar que las tasas de riesgo son proporcionales cuando la relación entre el riesgo de dos individuos con variables explicativas Z y Z^* es constante en el tiempo, siendo el riesgo calculado para cada predictor una proporción del riesgo base h_0 . Este supuesto se verifica a través del comportamiento aleatorio de los residuos de Schoenfeld y de forma relacionada la prueba rho la cual sigue una distribución ji-cuadrada y cuya hipótesis nula es el cumplimiento del supuesto de riesgo proporcional reseñado (22).

Otros supuestos del modelo de riesgo proporcional son los siguientes (23-24):

- No existe influencia de los individuos en la estimación del modelo. Este supuesto se verifica mediante la identificación del comportamiento de los residuos denominados “*desviance*”, los cuales son una transformación de normalización de los residuos de martingala. La no identificación de casos atípicos en la distribución de estos residuos transformados refiere la no influencia de individuos en el modelo de supervivencia desarrollado. El cálculo de este tipo de residuos obedece a la siguiente fórmula:

$$d_i = \text{sgn}(\hat{M}_i) * \sqrt{-\hat{M}_i - N_i \log((N_i - \hat{M}_i)/N_i)} \quad (4)$$

- No existe influencia de los individuos en la estimación de cada parámetro del modelo. Este supuesto se verifica mediante la identificación del comportamiento de los residuos denominados “*score*”. La no identificación de casos atípicos en la distribución de estos residuos refiere la no influencia de los coeficientes en el modelo de supervivencia desarrollado. Los residuos “*score*” se definen de la siguiente manera:

$$U_{ij} = U_{ij}(\hat{\beta}, \infty) \quad (5)$$

Donde $U_{ij}(\beta, t), j=1, \dots, p$ son las componentes del

vector fila de longitud p , obtenido mediante el proceso de score para el i -ésimo individuo:

$$U_i(\beta) = \int_0^t [Z_i(s) - \bar{Z}(\beta, s)] dN_i(s) \quad (6)$$

• Se supone una adecuada forma funcional de cada variable continua. Este supuesto se verifica mediante la identificación del comportamiento de los residuos de martingala. El contraste de los residuos de martingala del modelo frente a los valores de la variable continua, permitirá vislumbrar si la asunción de linealidad se cumple. Los residuos de martingala se definen de la siguiente manera:

$$\hat{M}_i(t) = N_i(t) - \hat{E}_i(t) = N_i(t) - \int_0^t Y_i(s) e^{\beta' Z_i(s)} d\hat{R}_0(\beta, s) \quad (7)$$

Donde $\hat{M}_i(t)$ se deriva de la martingala de un proceso de conteo para el i -ésimo individuo y se define como la diferencia entre el proceso de conteo $N_i(t)$ y la integral de la función de intensidad (25). Dentro de la referida integral $\hat{R}_0(\beta, s)$ es el estimador de riesgo de Breslow o de Nelson y Aalen.

III. RESULTADOS

A. Desarrollo del Análisis de Supervivencia

Definición de la Variable de Interés: La variable de interés es el tiempo en meses que tarda un crédito hipotecario en caer en una mora grave, denominada “tiempoM90pv_2mes” (tiempo de supervivencia). Se define como mora grave al hecho de permanecer en mora por más de 90 días consecutivos luego de la fecha en la cual debía hacerse el pago correspondiente. Explícitamente, la referida variable se condensa en una de tipo binaria denominada “Mayor90”, misma que toma el valor “1” si la operación de crédito hipotecario ha experimentado una mora grave y “0” si no lo ha experimentado durante el período de estudio (caso censurado por la derecha).

El vector conformado por las dos variables mencionadas en cada uno de los casos de los clientes del crédito hipotecario, se constituye en el tipo de variable dependiente requerido para la formulación de un análisis de supervivencia.

Datos: Los datos utilizados para la estimación fueron los créditos hipotecarios activos al 31 de diciembre de 2016 que denotaron una antigüedad de al menos 2 años y fueron destinados a la adquisición de vivienda terminada. Es decir que fueron concedidos entre los años 2008 y 2014. En virtud de lo anterior, el número de observacio-

nes consideradas fue de 79.225 observaciones.

Complementariamente, el tiempo de estudio definido para el presente análisis fue el comprendido entre el 30 de julio del 2008 y el 31 de diciembre de 2016, es decir un período de 102,53 meses u 8,54 años.

Caracterización de Variables – Modelo Kaplan – Meier:

a) Variable: Subregión Geográfica

La variable subregión geográfica (SubReg) es una variable nominal que agrupa en subregiones geográficas las provincias en las cuales los clientes obtuvieron su crédito hipotecario en seis (6) opciones de respuesta: “SIERRA_N (CAR., IMB., PIC.)”, “SIERRA_C (COT., TUNG., BOL., CHI)”, “SIERRA_S (CAÑ., AZU., LOJ.)”, “COSTA (incluye STO.DOM. y GAL.)”, “ORIENTE_N (SUC., NAP., ORE.)” y “ORIENTE_CS (PAS, MOR., ZAM.)”.

SubReg	Mayor90		Row Total
	0	1	
SIERRA_N (CAR., IMB., PIC.)	28138	2442	30580
	92%	8%	38,60%
	39,40%	31,50%	
ERRA_C (COT., TUNG., BOL., CHI)	3368	214	3582
	94%	6%	4,50%
	4,70%	2,80%	
SIERRA_S (CAÑ., AZU., LOJ.)	4816	265	5081
	94,80%	5,20%	6,40%
	6,70%	3,40%	
COSTA (incluye STO. DOM. Y GAL)	33370	4483	37853
	88,20%	11,80%	47,80%
	47%	58%	
ORIENTE_N (SUC., NAP., ORE)	1169	298,00%	1467
	79,70%	20,30%	1,90%
	1,60%	3,80%	
ORIENTE_CS (PAS, MOR., ZAM.)	610	52	662
	92,10%	7,90%	0,80%
	0,90%	0,70%	
Column Total	71471	7754	79225
	90,20%	9,80%	

Tabla 1. Tabla de contingencia - variable subregión geográfica (SubReg) vs variable presencia mora grave (Mayor90)

Total Observations in Table: 79225

Statistics for All Table Factors

Pearson's Chi-squared test

Chi² 2+659.7878. d.f.=5. p=2.425538e-140

Minimum expected frequency: 64.79202

El análisis de frecuencia de la variable analizada

refirió en primera instancia no contar con casos perdidos, con lo cual contó con 79.225 casos. Así también develo que los clientes del crédito hipotecario considerados se distribuyeron según la variable subregión geográfica (SubReg) mayoritariamente en un 47,8% en la opción “COSTA (incluye STO.DOM. y GAL.)” y en un 38,6% en la opción “SIERRA_N (CAR., IMB., PIC.)”.

A partir del análisis de la variable mora grave (Mayor90) según las opciones de la variable subregión geográfica (SubReg) se puede señalar que la proporción de quienes incurrieron en una mora grave se suscitó en mayor medida en las opciones “ORIENTE_N (SUC., NAP., ORE.)” (20,3%) y “COSTA (incluye STO.DOM. y GAL.)” (11,8%), incluso superando levemente la estructura natural de la opción presencia de mora grave (1) de la variable mora grave (Mayor90) (9,8%). Adicionalmente, a partir la prueba ji-cuadrado de independencia realizada a la tabla de contingencia de las variables subregión geográfica (SubReg) y mora grave (Mayor90) se puede señalar que dado un p-valor asociado inferior a 0,05 ($2,425538e-140$) se puede rechazar la hipótesis de independencia de variables (H_0) y concluir que existe una relación de dependencia entre las dos variables analizadas.

Por otra parte, la aplicación del análisis de supervivencia mediante el modelo de Kaplan – Meier (KM) para identificar la función de supervivencia frente a la posibilidad de incurrir en una mora grave (Mayor 90) según la variable subregión geográfica (SubReg), denotó que la probabilidad de supervivencia tendió a descender en mayor medida a partir del mes 20, y con mayor intensidad en aquellos clientes localizados en las subregiones “ORIENTE_N (SUC., NAP., ORE.)” y “COSTA (incluye STO.DOM. y GAL.)”

Así también, cabe indicar que dada la alta proporción de casos censurados en cada una de las subregiones geográficas no fue posible calcular la mediana de supervivencia en cada uno de los casos.

	n	events	median
SubReg=SIERRA_N (CAR., IMB., PIC.)	30580	2442	NA
SubReg=SIERRA_C (COT., TUNG., BOL., CHI)	3582	214	NA
SubReg=SIERRA_S (CAÑ., AZU., LOJ)	5081	265	NA

SubReg=COSTA (incluye STO. DOM. Y GAL.)	37853	4483	NA
SubReg=ORIENTE_N (SUC., NAP., ORE.)	1467	298	NA
SubReg=ORIENTE_CS (PAS,MOR., ZAM)	662	52	NA
	0,95LCL	0,95UCL	NA
SubReg=SIERRA_N (CAR., IMB., PIC.)	NA	NA	
SubReg=SIERRA_C (COT., TUNG., BOL., CHI)	NA	NA	
SubReg=SIERRA_S (CAÑ., AZU., LOJ)	NA	NA	
SubReg=COSTA (incluye STO. DOM. Y GAL.)	NA	NA	
SubReg=ORIENTE_N (SUC., NAP., ORE.)	NA	NA	
SubReg=ORIENTE_CS (PAS,MOR., ZAM)	NA	NA	

Tabla 2. Tabla de función de supervivencia, método KM, variable subregión geográfica (SubReg).

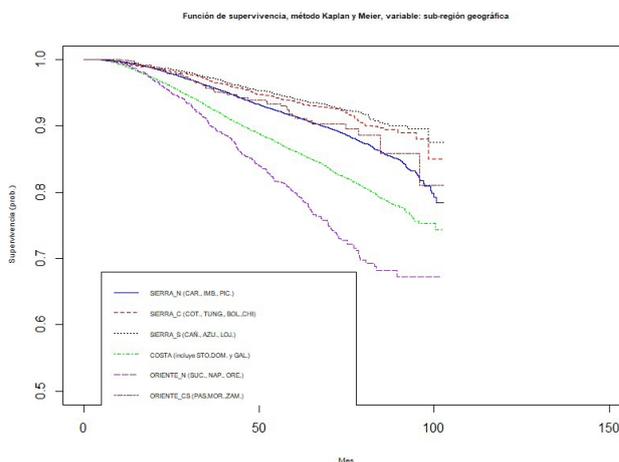


Figura 1. Función de supervivencia, método KM, variable subregión geográfica (SubReg).

Por su parte, luego de aplicar el estadístico de contraste log-rank el cual sigue una distribución ji-cuadrado para la evaluación de la hipótesis de igualdad de funciones de supervivencia a un nivel de confianzas del 95%, se puede afirmar que dado un p-valor cercano a 0, se rechaza la hipótesis nula (H_0) de igualdad de funciones, y con ello se puede indicar que las funciones de supervivencia entre quienes integran las diferentes subregiones geográficas fueron diferentes.

Es importante señalar, que con la finalidad de utilizar esta variable en la formulación de un modelo multivariado se decidió agrupar sus opciones de respuesta en dos (2): “COSTA (incl. STO y GAL.) y ORIENTEN (NAP,SUC,ORE)” y “OTRAS SUBREGIONES”. El nuevo nombre de la variable con el ajuste citado sería SubReg2.

	N	Observed
SubReg=SIERRA_N (CAR., IMB., PIC.)	30580	2442
SubReg=SIERRA_C (COT., TUNG., BOL., CHI)	3582	214
SubReg=SIERRA_S (CAÑ., AZU., LOJ)	5081	265
SubReg=COSTA (incluye STO. DOM. Y GAL.)	37853	4483
SubReg=ORIENTE_N (SUC., NAP., ORE.)	1467	298
SubReg=ORIENTE_CS (PAS,MOR., ZAM)	662	52
	Expected	(O-E) √2/E
SubReg=SIERRA_N (CAR., IMB., PIC.)	3136	153.55
SubReg=SIERRA_C (COT., TUNG., BOL., CHI)	378	71.49
SubReg=SIERRA_S (CAÑ., AZU., LOJ)	519	124.37
SubReg=COSTA (incluye STO. DOM. Y GAL.)	3496	278.93
SubReg=ORIENTE_N (SUC., NAP., ORE.)	154	134.96
SubReg=ORIENTE_CS (PAS,MOR., ZAM)	71	5.11
	(O-E) ² /V	
SubReg=SIERRA_N (CAR., IMB., PIC.)	258.44	
SubReg=SIERRA_C (COT., TUNG., BOL., CHI)	75.19	
SubReg=SIERRA_S (CAÑ., AZU., LOJ)	133.33	
SubReg=COSTA (incluye STO. DOM. Y GAL.)	509.97	
SubReg=ORIENTE_N (SUC., NAP., ORE.)	137.73	
SubReg=ORIENTE_CS (PAS,MOR., ZAM)	5.16	

Tabla 3. Resultado del contraste de igualdad de funciones de supervivencia para la variable subregión geográfica (SubReg).
Chisq=771 on 5 degrees of freedom, p=0

La metodología desarrollada para el análisis de la variable “sub región geográfica”, se la realizó para las variables: rango de avalúo, género, rango de plazo, rango de ingreso, rango de monto financiado, rango de edad, actividad económica del empleador, ciclo económico al momento del desembolso y cesante previo a la mora grave.

B. Formulación de un Modelo de Regresión de Cox

1) *Consideraciones Específicas y Base de datos:* Conforme los análisis previos realizados con respecto a las variables a utilizar y sus correspondientes funciones de supervivencia construidas, se procedió a probar algunos modelos preliminares de COX utilizando la totalidad de la base de datos perfilada de manera previa (79.225 casos). En estos ejercicios se encontraron variables estadísticamente significativas, pero que aportaban poco en la explicación de la varianza de la tota-

lidad de los datos, en gran medida dado que las observaciones con mora mayor a 90 días apenas representaban el 9,8% de la totalidad de las observaciones.

En virtud de lo anterior, se decidió tomar una sub-base de datos para la formulación de un modelo de Cox más robusto. Específicamente, para la construcción del modelo se utilizó una sub-base de datos, construida con los casos de los clientes de créditos hipotecarios que desempeñaron actividades en los sectores “EMPRESA UNIPERSONAL / CONSTRUCCIÓN / TRABAJO AUTÓNOMO, RISE Y MICROEMPRESA / SIN INFORMACIÓN”, dado que en los análisis previos y específicamente en las curvas de supervivencia construidas de la variable “actividad económica del empleador” se vislumbró que quienes se encontraban asociados a las actividades mencionadas experimentaban, en términos relativos, el descenso más pronunciado en el tiempo de su probabilidad de sobrevivir al evento de una mora grave.

Función de supervivencia, método Kaplan y Meier, variable: actividad económica emp.

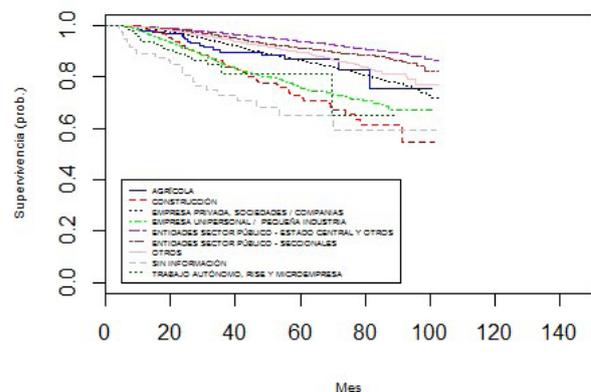


Figura 2. Función de supervivencia, método KM, variable actividad económica (Acteco_r)

Con lo expuesto anteriormente, la base utilizada para la construcción del modelo de COX fue aquella constituida por 3.570 casos que cumplen con las consideraciones expuestas en el párrafo anterior.

2) *Variables Utilizadas:* Como resultado de probar múltiples combinaciones de variables y de probar su validez y aporte, se definieron las siguientes como las idóneas entre las disponibles para integrar el modelo de cox propuesto.

a) Variable Dependiente

- Variable continua tiempo en meses que tarda un crédito hipotecario en caer en una mora grave (tiempoM90pv_2mes).

- Variable binaria mora grave (Mayor90). Opciones de respuesta: "0".- No ha experimentado mora grave y "1".- Experimentó una mora grave. Las variables expuestas configuraron la tipología de variables dependientes requeridas para estimar un modelo de supervivencia.

b) Variables Explicativas

En primera instancia, de las variables analizadas previamente se seleccionaron las siguientes:

- Variable nominal rango de ingreso (R_Ingp). Opciones de respuesta: "hasta 770 USD (Q1)" (opción base), "entre 770,01 y 1.133 USD (Q2)", "entre 1.133,01 y 1.603 USD (Q3)", "entre 1.603,01 y 2.362 USD (Q4)" y "mayor a 2.362 USD (Q5)".
- Variable nominal rango de plazo (R_Plazo). Opciones de respuesta: "menor a 20 años" (opción base) y "mayor a 20 años".
- Variable nominal subregión geográfica resumida (SubReg2). Opciones de respuesta: "otras subregiones" (opción base) y "Costa (incluye Sto. Dom. y Gal.) y Oriente Norte (Nap., Suc., Ore)".
- Variable nominal ciclo económico al momento del desembolso resumido (Cicloef2). Opciones de respuesta: "0".- desempeño económico sobre el crecimiento promedio de largo plazo (opción base) y "1".- desempeño económico bajo crecimiento promedio de largo plazo.

Adicionalmente, con la finalidad de mejorar la capacidad del modelo para explicar la variabilidad de los datos se incorporaron las siguientes variables:

- Variable discreta año de concesión (tyear).
- Variable nominal ciclo económico previo a la mora grave (Cicloef2). Opciones de respuesta: "0".- desempeño económico sobre el crecimiento promedio de largo plazo (opción base) y "1".- desempeño económico bajo crecimiento promedio de largo plazo.
- Variable nominal cesante y ciclo económico por debajo del crecimiento de largo plazo previo a la mora grave (cesantexciclof). Opciones de respuesta: "0".- El cliente no se encontró simultáneamente en la condición de cesante y en un ciclo económico por debajo del crecimiento de largo plazo previo a la mora grave (opción base) y "1".- El cliente sí se encontró simultáneamente en la condición de cesante y en un ciclo económico por debajo del crecimiento de largo plazo previo a la mora grave.

n=3570, number of events=695	
	coef
R_Ingpentre 770,01 y 1.133 USD (Q2)	0,377662
R_Ingpentre 1.133,01 y 1.603 USD (Q3)	0,384910
R_Ingpentre 1.603,01 y 2.362 USD (Q4)	0,535503
R_Ingpmayor a 2.362 USD (Q5)	0,891376
R_Plazomayor a 20 años	0,252111
SubReg2COSTA (incl. STO y GAL.) y ORIENTEN (NAP, SUC,ORE)	0,544825
Cicloef21	0,836868
tyear	1,178660
Cicloef21	-5,699248
cesantexciclof	2,039368

Tabla 4. Modelo de cox – Clientes de créditos hipotecarios que desempeñaron labores en "Empresa unipersonal / construcción / trabajo autónomo, rise y microempresa / sin información".

3) Evaluación e Interpretación de Variables del Modelo:

a) *Evaluación del Modelo:* Es importante señalar que en función de que el p-valor asociado al estadístico z en cada una de las variables explicativas fue inferior a 0,05, se rechazó la hipótesis nula de que cada uno de los coeficientes es igual a 0 (H_0) y con ello se puede afirmar que todas las variables de manera individual resultaron estadísticamente significativas.

Por otra parte, los p-valor asociados a los estadísticos test de razón de verosimilitud (likelihood ratio test), test de wald (walt test) y test de puntajes (score [logrank]) al presentar magnitudes inferiores a 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que los coeficientes del modelo en su conjunto son iguales a 0 (H_0), y con ello se puede afirmar que el modelo en su conjunto es estadísticamente significativo.

Complementariamente, el coeficiente de determinación r-cuadrado del modelo obtenido indicó que el modelo puede explicar el 0,488 de la varianza de la problemática analizada. Si bien la magnitud del coeficiente pudo lucir insuficiente ante la necesidad de estimar los tiempos de supervivencia a partir de las variables contempladas en el modelo, cabe señalar que esta situación puede mejorar substancialmente con la incorporación de dos variables que no estuvieron disponibles al momento de la construcción del presente modelo como son: 1) peor calificación crediticia en los 2 años anteriores a la concesión del crédito y 2) estado civil del cliente, las cuales han sido relevantes en la identificación de casos de mora grave en ejercicios empíricos realizados.

Finalmente, en cuanto a la validación de los supuestos de riesgo proporcional se puede mencionar que los p-valores asociados al estadístico Rho, que sigue una distribución ji-cuadrado, pertenecientes a casi la totalidad de las variables y al modelo de forma global presentaron una magnitud superior 0,05, con lo cual no existiría evidencia significativa al 95% de confianza de que exista una violación al supuesto de riesgo proporcional, en cuanto a que las tasas de riesgo se mantengan constantes en el tiempo. Adicionalmente, la distribución relativamente aleatoria vislumbrada en los residuos “desviance” y “score” del modelo aplicado, evidencian la no existencia de influencia de los individuos en la estimación del modelo y de cada uno de los parámetros o coeficientes asociados. No se evaluó el supuesto adecuada forma funcional para variables continuas, ya que no se utilizaron variables de este tipo. Consecuentemente, de manera general se cumplen con los diferentes supuestos de riesgo proporcional.

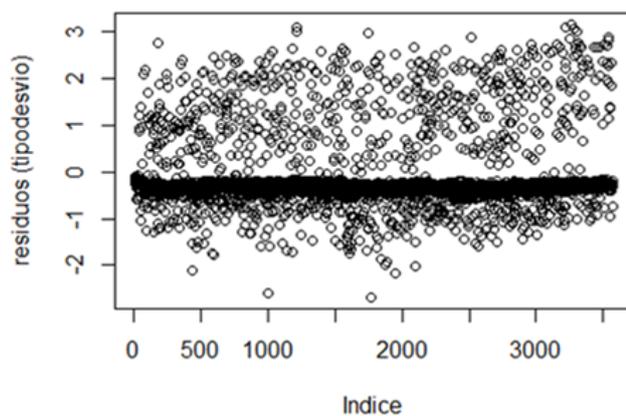


Figura 3. Residuos tipo desviance del modelo

b) *Interpretación de Resultados:* En primera instancia, a partir de los signos de los coeficientes se puede señalar que las variables rango de edad con sus opciones de respuesta “entre 770,01 y 1.133 USD (Q2)”, “entre 1.133,01 y 1.603 USD (Q3)”, “entre 1.603,01 y 2.362 USD (Q4)” y “mayor a 2.362 USD (Q5)”; rango de plazo con su opción de respuesta “mayor a 20 años”; subregión geográfica con su opción de respuesta “Costa (incluye Sto. Dom. y Gal.) y Oriente Norte (Nap., Suc., Ore)”; ciclo económico previo al desembolso resumido con su opción de respuesta “(1) desempeño económico bajo crecimiento promedio de largo plazo”; año de concesión; y cesante y ciclo económico por debajo del crecimiento de largo plazo

previo a la mora grave con su opción de respuesta “(1) el cliente sí se encontró simultáneamente en la condición de cesante y en un ciclo económico por debajo del crecimiento de largo plazo previo a la mora grave”; al presentar signo positivo denotaron que su presencia incrementa el riesgo de incurrir en una situación de mora grave.

Por su parte, la variable ciclo económico previo a la mora grave resumido con su opción de respuesta “(1) desempeño económico bajo crecimiento promedio de largo plazo”; al presentar signo negativo indicó que su presencia disminuye el riesgo de incurrir en una mora grave.

n=3570, number of events=695	
	exp(coef)
R_Ingentre 770,01 y 1.133 USD (Q2)	1,458870
R_Ingentre 1.133,01 y 1.603 USD (Q3)	1,469482
R_Ingentre 1.603,01 y 2.362 USD (Q4)	1,708307
R_Ingpmayor a 2.362 USD (Q5)	2,438484
R_Plazomayor a 20 años	1,286739
SubReg2COSTA (incl. STO y GAL.) y ORIENTEN (NAP, SUC,ORE)	1,724306
Ciclo21	2,309123
tyear	3,250016
Cicloef21	0,003348
cesantexciclofl	7,685748
	se(coef)
R_Ingentre 770,01 y 1.133 USD (Q2)	0,111421
R_Ingentre 1.133,01 y 1.603 USD (Q3)	0,111200
R_Ingentre 1.603,01 y 2.362 USD (Q4)	0,118367
R_Ingpmayor a 2.362 USD (Q5)	0,134217
R_Plazomayor a 20 años	0,084211
SubReg2COSTA (incl. STO y GAL.) y ORIENTEN (NAP, SUC,ORE)	0,081800
Ciclo21	0,154043
tyear	0,055452
Cicloef21	0,132724
cesantexciclofl	0,106567

Tabla 5. Modelo de cox – Clientes de créditos hipotecarios que desempeñaron labores en “Empresa unipersonal / construcción / trabajo autónomo, rise y microempresa / sin información” – interpretación del exponencial de los coeficientes.

En una segunda instancia, mediante la interpretación del exponencial de los coeficientes β (*exp(coef)*) se puede manifestar lo siguiente:

Aquellos clientes que se encontraron simultáneamente en la condición de cesante y en una fase del ciclo económico por debajo del crecimiento de largo plazo, fueron 7,69 veces más riesgosos de incurrir en una mora grave que quienes no presentaron estas características.

Así también aquellos clientes que en la variable ciclo económico previo al desembolso se mostraron en la opción "(1) desempeño económico bajo crecimiento promedio de largo plazo" fueron 2,31 veces más riesgosos de incurrir en una mora grave que quienes se mostraron en la opción "(0) desempeño económico sobre crecimiento promedio de largo plazo".

En lo que respecta al año de concesión del crédito se pudo constatar que con cada año que pasó el riesgoso de incurrir en una mora grave se incrementó en 3,25 veces.

Por su parte, también se pudo constatar que a mayor ingreso del cliente existe mayor riesgo de incurrir en una mora grave. Específicamente, en comparación a quienes presentaron ingresos de "hasta 770 USD (Q1)" y se constituyen en la opción base, quienes mostraron ingresos "entre 770,01 y 1.133 USD (Q2)" fueron 1,46 veces más riesgosos de incurrir en una mora grave que aquellos clientes de la opción base. Y de esta manera consecutivamente quienes presentaron ingresos de "entre 1.133,01 y 1.603 USD (Q3)" fueron 1,47 veces más riesgosos, quienes mostraron ingresos de "entre 1.603,01 y 2.362 USD (Q4)" fueron 1,71 veces más riesgosos y finalmente, quienes presentaron ingresos "mayores a 2.362 USD (Q5)" fueron 2,44 veces más riesgosos de incurrir en una mora grave que quienes formaron parte de la opción base.

Adicionalmente, se avizó que aquellos clientes de crédito hipotecario y se localizaron geográficamente en las provincias de la opción "Costa (incluye Sto.Dom. y Gal.) y Oriente Norte (Nap., Suc., Ore.)" fueron 1,72 veces más riesgosos de incurrir en una mora grave que quienes se dispusieron geográficamente en "otras subregiones". Finalmente, entre los exponenciales de los coeficientes que resultaron relevantes se puede interpretar que quienes optaron por un plazo para su crédito hipotecario "mayor a 20 años" fueron 1,29 veces más riesgosos de incurrir en una mora grave que quienes optaron por un plazo "menor a 20 años".

Complementariamente, la función de supervivencia resultante del modelo propuesto denotó que la probabilidad de supervivencia a una mora grave por parte de los clientes del producto préstamo hipotecario que desempeñaron actividades económicas en los sectores "EMPRESA UNI-

PERSONAL / CONSTRUCCIÓN / TRABAJO AUTÓNOMO, RISE Y MICROEMPRESA / SIN INFORMACIÓN" tendió a contraerse substancialmente a partir del mes 40 (3,33 años).

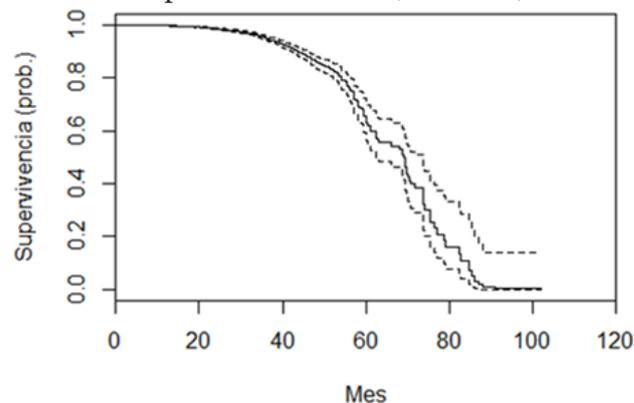


Figura 4. Función de supervivencia resultante de la aplicación del modelo de cox (mora grave > 90 días)

C. Segmentación de Clientes y Estrategias

1) *Segmentación de Clientes*: En virtud del análisis de supervivencia realizado para el caso de los clientes de créditos hipotecarios de una entidad financiera ecuatoriana se puede definir algunas tipologías de clientes sobre los cuales se pueden definir algunas estrategias específicas. Las tipologías identificadas fueron las siguientes:

- Cliente general de crédito hipotecario.
- Cliente de crédito hipotecario, con ingresos mayores a 1,603 USD de ingreso mensual.
- Cliente de crédito hipotecario, localizado geográficamente en las provincias de la Costa (incluye Santo Domingo y Galápagos) y del Oriente parte norte (Napo, Sucumbíos y Orellana).
- Clientes de Crédito hipotecario que desempeñan labores en los sectores "EMPRESA UNIPERSONAL / CONSTRUCCIÓN / TRABAJO AUTÓNOMO, RISE Y MICROEMPRESA / SIN INFORMACIÓN".

2) *Estrategias al Momento de la Concesión Crediticia*: Las estrategias que se podrían aplicar al momento de la concesión crediticia en las tipologías de clientes identificadas serían las siguientes:

a) *Cliente general de crédito hipotecario*:

Verificar que se cumplan a cabalidad los requisitos y políticas de crédito al momento de la concesión crediticia, especialmente cuando el entorno económico presenta un desempeño por debajo del crecimiento de largo plazo, dado que la necesidad de generar mayores volúmenes de colocación crediticia hipotecario conduce a otorgar créditos a quienes no necesariamente dan indi-

cios de ser buenos clientes.

b) Cliente de crédito hipotecario: con ingresos mayores a 1,603 USD de ingreso mensual: Verificar con mayor intensidad la permanencia en el tiempo de sus ingresos. Identificación clara de la fuente de ingresos. Verificar que el porcentaje comprometido del ingreso mensual por efecto del endeudamiento hipotecario no supere el 40% del ingreso neto.

c) Cliente de crédito hipotecario: localizado geográficamente en las provincias de la Costa (incluye Santo Domingo y Galápagos) y del Oriente parte norte (Napo, Sucumbíos y Orellana): Verificar indicios del comportamiento de pago pasado. Peor calificación en los últimos 5 años. Aceptar preferiblemente clientes que hayan mantenido calificaciones de crédito A y B, ya que se identifica un perfil del cliente más riesgoso en estas localidades.

d) Clientes de Crédito hipotecario: que desempeñan labores en los sectores "EMPRESA UNIPERSONAL / CONSTRUCCIÓN / TRABAJO AUTÓNOMO, RISE Y MICROEMPRESA / SIN INFORMACIÓN": Verificar con mayor intensidad la permanencia en el tiempo de sus ingresos. Identificación clara de la fuente de ingresos. Verificar que el porcentaje comprometido del ingreso mensual por efecto del endeudamiento hipotecario no supere el 30% del ingreso neto.

3) Estrategias de Gestión de Cobranza:

Las estrategias que se podrían aplicar para optimizar la gestión de cobranza en las tipologías de clientes identificadas serían las siguientes:

a) Cliente general de crédito hipotecario: Verificar continuamente, si el cliente incurre en la condición de cesante, particularmente luego del mes 20 y con mayor intensidad a partir del mes 40 luego del otorgamiento del crédito. Recordar mediante mensajes de texto, correo electrónico y llamadas la importancia del repago del crédito. Intensificar la actividad si coyunturalmente la economía atraviesa un desempeño por debajo del crecimiento de largo plazo.

b) Cliente de crédito hipotecario: con ingresos mayores a 1,603 USD de ingreso mensual: Verificar continuamente, si el cliente incurre en la condición de cesante, particularmente luego del mes 20 y con mayor intensidad a partir del mes 80 luego del otorgamiento del crédito. Re-

cordar mediante mensajes de texto, correo electrónico y llamadas la importancia del repago del crédito.

c) Cliente de crédito hipotecario: localizado geográficamente en las provincias de la Costa (incluye Santo Domingo y Galápagos) y del Oriente parte norte (Napo, Sucumbíos y Orellana): Verificar continuamente, si el cliente incurre en la condición de cesante, particularmente luego del mes 20 y si se localiza en las provincias orientales del norte. Recordar mediante mensajes de texto, correo electrónico y llamadas la importancia del repago del crédito.

d) Clientes de Crédito hipotecario que desempeñan labores en los sectores "EMPRESA UNIPERSONAL / CONSTRUCCIÓN / TRABAJO AUTÓNOMO, RISE Y MICROEMPRESA / SIN INFORMACIÓN": Una vez que se incorpore al modelo de cox desarrollado variables que denoten el comportamiento de pago pasado, modelar específicamente la probabilidad de supervivencia de casos tipo. En virtud de lo anterior se desarrollaran acciones preventivas como recordatorios de pago y otros principalmente entre los meses 20 y 40 de vigencia de los créditos cuando no se ha producido una mora grave de forma previa. La priorización de los casos se da con el siguiente perfil: ingresos mayores a 1,603 USD, localizados en las provincias de la Costa (incluye Santo Domingo y Galápagos) y del Oriente parte norte (Napo, Sucumbíos y Orellana), con plazo de crédito mayor a 20 años, que se encuentren en la condición de cesante, que fueron concedidos durante un ciclo de la economía por debajo del crecimiento de largo plazo.

En virtud de que la variable cesante previo a la mora grave, y más aún, coincidente con la estancía en un ciclo económica por debajo del crecimiento de largo plazo, resultaron incidentes en la probabilidad de incurrir en una mora grave; sería importante desarrollar un modelo de supervivencia específico frente al evento de una mora grave luego de incurrir en el estado cesante, estratificado por la estancia en un ciclo económico por sobre o por debajo del crecimiento de largo plazo. Es decir, estimar el tiempo que tarda un individuo en incurrir en una mora grave luego de caer en el estado cesante e identificar las probabilidades de supervivencia asociadas. Esta actividad permitiría segmentar la base de clientes y

aplicar una estrategia de propuesta anticipada de refinanciamientos y así evitar moras graves.

D. Automatización del Análisis de Supervivencia: El caso de una Cartera Hipotecaria Ecuatoriana

1) *Programación en Lenguaje R*: El procedimiento metodológico implementado en el presente trabajo con la finalidad de verificar la utilidad de la aplicación del análisis de supervivencia en la cartera de créditos hipotecarios de una entidad ecuatoriana pudo llevarse a cabo mediante la utilización del lenguaje de programación R y la utilización específica de los software estadísticos R, R estudio y R markdown.

El tratamiento de la información realizado requirió de 5 etapas:

- Preparación de la data.
- Análisis descriptivo de las potenciales variables explicativas.
- Identificación de variables explicativas relacionadas en mayor medida con la variable dependiente.
- Formulación y evaluación del modelo de cox.
- Creación de reportes.

En el apéndice A se incluyó un extracto de la programación correspondiente a la etapa "Formulación y evaluación del modelo de Cox".

IV. CONCLUSIONES

En virtud del trabajo realizado se puede afirmar que la hipótesis planteada sí se cumpliría en virtud de las siguientes conclusiones:

- Las experiencias de aplicación del análisis de supervivencia en diferentes ámbitos y particularmente en el ámbito financiero denotaron que la incorporación de este análisis mejora o complementa el realizado con otras técnicas al momento de predecir la probabilidad de incumplimiento (default) como los modelos logísticos, en virtud de que tiene la capacidad de incorporar datos censurados (información perdida en otras técnicas).
- Así también, las citadas experiencias relevaron que la identificación de la temporalidad en la cual se puede incurrir en incumplimiento (default) es un elemento importante de cara a mitigar el riesgo de crédito, para lo cual el típico análisis de matrices de transición es insuficiente. Así

también se vislumbró la necesidad de incorporar a este tipo de modelos variables asociadas al entorno económico y variables microeconómicas específicas de los deudores (8).

- Empíricamente, la aplicación del análisis de supervivencia a una base de datos de clientes del producto préstamo hipotecario en una entidad financiera ecuatoriana, permitió identificar los siguientes comportamientos con respecto a la incursión del cliente en una mora grave (mayor a 90 días):

- La condición de cesante de un cliente, sumada a la estancia temporal en un ciclo económico que se ubica por debajo del crecimiento de largo plazo, se constituye en la condición más relevante identificada de cara a incurrir con mayor probabilidad en una mora grave.

- Los clientes localizados en las provincias de la Costa (incluye Santo Domingo y Galápagos) y del Oriente parte norte (Napo, Sucumbíos y Orellana) son más propensos a caer en una mora grave que aquellos dispuestos en otros lugares.

- A mayor ingreso mensual de los clientes, mayor probabilidad de incurrir en el evento de mora grave.

- Los clientes que desempeñan labores en los sectores "EMPRESA UNIPERSONAL / CONSTRUCCIÓN / TRABAJO AUTÓNOMO, RISE Y MICROEMPRESA / SIN INFORMACIÓN" son más propensos a caer en una mora grave que aquellos que laboran en otros sectores. También permitió identificar que, de manera general, los clientes de crédito hipotecario de la entidad financiera analizada tienden a incrementar su probabilidad de caer en una mora grave a partir del mes 20 y con mayor intensidad a partir del mes 40.

- Los hallazgos especificados permitieron definir potenciales estrategias de concesión y gestión de cobranza para las tipologías de clientes identificados. Es por ello que uno de los aportes importantes del presente trabajo es haber definido y probado un procedimiento metodológico que permite mejorar la mitigación del riesgo de crédito. Específicamente, el procedimiento implementado constó de las siguientes actividades secuenciales: a) definición del evento de interés (mora grave) y con ello definir la variable de interés correspondiente, b) breve descripción de la base de datos a utilizar, c) análisis descriptivo de las

variables consideradas inicialmente relevantes y construcción individual de funciones de supervivencia mediante el método de Kaplan y Meier, d) seleccionar la data y las variables que permitirán definir un modelo de cox estadísticamente significativo y que cumpla con los supuestos de la técnica, e) formulación, validación e interpretación del modelo de cox, y f) segmentación de la base de clientes de la cartera de créditos hipotecarios, a partir del análisis de supervivencia desarrollado y plantear estrategias diferenciadas tanto de concesión como de gestión de cobranzas.

Algunas de las principales recomendaciones derivadas serían las siguientes:

- Con la finalidad de mejorar los resultados predictivos del modelo de Cox desarrollado se recomienda la incorporación de variables que perfilen el comportamiento de crédito pasado del cliente en un horizonte de hasta 5 años.
- Medir periódicamente cada 3 o 6 meses la variable presencia de cesantía con la finalidad de

construir un modelo de cox entendido, en el cual se incorporan variables que dependen del tiempo.

- En virtud de que la variable cesante previo a la mora grave, y más aún, coincidente con la estancia en un ciclo económica por debajo del crecimiento de largo plazo, resultaron incidentes en la probabilidad de incurrir en una mora grave; sería importante para la entidad oferente del crédito hipotecario desarrollar un modelo de supervivencia específico frente al evento de un mora grave luego de incurrir en el estado cesante, estratificado por la estancia en un ciclo económico por sobre o por debajo del crecimiento de largo plazo. Es decir, estimar el tiempo que tarda un individuo en incurrir en una mora grave luego de caer en el estado cesante e identificar las probabilidades de supervivencia asociadas. Esta actividad permitiría segmentar la base de clientes y aplicar una estrategia de propuesta anticipada de refinanciamientos y así evitar moras graves.

Referencias

1. González A, López J. Gestión Bancaria. Factores claves en un entorno competitivo. 3era edición. Madrid: McGraw-Hill / Interamericana de España. S.A.U; 2008.
2. Codificación de Resoluciones de la Superintendencia de Banco y la Junta Bancaria. Quito: Superintendencia de Bancos y Seguros; 2015.
3. Comité de Basilea Sobre Supervisión Bancaria. Principios para la administración del riesgo de crédito. Basilea: Bank for International Settlements; 1999.
4. Velandia, N. Establecimiento de un Modelo Logit para la Medición del Riesgo de Incumplimiento en Créditos para una Entidad Financiera del Municipio de Arauca. Departamento de Aucara [Tesis de Post-grado]. Manizales: Universidad Nacional de Colombia; 2013. Recuperado a partir de: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/19986>
5. Alfaro-Navarro JL. Control estadístico de la calidad en procesos multivariantes autocorrelacionados. Una aplicación en la industria cuchillera de Albacete [Tesis Doctoral]. Cuenca: Universidad de Castilla-La Mancha; 2005. Recuperado de: <https://www.scribd.com/document/452585681/Tecnica-EWMA-II-pdf>.
6. Pérez-Duque PN. Control estadístico de calidad multivariado, para el monitoreo e identificación de causas de variabilidad en procesos de crédito del sector financiero= Multivariate statistical quality control to monitoring and identifying variability causes in credit process in financial sector [Tesis de Post-grado]. Manizales: Universidad Nacional de Colombia; 2012. Recuperado a partir de: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/10931>.
7. Rebas P. Conceptos básicos del análisis de supervivencia. Revista de cirugía española [Internet]. 2005 [Consultado 22 Ene 2018]; 78(4): 222 – 230. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-cirugia-espanola-36-articulo-conceptos-basicos-del-analisis-supervivencia-13079636?referer=buscador>
8. Meira-Machado L. Introduction to Survival Analysis. 1era Edición. Santiago de Compostela: Universidad Santiago de Compostela; 2016.
9. Obuda FY. Analysis of Credit Risk on Bank Loans using Cox's Proportional Hazard Model. Nairobi: Universidad de Nairobi; 2014.

10. Cáceres F, Palacios Y. Análisis de supervivencia como alternativa metodológica para estimar probabilidades de incumplimiento de los deudores de créditos corporativos y a grandes empresas en el Perú. *Revista Industrial Data* [Internet]. 2017 [Consultado 22 Ene 2018]; 20 (1); 07-15. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/816/81652135001.pdf>.
11. Cao R, Vilar J, Devia A. “Modelling consumer credit risk via survival analysis”. 1st Edition. Coruña: Universidade da Coruña; 2009.
12. Zhang, A. *Statistical Methods in Credit Risk Modeling* [Tesis Doctoral]. Michigan: The University of Michigan; 2009. Recuperado de: https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/63707/ajzhang_1.pdf.
13. Lopez A. Análisis de la Relación entre intermediación crediticia y crecimiento económico en Venezuela. 1st Edition. Caracas: Banco Central de Venezuela; 2003.
14. Man R. *Survival analysis in credit scoring: A framework for PD estimation*. 1st Edition Rabobank International – Quantitative Risk Analytics & University of Twente; 2014.
15. Klein JP, Moeschberger ML. *Survival Analysis Techniques for Censored and Truncated Data*. 1st Edition. New York:Springer-Verlag; 1997.
16. Watkins J, Vasnev A, Gerlach R. *Survival Analysis for Credit Scoring: Incidence and Latency*. 1st Edition. Madrid: OME Working Paper Series Madrid; 2019.
17. Herranz Valera J. *Introducción al Análisis de Supervivencia con R*. 1era Edición. Madrid: Instituto IMDEA Alimentación; 2015.
18. Meira-Machado L. *Survival Analysis: Kaplan-Meier estimate*. 1era Edición. Santiago de Compostela: Universidad Santiago de Compostela; 2016.
19. Ayala MA, Borges RE, Colmenares G. Análisis de Supervivencia aplicado a la Banca Comercial Venezolana 1996 – 2004. *Revista Colombiana de Estadística* [Internet]. 2007 [Consultado 22 Ene 2018]; 30(1); 97-113. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/899/89930107.pdf>
20. Godoy-Aguilar AM. *Introducción al Análisis de Supervivencia con R*. 1era Edición. México: Universidad Nacional Autónoma de México; 2009.
21. Royston P, Lambert PC. *Flexible parametric survival analysis using Stata: beyond the Cox model* Vol. 347. 1st Edition. College Station: Stata Press; 2011.
22. Almeida E. *Aplicación del Modelo de Supervivencia de Cox al caso de la Banca Ecuatoriana en el período 1996-2008* [Tesis de Grado]. Quito: Escuela Politécnica Nacional; 2011. Recuperado de: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4191>.
23. Santabárbara J, Rubio E, Martínez T. *Manual de Análisis de Supervivencia: Curvas de supervivencia y Regresión de Cox*. 1era Edición. Zaragoza: Prensas de la Universidad de Zaragoza; 2016.
24. Hernández-Domínguez AM. *Análisis Estadísticos de Datos de Tiempos de Fallo en R*. 1era Edición. Granada: Universidad de Granada; 2010.
25. García-Hinojosa, C. *Estudio de Análisis de Supervivencia*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid, Escuela Politécnica Superior; 2014.

APLICACIÓN DE PRUEBAS NO PARAMÉTRICAS PARA K-MUESTRAS PARA IDENTIFICAR CAMBIOS EN LA DISTRIBUCIÓN DEL INGRESO EN ECUADOR 2006-2016.

Analysis of changes in income distribution, between 2006 to 2016, applying non-parametric k-sample tests.

¹Liliana Roldan , ¹Miguel Flores , ²Ana Cabezas-Martínez*

¹Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ciencias, Departamento de Matemáticas, MODES / SIGTI, Quito, Ecuador.

²Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Departamento de Estudios Políticos, Quito, Ecuador.

*ana.cabezas90@gmail.com

Resumen

En este trabajo se analiza la distribución personal de los ingresos en distintos niveles: nacional, provincial y por actividad económica para el período 2006-2016, a partir de la información de las encuestas de hogares. Para probar si los cambios en la distribución del ingreso personal a través del tiempo son estadísticamente significativos, se aplican pruebas no paramétricas para k muestras basadas en la Función de Distribución Empírica (FDE) y la Función de Densidad de Núcleo (KDE). Los resultados muestran que, efectivamente en el período de tiempo analizado, hubo cambios en la distribución de los ingresos personales, principalmente en la localización, más que en la forma, donde las pruebas a partir de la FDE tienen un buen desempeño. En tanto que, a nivel territorial se evidenciaron cambios en la forma de la distribución como es el caso Chimborazo, donde las pruebas basadas en la KDE, como la norma L1 o el Área Común, rechazaron la hipótesis nula.

Palabras claves: Ingreso, encuestas a hogares, desigualdad, función de la densidad de núcleo (Kernel), función de distribución empírica, programación en R.

Abstract

This paper analyzes the personal income distribution at different levels: national, provincial and by economic activity for the 2006-2016 period, based on information from household surveys. To test whether changes in the distribution of personal income over time are statistically significant, non-parametric tests for k samples, based on the Empirical Distribution Function (EDF) and the Kernel Density Function (KDE) are applied. The results show that, indeed in the time period analyzed, there were changes in the distribution of personal income, mainly in location, rather than in form, where the tests based on the EDF perform well. Meanwhile, at the territorial level, changes in the shape of the distribution were evidenced, as in the case of Chimborazo, where the tests based on the KDE, such as the L1 norm or the Common Area, rejected the null hypothesis.

Keywords: Income, household surveys, inequality, kernel density function, empirical distribution function, R programming.

Fecha de recepción: 15-05-2021

Fecha de aceptación: 03-09-2021

Fecha de publicación: 13-10-2021

I. INTRODUCCIÓN

El análisis de la distribución del ingreso personal permite visualizar los cambios en la misma a lo largo del tiempo. En la presente investiga-

ción se analiza lo sucedido con la distribución del ingreso personal del país, de las provincias, considerando que se aprecia un desarrollo desigual a este nivel. Además, es importante conocer qué ha sucedido a nivel de las actividades econó-

micas dada la segmentación del mercado laboral en actividades de alta y baja productividad¹, lo que se traduce en desigualdades de ingresos en los hogares.

Sea N el número de unidades de análisis (hogares o personas) y sean los ingresos x_1, x_2, \dots, x_N donde $x_1 < x_2 < \dots < x_N$ de cada unidad de análisis, respectivamente. Una forma de representar la distribución del ingreso es la función de densidad de frecuencias $f(x)$. Para cualquier nivel de ingresos x , $f(x) dx$ es la proporción de receptores de ingresos cuyos ingresos se encuentran en el rango $[x, x+dx]$, $f(x)$ es independiente de la cantidad de unidades receptoras de ingresos, o tamaño poblacional (N) y, por otro lado, es análoga a una función de densidad de probabilidad.

Para modelizar la distribución del ingreso, las formas funcionales dependen de las propiedades que se supone deben cumplir. En Dagum (1) se encuentra una lista de once propiedades que guían la selección del modelo entre las que se encuentran: interpretación económica de los parámetros, parsimonia, buen ajuste a lo largo de todos los niveles de ingresos, entre otros.

Hasta los años setenta los modelos más utilizados fueron el de Pareto y el Lognormal, que satisfacen pocas de las propiedades descritas anteriormente y que son deseables. La distribución de Pareto de acuerdo con su bondad de ajuste, simplicidad funcional y la interpretación económica de sus parámetros, continúa siendo considerada para la distribución de los grupos de ingresos muy altos, mientras que la Lognormal se ajusta a toda la distribución del ingreso, pero es bastante pobre en describir las colas de la distribución. Luego estos modelos fueron superados por aquellas distribuciones que toman en cuenta la propiedad de parsimonia (1,2). Con el tiempo, con el fin de tener en cuenta varias regularidades empíricas observadas y debido al aumento de la capacidad computacional, se han desarrollado y adoptado modelos estadísticos más generales.

Una forma alternativa de obtener estimadores de la densidad de los ingresos es mediante métodos no paramétricos. La gran ventaja es que en el enfoque no paramétrico se libera de las especificaciones paramétricas y se permite que los datos hablen por sí mismos. Se imponen supuestos mínimos sobre los datos, como que la densidad de ingresos debe existir y se debe satisfacer algunas

propiedades de suavizamiento.

De acuerdo con Pittau (3), un enfoque no paramétrico basado en la estimación de la densidad de núcleo tiene mejores resultados, además se pueden capturar incrementos absolutos en los niveles de ingresos a la derecha o izquierda por medio de cambios en la función de densidad. Este método provee una imagen completa de la distribución de ingresos en términos de la función de densidad de frecuencia del ingreso, con la que se puede observar el nivel de distribución, modalidad y extensión, simultáneamente (4).

Para establecer si ha habido cambios estadísticamente significativos en la distribución del ingreso personal en el presente trabajo se aplican contrastes no paramétricos de bondad de ajuste para medir la igualdad de k distribuciones. Los que se utilizan basados en la función de distribución empírica (FDE) son las generalizaciones de las pruebas de Kolmogorov – Smirnov (KS) y Anderson, Darling (AD) discutidos en Kiefer (5).

Además, bajo el supuesto de que las distribuciones son totalmente continuas se presentan cuatro estadísticos basados en la comparación de la función de densidad núcleo (KDE). Los principales supuestos para la construcción de estos estadísticos, son que las k muestras observadas en realidad se generaron de la misma función de densidad; y que, para cada muestra es posible tener una KDE. Por lo que se podría diseñar y utilizar diferentes medidas de similitud para cuantificar las semejanzas entre los k diferentes KDE. Estas medidas son: AC o área común, Norma L1, Distancia L2 o Euclidiana y Distancia Sk. Esta clase de pruebas son prácticamente nuevas y recientemente investigadas. Los resultados obtenidos (6), a partir de simulación sugieren que las pruebas basadas en KDE son más potentes cuando las poblaciones subyacentes difieren en su forma.

En este contexto y tomando en cuenta que en muchos casos la función de densidad proporciona una información más intuitiva y directa que la función de distribución, además que la estimación de densidades proporciona métodos para abordar otros problemas como la discriminación, simulación, estimación de la moda, entre otros, el presente trabajo de investigación es un aporte ya que propicia el uso de otros estadísticos para pruebas de k poblaciones basados en la fun-

¹Las personas empleadas en sectores de alta productividad tienen las siguientes características: mayor nivel educativo, mejores condiciones laborales como la formalidad o formas de estabilidad en sus contratos y se ubican en empresas con uso intensivo de tecnología, mientras que en los empleos de baja productividad se encuentran trabajadores con menores ingresos, menor nivel educativo, inestabilidad laboral, muchas veces sin contrato de trabajo o en la informalidad y poca cobertura de seguridad social (CEPAL – CEPALSTAT).

ción de densidad (KDE) en especial en variables como el ingreso que presentan asimetría en su distribución. A partir de los resultados obtenidos se tendrán criterios para identificar el desempeño de las pruebas aplicadas para k muestras.

En la sección 2 se desarrolla los aspectos más importantes del marco teórico tanto los relacionados con la distribución del ingreso como los estadísticos utilizados para probar la igualdad entre k muestras. También se describe la fuente de información, la base de datos y el proceso de tratamiento de los datos utilizados para este trabajo; de igual manera se describe la metodología empleada y la aplicación de las pruebas de hipótesis para k muestras basadas en la función de distribución empírica (FDE) y la función de densidad (KDE). Finalmente, se hace la validación de los resultados a partir del análisis de los estudios de simulación realizados por los autores que han aplicado estas pruebas.

En la Sección 3 se exponen los resultados obtenidos. En un primer momento, se realiza el análisis gráfico de la distribución de los ingresos personales tanto a nivel nacional como territorial y por actividad económica, para estudiar si estas siguen una distribución normal por lo que se aplican varias pruebas que permitan conocer si se rechaza o acepta la hipótesis de normalidad de las distribuciones de los ingresos. A continuación, se realiza un análisis gráfico de las funciones de densidad de los ingresos, y en un tercer momento, se presentan los resultados de la aplicación de los estadísticos propuestos con su nivel de significancia en cada caso y por cada método. Finalmente, en la Sección 4 se incluyen las conclusiones derivadas del desarrollo del presente trabajo, enfocándose en hallazgos encontrados en cuanto a las diferencias en la distribución de los ingresos y en los resultados sobre la aplicación de las pruebas basadas en KDE y FDE, que indican que las basadas en la FDE son mejores cuando las distribuciones presentan cambios en la localización más que en la forma, como sucede en algunas de las desagregaciones analizadas.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La literatura distributiva utiliza el término distribución del ingreso “para hacer referencia a la lista completa de ingresos en una comunidad y

no a alguna medida de disparidad de esos valores entre las personas” (7).

En el presente trabajo la discusión está enmarcada en el análisis de la función de distribución empírica del ingreso², se hace referencia a aquel recibido de manera personal por un individuo – en su mayoría, una persona con empleo; por lo que no se hacen ajustes para obtener un ingreso per cápita familiar u otra medida que dé cuenta de ajustes por factores demográficos o arreglos intrahogar.

El uso del enfoque paramétrico para el análisis distributivo se aplica ampliamente en la literatura estadística ya que algunas formas funcionales son idóneas para modelar algunas características de muchas distribuciones empíricas de los ingresos (8).

Como se señaló anteriormente existe la posibilidad de no predeterminedar ningún modelo para la distribución de probabilidad de la variable y dejar que la función de densidad pueda adoptar cualquier forma. A este enfoque se lo denomina estimación no paramétrica de la densidad y tiene entre sus orígenes los trabajos de Fix y Hodges (9).

Varios han sido los autores que han utilizado este enfoque para analizar la distribución del ingreso (10). Burkhauser, Crews, Daly y Jenkins (11), utilizaron la estimación de densidad de núcleo / kernel para examinar los cambios en la distribución de los ingresos de los hogares de Estados Unidos en los años 80. Liu y Zou (12) estudian la creciente desigualdad de ingresos en China en las últimas tres décadas con énfasis en la migración urbana-rural, el progreso económico y tecnológico. Nenovsky y Tochkov (13) examinan el proceso de convergencia entre Europa Central y Oriental (CEE) y la Unión Europea (UE) durante todo el período de transición. Para ello se construyen las distribuciones de densidad de núcleo / kernel y analizan la evolución de su forma para determinar tendencias de convergencia.

Estadísticos basados en la Función de Distribución Empírica (FDE)

Con estas pruebas se realiza la comparación entre $F_n(X)$ (la FDE) y $F(X)$ la función de distribución acumulada (FDA) para ver si coinciden.

Esto lleva al desarrollo de los estadísticos basados en FDE que utilizan las diferencias entre $F_n(x)$ y

²La teoría nos dice que la función de distribución $F(x)$ provee la proporción de individuos de la población con un nivel por debajo o igual a x (Lubrano, 2017). Un estimador natural se obtiene para $F(\cdot)$ considerando: $\hat{F}_n(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathbb{I}(x^i \leq x)$ donde $\mathbb{I}(\cdot)$ es la función indicadora (Lubrano, 2017).

$F(x)$ para determinar si la muestra proviene de $F(x)$.

Cuando se analizan varias muestras, es de interés conocer si proceden de la misma población.

Se supone que se tiene n_i observaciones generadas de una función de densidad de probabilidad $k, f_p, i=1,2,\dots,k$, y el interés es probar la hipótesis nula.

$$H_0: f_1 = f_2 = \dots = f_k \quad (1)$$

Distancia de Kolmogorov-Smirnov

$$K_S = \sup_t \sum_{i=1}^k n_i (F_{ni}(t) - F_n(t))^2 \quad (2)$$

Para $t \in \mathbb{R}$, y donde F_n es la función de distribución empírica que corresponde a la muestra conjunta y F_{ni} es la función de distribución empírica acumulada relacionada con la i -ésima muestra.

Cramér-Von Mises: La generalización de este estadístico para el problema de comparación de k -muestras independientes fue propuesta por (5) y está definida como:

$$CM = \sum_{i=1}^k n_i \int (F_{ni}(t) - F_n(t))^2 dF_n(t) \quad (3)$$

Donde dadas k -muestras independientes de tamaños n_1, \dots, n_k , $F_{ni}(t)$, representa la FDE asociada a la i -ésima muestra ($1 \leq i \leq k$) y $F_n = k^{-1} \sum_{i=1}^k F_{ni}$

Anderson-Darling: La prueba para k -muestras de Anderson-Darling es una prueba de rango y, por lo tanto, no hace las suposiciones restrictivas de los modelos paramétricos. Suponiendo que la i -ésima muestra tiene una función de distribución continua F_{ni} y la finalidad es probar la hipótesis $H_0 = F_1 = \dots = F_k$ sin hacer especificaciones sobre la distribución conjunta F .

Se denota la función de distribución empírica de la i -ésima muestra como $F_{ni}(t)$ y la de la muestra agrupada de todas las $N = n_1 + \dots + n_k$ observaciones por $F_n(t)$. El estadístico de la prueba Anderson-Darling para k -muestras se define como:

$$AD = \sum_{i=1}^k n_i \int \frac{(F_{ni}(t) - F_n(t))^2}{F_n(t)(1 - F_n(t))} dF_n(t) \quad (4)$$

Estadísticos basados en la Función de Densidad de Núcleo (KDE)

Suponiendo que se quiere probar si k diferentes muestras observadas se generaron de la misma función de densidad de probabilidad subyacente, y suponiendo que, para cada muestra, es posible obtener una estimación de densidad de núcleo (Kernel), KDE. Intuitivamente, si todas las k -muestras han sido generadas desde la misma función de densidad de probabilidad, entonces los k diferentes KDE obtenidos deberían ser muy similares. Esto sugiere que uno podría diseñar y

usar diferentes medidas de similitud para cuantificar las semejanzas entre los k diferentes KDE, en la forma de un único valor escalar, un estadístico.

Área Común, AC: Este nuevo concepto fue introducido por Martínez-Cambolor (7), está definido cómo:

$$AC_k = \int \min\{f_{n1}(t), \dots, f_{nk}(t)\} dt \quad (5)$$

Donde f_{ni} , es el estimador de la densidad de núcleo perteneciente a la i -ésima muestra. AC es el área común donde las k densidades se superponen. Si el valor es cercano a uno, las funciones de densidad de probabilidad son casi idénticas, y la hipótesis H_0 nula que formula que $f_1 = f_2 = \dots = f_k$ no puede ser rechazada. Por otro lado, un valor pequeño de AC significa que las muestras probablemente son generadas a partir de diferentes distribuciones.

Norma L1: Si se denota f_{ni} como el estimador de la densidad de núcleo, KDE, perteneciente a la i -ésima muestra de tamaño $n_i, i=(1,2,\dots,k)$, siendo k el número de muestras y f_n la KDE de la muestra conjunta con $n = n_1 + n_2 + \dots + n_k$. Así la generalización de la distancia L_1 puede ser escrita de la siguiente manera:

$$L_{1,k} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k n_i \int |f_{ni}(t) - f_n(t)| dt \quad (6)$$

De acuerdo a la definición del Área Común, se puede observar que para el caso $k=2$, el área común puede ser considerada como una generalización de la distancia L_1 .

Distancia L2 o Euclidiana. De acuerdo a Baranzano [1], se define como:

$$L_{2,k} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k n_i \int (f_{ni}(t) - f_n(t))^2 dt \quad (7)$$

Para f_{ni}, f_n, n_i y n definidos de la misma forma que para $L1$. Nótese que si se reemplaza $f(\cdot)$ por $F(\cdot)$, se obtiene esencialmente la generalización de las pruebas para k muestras de Cramér-von Mises.

Distancia S

$$S_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k n_i \sup_t |f_{ni}(t) - f_n(t)| \quad (8)$$

De acuerdo a esta expresión se puede ver la analogía con la distancia de Kolmogorov-Smirnov en este caso la diferencia está, que en el contraste con la distancia KS que utiliza la función de distribución empírica acumulada FDEA, el cálculo de la distancia S se basa en las KDE (14).

De acuerdo a los objetivos planteados, se aplican estas pruebas para identificar los cambios en la distribución del ingreso en el país a nivel de provincia y actividad económica.

El *procedimiento metodológico* aplicado consiste

en las siguientes fases: en un primer momento se realiza la descripción de las bases de datos a utilizar, luego se define la variable de interés, a continuación se realiza el análisis exploratorio de esta variable a partir de las bases de datos de las encuestas de empleo para el período 2006-2016, el siguiente paso consiste en la estimación de las funciones de densidad y de distribución para la aplicación de las pruebas propuestas, finalmente, se analizan e interpretan los resultados.

La principal fuente de información será el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos –INEC–, entidad encargada de proveer la estadística oficial del país. Puntualmente se hará uso de los datos levantados en la Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo ENEMDU. Uno de los propósitos de la encuesta es, conocer la actividad económica y las fuentes de ingresos de la población.

Para los fines de este trabajo el análisis se realizará en función del ingreso personal total, no solo refleja la capacidad de obtener ingresos de un individuo, sino que también mide su potencial sobre el bienestar (15).

Además, se adoptó la transformación logarítmica de los ingresos, con el fin de capturar adecuadamente la estructura subyacente de las densidades en el rango de ingresos más bajos (16).

Debido a que la forma de la distribución del ingreso es sensible a las fluctuaciones de los precios y que se realizarán comparaciones de los cambios reales en el ingreso promedio y en el movimiento de la distribución a través de los años, los ingresos utilizados han sido ajustados por el Índice de Precios al Consumidor (IPC)³ de diciembre de 2016.

Ya que se realizará un análisis temporal entre el año 2006 y 2016, solo se tomaron en cuenta las provincias que tienen información para todos los años. En el caso de las provincias de la Amazonía de acuerdo al INEC, estas solo son representativas en la ENEMDU a partir del 2014 por lo que se dispone de tres años de análisis, por esta razón se ha agrupado a estas provincias en un solo dominio. Se analiza un total de 16 dominios.

Para el análisis de los ingresos por actividad económica se utilizará la Clasificación Industrial Internacional Uniforme de Actividades Económicas (CIIU Revisión 4.0) que sirve para clasificar uniformemente las actividades o unidades

económicas de producción, dentro de un sector de la economía, según la actividad económica principal que desarrolle. Fue necesario efectuar una correlación de la “Clasificación Nacional de Actividades Económicas” (CIIU Rev. 4.0), con la versión anterior “Clasificación Nacional de las Actividades Económicas de acuerdo a la CIIU – Rev. 3.1”. De acuerdo a la clasificación CIIU Rev. 4 se cuenta con 22 actividades, sin embargo, por la baja participación en algunas de ellas se optó por realizar el análisis de la distribución del ingreso para 7 ramas de actividad que comprenden en promedio el 75% de las personas ocupadas.

Procedimiento para el análisis de la forma de la distribución del ingreso a partir de métodos no paramétricos.

Las representaciones gráficas, como histogramas, curvas de Lorenz, gráficos de probabilidad normal o Q-Q Plot Normal y desfiles de enanos de Pen, se han utilizado con frecuencia como herramientas alternativas o complementarias para resumir las distribuciones de ingresos. Estos gráficos no se centran simplemente en una característica específica de la distribución, como lo hacen las diversas medidas puntuales, sino que resumen varias características de la distribución completa.

En este marco, el gráfico de probabilidad normal nos permite comparar la distribución empírica de un conjunto de datos con la distribución Normal. Supongamos que disponemos de un conjunto de observaciones $x_p (i=1,2,\dots,n)$.

Sea $F(x)$ la función de distribución de una distribución especificada. El gráfico de probabilidad seconstruye de la siguiente manera:

1) Se ordena las observaciones de menor a mayor en la forma $x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(n)}$

2) Se determina los valores

$$p_i = \frac{i - 0.5}{n} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

Si por $Q_x(p)$ notamos al cuantil de orden $p (0 < p < 1)$ de las observaciones, tenemos que:

$$x_i = Q_x(p_i) \quad i = 1, 2, \dots, n$$

3) Determinar los cuantiles de orden $p_i, i=1,2,\dots,n$ de la distribución teórica representada por la función de distribución F , es decir:

$$Q_t(p_i) = F^{-1}(p_i) \quad i = 1, 2, \dots, n$$

4) Representar el conjunto de puntos $(Q_t(p_i), Q_x(p_i)), i=1,2,\dots,n$ o $((F^{-1})p_i, x_i)$

³El Índice de Precios al Consumidor (IPC) es la medida de variación en el nivel general de precios de los bienes y servicios que consumen los hogares en una economía; estas variaciones inciden directamente en el poder adquisitivo de los consumidores y en su bienestar (CEPAL, INEC, 2017). Además, en los Boletines Técnicos del IPC publicados por el INEC, se define como un indicador de los precios de la economía nacional que se construye con los precios finales de 359 productos de mayor consumo y utilización. Su periodicidad es mensual y su año base es el 2014 (INEC, 2018b).

Si la distribución teórica constituye una buena aproximación de la distribución empírica, es de esperar que los cuantiles de los datos estén muy próximos a los de la distribución teórica y, por tanto, los puntos del gráfico estarán muy próximos a la bisectriz del primer cuadrante.

Por otra parte, la función de densidad de núcleo (Kernel) y sus gráficos correspondientes proporcionan una interpretación simple y directa de la distribución del ingreso. El mecanismo para el presente análisis será a través de la estimación de la densidad de núcleo.

Supongamos que queremos probar la igualdad de k poblaciones con densidades f_1, \dots, f_k , dadas k muestras aleatorias $\{x_{ij}\}_{j=1}^{n_i}$, $1 \leq i \leq k$, extraídas independientemente de sus respectivas densidades. El estimador de la densidad de núcleo está dado por:

$$\hat{f}_n(x) = \frac{1}{nh_n} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-X_i}{h}\right) \quad (10)$$

Donde $K(x)$ es una función denominada función Núcleo, que cumple algunas condiciones de regularidad, generalmente es una función de densidad simétrica de media cero, $\{h_n\}$ es una secuencia de constantes positivas conocida como ancho de banda, parámetro de suavización o *bandwidth*. Si $h \rightarrow \infty$, entonces $\hat{f}(x) = 0$ para todo x . El estimador de densidad de núcleo será obtenido a partir de la función *density* de R que tiene los siguientes argumentos:

```
density(x, bw = "nrd0", adjust = 1, kernel = c("gaussian", "epanechnikov", "rectangular", "triangular", "biweight", "cosine", "optcosine"), weights = NULL, window = kernel, width, give.Rkern = FALSE, n = 512, from, to, cut = 3, na.rm = FALSE, ...)
```

Donde,

- x son los datos a partir de los cuales se calculará la estimación,
- bw , es el ancho de banda suavizado que será utilizado. El valor predeterminado, "nrd0", es 0.9 veces el mínimo de la desviación estándar y el rango intercuartil dividido por 1.34 veces el tamaño de la muestra a una potencia quinta negativa ('regla de oro' de Silverman) a menos que los cuantiles coincidan cuando se garantice un resultado positivo.
- *kernel*, una cadena de caracteres que contiene la lista de núcleos que serán utilizados, tiene como predeterminado el núcleo gaussiano.
- n , es el número de puntos igualmente espa-

ciados en los que se debe estimar la densidad, si $n > 512$, se redondea a una potencia de 2 durante los cálculos y el resultado es interpolado.

Para graficar la función de densidad de núcleo de los ingresos se utiliza la librería *plotly* y *ggplot2* de R.

Procedimiento para la aplicación de las pruebas no paramétricas para k muestras

Se consideran las siguientes hipótesis nulas sobre la homogeneidad de k poblaciones (X_{ij}):

Basadas en la función de distribución: $F_1 = F_2 = \dots = F_k$

Basadas en la función de densidad: $f_1 = f_2 = \dots = f_k$

a) Aplicación de la generalización de la prueba para k muestras de Kolmogorov – Smirnov (KS)

Para la implementación del algoritmo que permita obtener este estadístico se siguió lo desarrollado por Baranzano (14) en el que se aplica una prueba basada en permutaciones para probar la hipótesis nula H_0 de igualdad de k poblaciones. Es importante indicar que en el trabajo mencionado solo se realiza una aplicación para tres muestras por lo que el algoritmo propuesto en este trabajo es un aporte al extender el procedimiento a k muestras.

El procedimiento se aplica de la siguiente manera:

Supongamos que se tienen dos muestras X y Y que pertenecen a la misma distribución y representan la hipótesis nula H_0 siendo la hipótesis alternativa que las muestras provienen de diferentes distribuciones.

Denotamos K_{Skobs} el estadístico observado y T_{obs} calculado de las muestras de datos simulados.

Los elementos de X y Y se juntan y permutan, luego de la permutación, los elementos se dividen en dos grupos X y Y , preservando el tamaño muestral original de estas muestras.

Luego el nuevo estadístico $K_{Sk} = T_k$ es calculado de los datos permutados. Este procedimiento se repite 1000 veces, resultando en 1000 estadísticos T_1, \dots, T_{1000} , con lo que se construye la distribución del estadístico, conocida como distribución de permutación bajo la hipótesis nula.

El p valor se calcula como:

$$pvalor = \frac{\#(A) \{ |T_i| \geq |T_{obs}| \}}{N_p} \quad (11)$$

Para $1 \leq i \leq 1000$

Aquí $\#(A)$ representa el número de veces que el evento A se satisface y N_p el número de permutaciones realizadas. Para incluir el estadístico ob-

servado se añade 1 al número total de cálculos, luego el *p*valor se puede expresar como:

$$pvalor = \frac{\#(T_{i1} \geq |T_{obs}|) + 1}{N_p + 1} \quad (12)$$

Si el $pvalor < \alpha$, la hipótesis nula H_0 se rechaza, α representa el nivel de significancia, que es la cantidad de evidencia requerida para aceptar que es improbable que un evento haya surgido por casualidad (azar). En otras palabras, si es poco probable que se obtenga T_{obs} cuando se permuta ($\leq \alpha$), luego la hipótesis nula se rechaza. El valor seleccionado para α es 0.05.

Las variables de entrada para su aplicación son una lista que contiene la variable del logaritmo del ingreso personal total real por provincia y por año; así como una lista de la variable del logaritmo del ingreso personal total real por rama de actividad y por año. Para obtener el *p* valor se utilizaron 1,000 permutaciones, el desarrollo del código se encuentra en el Apéndice.

b) Aplicación de la generalización de la prueba para *k* muestras de Anderson Darling (AD)

Otra de las pruebas basadas en FDE es la generalización para *k* muestras de la prueba de Anderson, Darling (A_D) discutidos en (5).

Para la aplicación de esta prueba se utiliza el paquete *kSamples* desarrollado en R por Fritz Scholz y Angie Zhu en agosto de 2017⁴. Este paquete tiene como objetivo comparar *k* muestras utilizando, entre otros, el estadístico de Anderson-Darling, así como el de Kruskal-Wallis con diferentes criterios de puntajes. Calcula *p* valores asintóticos y *p* valores exactos (simulados o limitados). Para obtener más detalles se puede acceder a la documentación del paquete disponible en el repositorio CRAN de R (17).

c) Aplicación de las pruebas basadas en la función de densidad - KDE

Las pruebas que serán desarrolladas en este trabajo son:

- Generalización para *k* muestras de la norma L_1
- Generalización para *k* muestras de la norma L_2
- Generalización para *k* muestras de la distancia S_k
- Generalización para *k* muestras del Área Común AC

El estadístico del Área Común es desarrollado por el método de permutaciones, siguiendo un procedimiento similar al detallado en el apartado

anterior el código se encuentra en Apéndice.

Par la aplicación de las tres pruebas propuestas basadas en KDE, con los que se realiza el contraste de la hipótesis nula, se ha implementado un código en R siguiendo el trabajo desarrollado (4), en este trabajo solo se había implementado la función L_1 para dos muestras, por lo que este trabajo aporta con el desarrollo del algoritmo de las generalizaciones para *k* muestras de las pruebas L_1 , L_2 , AC y S_k .

El código en R de las funciones se encuentra en el Apéndice.

d) Planteamiento Bootstrap

El estimador núcleo de la densidad f_{ni} ($i=1,2,3$) utiliza para el cálculo de los estadísticos L_1 , L_2 y S_k un ancho de ventana de la forma $\hat{h}_{ni} = S \hat{\alpha}_{ni} n_i^{-\frac{1}{5}}$, donde $\hat{\alpha}_{ni}$, representa la desviación estándar en la *i*-ésima muestra y donde *S* varía en una determinada matriz de valores.

En todos los casos se utilizó el núcleo Gaussiano. En este contexto, en el que el supuesto es que las poblaciones de origen son continuas, el método con el que se obtiene mejores resultados para la aproximación del valor crítico de los estadísticos de prueba a un nivel α es el Bootstrap suavizado, que se basa en la generación de muestras desde la Función de Distribución Empírica Suavizada (FDES), dada una muestra aleatoria $X=X_1, \dots, X_n$, queda definida de la siguiente manera:

$$\tilde{F}_h(X, t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tilde{K} \left(\frac{t-x_i}{h} \right) \quad (13)$$

Donde \tilde{K} es una función de distribución, usualmente elegida de modo que su derivada sea una función de densidad simétrica, de media cero y varianza finita; $h=h(n)$ es una sucesión de números reales positivos, como parámetros ventana, que en general no son de la misma naturaleza que los utilizados en la estimación de núcleo para la función de densidad. Dadas *k* muestras aleatorias simples $X=X_1, \dots, X_k$ de tamaños n_1, \dots, n_k , respectivamente, se construye una región crítica para el contraste:

$$\begin{aligned} H_0: f_i &= f_j \quad j \in 1, \dots, k; \\ H_1 &= \text{no se cumple } H_0 \end{aligned}$$

Asumiendo que la hipótesis nula es cierta, y si las muestras son independientes, es razonable plantear el siguiente plan de remuestreo:

- Desde la muestra conjunta *X*, se calcula la FDES definida en (60) y se calcula el estadístico $F(X)$.

⁴Actualizado al 20 de mayo de 2019. (Scholz & Zhu, 2019)

- Aleatoriamente, se generan B remuestras Bootstrap (X^b) de tamaño n_i ($i=1, \dots, n$) de la distribución calculada en el paso anterior. Para cada muestra Bootstrap se calcula el valor del estadístico $F(X^b)$.
- Se aproxima la distribución del estadístico $F(X)$ a partir de los valores $F(X^b)$ y se toma el $1-\alpha$ percentil a lo largo de las remuestras Bootstrap como el valor crítico.

Las variables de entrada son: Una lista que contiene la variable del logaritmo del ingreso personal total real por provincia y por año; así como una lista de la variable del logaritmo del ingreso personal total real por rama de actividad y por año. Para la aplicación de estas pruebas se utilizaron 500 remuestras en la función de Bootstrap. En el Apéndice se encuentra el código desarrollado en R.

III. RESULTADOS

En América Latina la desigualdad de la distribución del ingreso se ha reducido desde principios de la década de 2000, gracias a un aumento más rápido de los ingresos en los quintiles más bajos que en el resto de la población. No obstante, el ritmo de reducción de la desigualdad se ha desacelerado y, de acuerdo con fuentes complementarias a las encuestas de hogares, no ha disminuido e incluso puede haber aumentado la participación de los grupos más ricos en el total de los ingresos (18).

Al analizar las cifras de pobreza por ingresos en el Ecuador para el período 2006-2016⁵, a nivel nacional se encuentra que la incidencia de la pobreza extrema se redujo a la mitad en el período analizado y la incidencia de la pobreza se redujo en alrededor de 15 puntos porcentuales (19).

Esta tendencia de reducción se mantiene en este período para las provincias de la Sierra y la Costa. Sin embargo, las provincias de la Amazonía muestran un panorama diferente. Analizada como un solo dominio, entre 2006 y 2016 la Amazonía mantuvo constante su incidencia de pobreza extrema. Y más aún, en 2016 las provincias de Morona Santiago, Napo y Pastaza tuvieron tasas de pobreza extrema superiores al 30%. En cuanto a las ramas de actividad económica se

aprecia que la Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca es la que concentra la mayor cantidad de personas en situación de pobreza, a 2016 el 46% de la población ocupada en estas actividades es pobre. En el período analizado todas las ramas de actividad han reducido la tasa. Siendo las que más la Agricultura y la Construcción con reducciones de 14 y 12 puntos porcentuales. Las que menos la Administración pública, defensa y seguridad social y Enseñanza que para 2016 prácticamente no registran población pobre por ingresos.

Los últimos veinticinco años, 1990-2014, muestran varios hechos que marcan la trayectoria de la economía ecuatoriana. Se pueden distinguir tres períodos de análisis: 1990-1999, 2000-2006, y 2007-2014 (20).

El PIB de Ecuador, en el cuarto trimestre de 2016, a precios constantes, mostró una tasa de variación anual ($t/t-4$, respecto al cuarto trimestre de 2015) de -1.2%. Desde 2005, las tasas de crecimiento del PIB en Ecuador han sido altas, con excepción de 2009, 2015 y 2016. De acuerdo a las cifras del precio real del petróleo y los términos de intercambio, estos son precisamente los años en que las condiciones externas se volvieron desfavorables para Ecuador. De hecho, para el período 2005-2015, la correlación entre el crecimiento del precio real del petróleo y el crecimiento del PIB ha sido de 0,74 (20). Durante este período, como ya se revisó, la pobreza y la desigualdad disminuyeron significativamente.

Análisis de la Normalidad de las Distribuciones del Ingreso en el Período 2006-2016

Se realiza el contraste de las siguientes hipótesis:

H_0 = La distribución de los ingresos personales proviene de una normal entre los años 2006 a 2016

H_1 = La distribución de los ingresos personales no proviene de una distribución normal entre los años 2006 a 2016

En primer lugar, se realiza un análisis a partir de gráficos de probabilidad normal o Q-Q Plot Normal

A continuación, para ilustrar este análisis solo se presentan los gráficos a nivel nacional, de las ramas de actividad Agricultura, ganadería, caza,

⁵La información presentada en este Capítulo proviene de la Encuesta Nacional de Empleo Desempleo y Subempleo (ENEMDU), que realiza el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), los datos de la mayoría de indicadores están publicados en las siguientes páginas: Portal oficial del INEC, <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas/>. Página web del Sistema Integrado de Conocimiento y Estadística Social del Ecuador (SICES), <http://www.conocimientosocial.gob.ec/> y, página web del Sistema Nacional de Información (SNI), <http://menucloud.sni.gob.ec/web/menu/>. Los valores de los indicadores correspondientes a la actividad económica que no se encontraron en las páginas citadas fueron calculados a partir de la sintaxis publicada en las Fichas metodológicas de los indicadores de pobreza y desigualdad.

silvicultura y pesca y Enseñanza y de las provincias de Chimborazo, Azuay y El Oro.

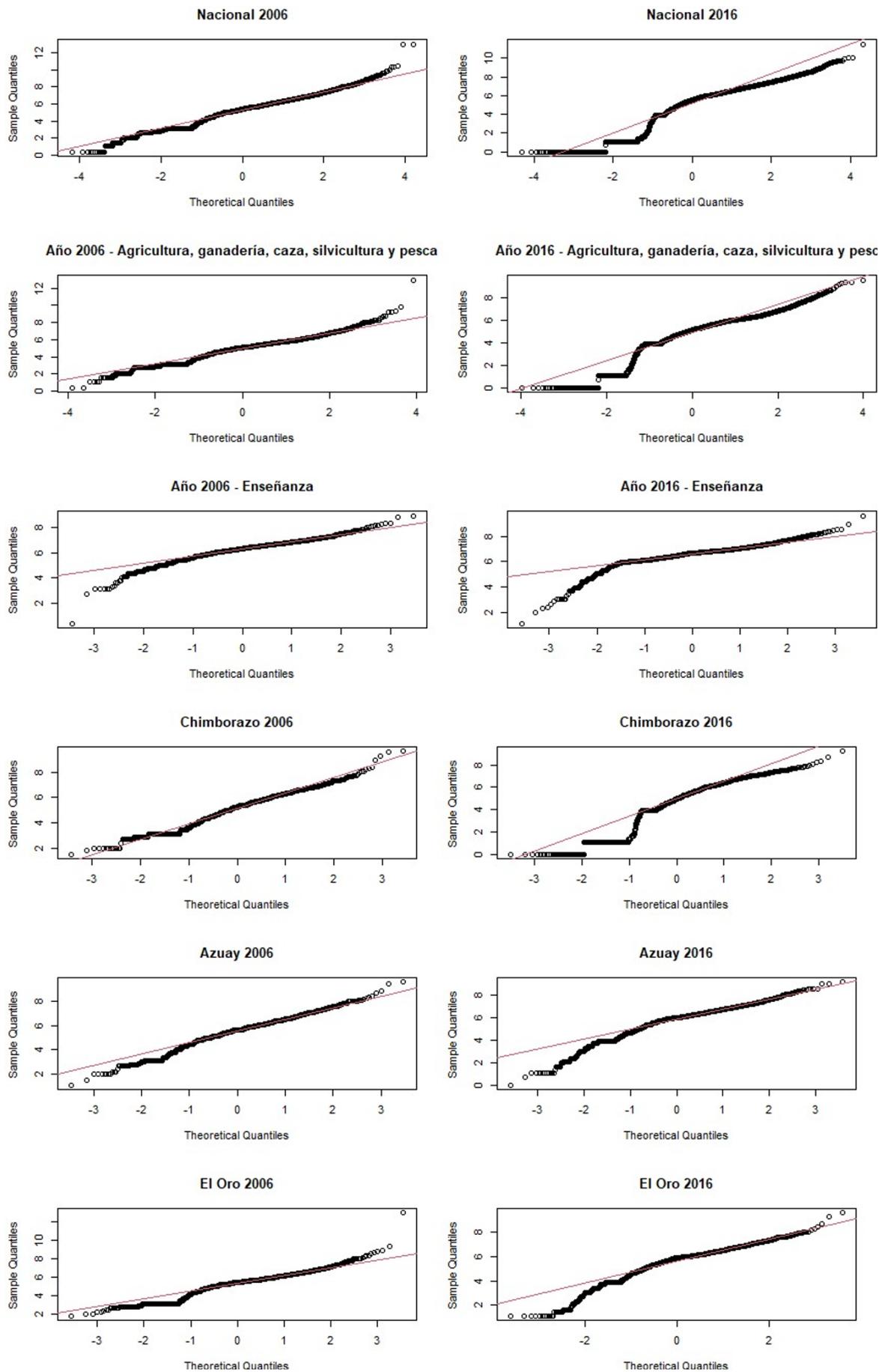


Figura 1. Gráfico de probabilidad normal o Q-Q Plot Normal de los ingresos totales personales reales período 2006-2016

Para inferir que la distribución de los ingresos personales en cada una de las desagregaciones proviene de una Normal las curvas deberían ajustarse a la línea roja, es decir que el valor del cuantil de la muestra coincide con el valor exacto del cuantil teórico correspondiente.

Sin embargo, de acuerdo a los resultados obtenidos, en la Figura 1 se puede apreciar que en todos los casos los datos no se distribuyen simétricamente y muestran un sesgo a la izquierda, con colas pesadas a la izquierda y en menor medida a la derecha. También, se observa que estas características en la mayoría de los casos se acentúan en el 2016. Estas características dan indicios de la desigualdad de la distribución de los ingresos ya que las curvas no se asemejan a una curva Normal.

Para confirmar o rechazar la hipótesis nula de normalidad de los ingresos se aplican dos pruebas:

Prueba de Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) es

una prueba ómnibus basada en la FDA para la hipótesis compuesta de normalidad. El estadístico de la prueba es la máxima diferencia absoluta entre la función de distribución acumulativa empírica y la hipotética.

Puede calcularse como $D = \max\{D^+, D^-\}$, para su aplicación se utiliza el paquete “nortest” de R (21).

Prueba de Jarque Bera, el procedimiento de esta prueba es bastante diferente al de las pruebas Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk, esta prueba se centra en la asimetría y la curtosis de los datos de la muestra y compara si coinciden con la asimetría y la curtosis de la distribución normal. Su aplicación se realiza con el paquete “nortest” de R (22).

Es importante indicar que se aplican estas pruebas como alternativa a las ya descritas en este estudio como son las pruebas de Kolmogorov-Smirnov, Anderson Darling y Cramer Von Mises.

Se obtiene los siguientes resultados:

Nivel		Prueba de Jarque.bera				Prueba Lilliefors (Kolmogorv-Smirnov)			
		2006		2016		2006		2016	
		Estadístico	P - valor	Estadístico	P - valor	Estadístico	P - valor	Estadístico	P - valor
	Nacional	851,06	2,20E-16	11117	2,20E-16	0,091886	2,20E-16	0,13967	2,20E-16
PROVIN- CIA	AZUAY	91,785	2,20E-16	912,04	2,20E-16	0,078767	2,20E-16	0,12788	2,20E-16
	BOLIVAR	31,541	1,42E-07	228,86	2,20E-16	0,083058	2,20E-16	0,14565	2,20E-16
	CAÑAR	75,601	2,20E-16	74,235	2,20E-16	0,087989	2,20E-16	0,070922	2,20E-16
	CARCHI	56,226	6,18E-13	253,23	2,20E-16	0,085892	2,20E-16	0,10993	2,20E-16
	COTOPAXI	38,246	4,96E-09	524,12	2,20E-16	0,090241	2,20E-16	0,13728	2,20E-16
	CHIMBORAZO	15,247	0,000488	205,91	2,20E-16	0,064607	2,20E-16	0,1466	2,20E-16
	EL ORO	195,81	2,20E-16	951,19	2,20E-16	0,12337	2,20E-16	0,12412	2,20E-16
	ESMERALDAS	73,86	2,20E-16	264,01	2,20E-16	0,098887	2,20E-16	0,12551	2,20E-16
	GUAYAS	123,96	2,20E-16	2577,9	2,20E-16	0,10304	2,20E-16	0,14066	2,20E-16
	IMBABURA	48,964	2,33E-11	635,89	2,20E-16	0,094943	2,20E-16	0,11653	2,20E-16
	LOJA	48,815	2,51E-11	97,573	2,20E-16	0,069884	2,20E-16	0,0589	2,20E-16
	LOS RIOS	134,11	2,20E-16	623,62	2,20E-16	0,1306	2,20E-16	0,15071	2,20E-16
	MANABI	54,241	1,67E-12	570,41	2,20E-16	0,098618	2,20E-16	0,15476	2,20E-16
	PICHINCHA	487,42	2,20E-16	1519,4	2,20E-16	0,11424	2,20E-16	0,19956	2,20E-16
	TUNGURAHUA	68,256	1,55E-15	2195,7	2,20E-16	0,095914	2,20E-16	0,1479	2,20E-16
AMAZONÍA	60,348	7,86E-14	1064,5	2,20E-16	0,08411	2,20E-16	0,11952	2,20E-16	
RAMA DE ACTIVI- DAD	Agricultura	502,29	2,20E-16	5848,2	2,20E-16	0,098974	2,20E-16	0,13081	2,20E-16
	MANUFACTURA	379,06	2,20E-16	1548,4	2,20E-16	0,088266	2,20E-16	0,1205	2,20E-16
	COMERCIO	220,6	2,20E-16	2039,2	2,20E-16	0,06417	2,20E-16	0,077493	2,20E-16
	ENSEÑANZA	1829,2	2,20E-16	11766	2,20E-16	0,081033	2,20E-16	0,086388	2,20E-16
	ADMINISTRACIÓN PÚBLICA	569,97	2,20E-16	10223	2,20E-16	0,052155	1,98E-07	0,060321	2,20E-16
	CONSTRUCCIÓN	741,02	2,20E-16	1564	2,20E-16	0,12296	2,20E-16	0,10933	2,20E-16

Tabla 1. Pruebas de normalidad.

Los resultados obtenidos en la Tabla 1 muestran que en todos los casos no se puede aceptar la hipótesis nula y por el contrario se acepta la hipó-

tesis alternativa que indica que la distribución de ingresos no sigue una Normal y por tanto se justifica el enfoque no paramétrico para medir

los cambios en la distribución de los ingresos a través del tiempo y por distintos segmentos de la población

Análisis de la Homogeneidad de las Distribuciones del Ingreso en el Período 2006-2016

Se contrastó las siguientes hipótesis:

H_0 = No existen cambios en la distribución de los ingresos personales (función de densidad) entre los años 2006 a 2016

H_1 = Existen cambios en la distribución de los ingresos personales (función de densidad) entre los años 2006 a 2016

En primer lugar, se realiza un análisis gráfico de las funciones de densidad de los ingresos personales totales reales para el período de estudio.

La Figura (2) de la función de densidad de núcleo para la distribución de los ingresos totales por año muestra en general la concentración de la población en cada nivel de ingresos, particularmente se aprecia:

- Los cambios en la forma y localización de la distribución (respecto a la media o mediana) entre 2006 y 2016 con un movimiento hacia la derecha y aplastamiento de la función de densidad tiene implicancias en términos de crecimiento y desigualdad. El movimiento hacia la derecha es reflejo de un aumento del ingreso medio de la población, el aplastamiento de la función de densidad para 2016, sugiere un incremento de la desigualdad.
- Un desplazamiento de la distribución de los ingresos a la derecha, el promedio de los ingresos entre 2006 a 2016 se incrementó en un 14%. Sin embargo, entre 2015 y 2016 el ingreso real decrece en un 4.82% (de una media de 531 a 506 dólares). Por su parte el salario básico unificado pasó de 160 a 366 dólares es decir se incrementó alrededor del 44%. Además, un traslado de las densidades hacia la derecha, explican la reducción de la pobreza, que para el caso del país en el período analizado se redujo en 15 puntos porcentuales (23).
- La forma de la distribución tiene la característica de mostrar un grupo con una alta concentración alrededor de los valores de la moda y la media, lo que indicaría una menor desigualdad. Lo que también se refleja en las medidas puntuales del coeficiente de Gini, que ha permanecido estable en los últimos años (a partir de 2011). Se

verifica que la desigualdad de ingresos ha disminuido a nivel nacional en el período analizado 2007-2015 (24).

- Se puede diferenciar tres períodos, el primero que es el salto de la distribución del 2006 al 2009, luego entre 2010-2012 se mantiene estable, alcanzando el mayor pico en 2012, para luego disminuir el nivel de la densidad, esto implica una movilización en la distribución que si bien sigue concentrada alrededor de la moda, es más dispersa respecto al año 2010 o 2012, por tanto el tercer período se aprecia entre 2013-2016, al mirar la gráfica parecería que esta dispersión fue hacia los niveles de menores ingresos, donde hay un mayor ensanchamiento de la curva. Esto podría estar relacionado con el aumento de la tasa de empleo inadecuado (de acuerdo al INEC pasa de 46.7% en 2014 a 53.4% en 2016).

- Al revisar otras medidas puntuales del ingreso como la variación porcentual de los ingresos por cuantil (25). Al comparar cada año respecto al 2006 que es el año base para el análisis, se comprueba que hay una mejora en el nivel de los ingresos en general, pero sobre todo para los primeros 10 cuantiles. Por otro lado, al analizar la variación entre 2016 y 2014 se evidencia un decrecimiento de la media de los ingresos, sobre todo en primeros ocho cuantiles, mientras que los cuantiles con mayores ingresos permanecen prácticamente igual. Lo que también confirmaría la disminución de la densidad para 2016. Esto podría indicar una pérdida en el bienestar. Estos resultados en particular son consistentes con lo reportado por la CEPAL (26), en el que se indica que en hasta 2014 el incremento de los quintiles más pobres fue mayor que el de los quintiles más ricos, en tanto que para 2016 el ritmo de reducción de la desigualdad se ha desacelerado.

- Resaltan dos protuberancias, la que se encuentra alrededor de la media y la mediana en cada año, que concentra la mayor cantidad de personas y una pequeña protuberancia que se encuentra en el intervalo [3.1,3.3] para 2006, [3.5,3.75] para 2008-2010, y [3.6,4,1] en 2015-2016, que corresponden a valores de USD 15 a USD 30, USD 35 y USD 50, respectivamente, lo que concuerda con los valores pagados por concepto de Bono de Desarrollo Humano, BDH en esos años; el grupo poblacional que se encuentra en esta agrupación está compuesta en su mayoría por mujeres,

también predomina el empleo en la categoría de otro empleo no pleno y trabajo no remunerado (categoría que de acuerdo al INEC también forma parte de la población con empleo) y en vista que se analiza el ingreso total, se incluye también otras transferencias.

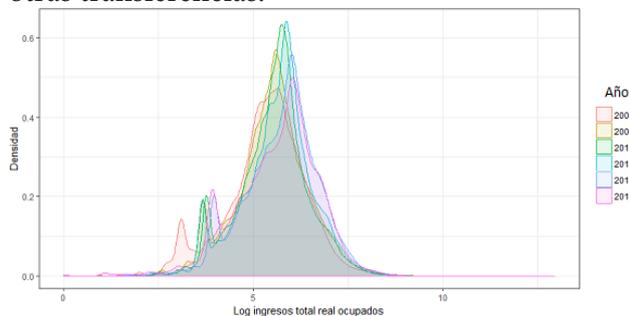


Figura 2. Función de densidad de los ingresos totales personales reales período 2006-2016.

En cuanto al análisis de los estadísticos para probar la hipótesis nula, se obtuvieron los siguientes resultados:

Comparación entre años		
Pruebas	Estadístico	P - valor
KS	61791.6	<0.001
AD	5381	<0.001

Tabla 2. Estadísticos basados en la FDE

Comparación entre años		
KDE	Estadístico	P-valor
L1,k	0.201	0.004
L,2k	0.012	0.996
Sk	0.124	0.004
AC	0.7186	0.001

Tabla 3. Estadísticos basados en la KDE

De acuerdo a esto se rechaza la hipótesis nula de igualdad de la distribución de los ingresos en el período 2006 – 2016. A excepción de la norma L2 con la que se obtuvo un p valor de 0.99.

Análisis de la Homogeneidad de las Distribuciones del Ingreso en el Período 2006-2016 por Provincia.

Se contrastó las siguientes hipótesis:

H_0 = No existen cambios en la distribución de los ingresos de la provincia i entre los años 2006 a 2016

H_1 = Existen cambios en la distribución de los ingresos de la provincia i entre los años 2006 a 2016 Donde i representa cada una de las provincias analizadas siendo: Azuay (1), Bolívar (2), Cañar (3), Carchi (4), Cotopaxi (5), Chimborazo (6), El Oro (7), Esmeraldas (8), Guayas (9), Imbabura

(10), Loja (11), Los Ríos (12), Manabí (13), Pichincha (17), Tungurahua (18) y la Amazonía (30).

Para realizar un análisis gráfico más detallado se dividieron las provincias en dos grupos:

1: Azuay (1), Bolívar (2), Cañar (3), Carchi (4), Cotopaxi (5), Chimborazo (6), El Oro (7) y Esmeraldas (8).

2: Guayas (9), Imbabura (10), Loja (11), Los Ríos (12), Manabí (13), Pichincha (17), Tungurahua (18) y Amazonía (30).

Respecto a la primera agrupación se puede decir que se aprecia la conformación de tres grupos. En el primer grupo de provincias se destacan El Oro y Azuay por ser las provincias que más concentración alrededor de la media presentan por tanto son las menos desiguales y con los ingresos más altos respecto al resto de provincias del grupo (una media de USD 500), el siguiente grupo lo conforman: Cañar, Esmeraldas, Carchi y Cotopaxi, que estarían un nivel medio, con ingresos más bajos, ya que las curvas se desplazan a la izquierda respecto al grupo anterior, finalmente se tiene a las provincias de Bolívar y Chimborazo que son las provincias que presentan mayor desigualdad e ingresos más bajos, el promedio de ingresos de Chimborazo para 2016 fue de USD 342 mientras que los de Azuay fueron de USD 511. En el gráfico a nivel de provincias, como en el nivel nacional también se observa una segunda protuberancia, en la que sobresale la provincia de Chimborazo, como se aprecia en la gráfica entre las provincias comparadas es la que mayor cantidad de personas se encuentran alrededor del logaritmo del [3.75] que representan alrededor de USD 50, esto implica que hay un buen número de personas en esta provincia que reciben transferencias monetarias distintas a los ingresos laborales.

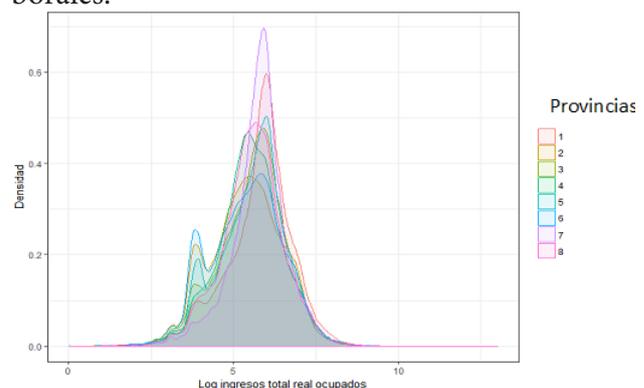


Figura 3. Función de densidad de los ingresos totales personales reales período 2006-2016 por provincia (Grupo 1).

En el segundo grupo de análisis las provincias con mayor concentración de personas alrededor de la media son: Pichincha, Guayas y los Ríos, de igual manera con el nivel más alto de ingresos respecto al resto del grupo. Seguido por las provincias de Manabí, Tungurahua e Imbabura en el medio, finalmente las provincias de la Amazonía y Loja, que son las que presenta más dispersión y niveles de ingresos más bajos. La provincia que sobresale en la segunda protuberancia es la Amazonía, donde hay más concentración de personas que perciben ingresos de alrededor de USD 50 derivadas de transferencias monetarias condicionadas. El gráfico muestra las brechas en la distribución de los ingresos (vista a través de la diferencia de altura de las curvas), mientras el promedio de ingresos de Pichinchas es de USD 642 el de la Amazonía es de USD 469.

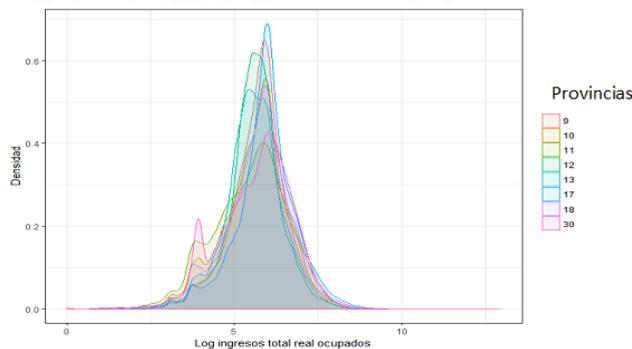


Figura 4. Función de densidad de los ingresos totales personales reales período 2016 por provincia (Grupo 2).

Los cambios en la forma, dispersión, localización, aplastamiento de las curvas están de acuerdo a los resultados presentados por el INEC (27), se indica que al realizar un análisis por región natural en el año 2006 la región Sierra es la que más contribuye a la desigualdad (21,1 puntos o 55,8%), seguida de la región Costa (14,2 puntos o 37,5%), la Amazonía (1,4 puntos o 3,8%), el aporte de cada grupo a la desigualdad nacional se mantiene para el año 2014.

Chimborazo es la provincia que en lugar de haber mejorado la distribución de su ingreso a tenido un retroceso, ya que la distribución traslado su densidad hacia menores ingresos en 2016. La mayor parte de los ocupados tienen una condición de ocupación en otro empleo no pleno, en tercer lugar, se encuentran los trabajadores no remunerados. La media de los ingresos de la provincia en el período analizado es de USD 300 inferior al valor del salario básico unificado SBU de 2016 de USD 366.

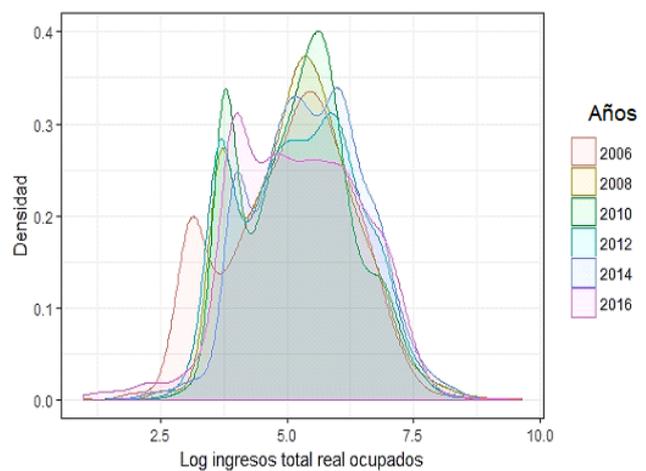


Figura 5. Función de densidad de los ingresos totales personales reales período 2006-2016 Chimborazo.

Lo observado a través de las curvas de densidad del ingreso para las provincias del país está en sintonía con lo encontrado por varios autores que han realizado investigación a nivel territorial. Las provincias más competitivas son Guayas, Pichincha y Azuay y que concentran las tres cuartas partes de la actividad económica del país (28). En tanto que las menos competitivas son Bolívar y la Amazonia, dado que las diferencias competitivas no cambian en el corto plazo y en la ausencia de externalidades fuertes estas discrepancias se mantendrían en el corto y mediano plazo.

Pichincha presenta las condiciones más adecuadas para registrar menores niveles de desigualdad en el ingreso laboral ya que su estructura de empleo es adecuada, con los menores niveles de subempleo y desempleo y los retornos a la educación son crecientes de acuerdo a los niveles de escolaridad (29). Existe mayor concentración de capital humano en Pichincha, Napo, Galápagos, también resaltan Santa Elena y El Oro que son las ciudades que tienen mayor actividad económica, lo que les permite insertarse a mejores puestos laborales con mejores salarios (30).

Finalmente, Las provincias con mayor contribución al índice de desigualdad de Theil fueron Pichincha por el lado de las ricas y Manabí por el lado de las pobres y que en general, la ubicación de las provincias en los diferentes rangos es bastante estable en el tiempo, por lo que a pesar que el índice a nivel nacional se ha reducido, las provincias siguen manteniendo su estructura de ricas y pobres a lo largo del tiempo (31).

A continuación, se presentan los resultados de las pruebas aplicadas, basadas en FDE como

KDE para contrastar la hipótesis nula.

1	Azuay	3,000.09	<0.001	232.20	<0.001
2	Bolívar	4,189.43	<0.001	284.20	<0.001
3	Cañar	2,003.08	<0.001	211.20	<0.001
4	Carchi	7,614.05	<0.001	211.20	<0.001
5	Cotopaxi	2,783.03	<0.001	556.00	<0.001
6	Chimborazo	2,242.28	<0.001	461.60	<0.001
7	El Oro	7,798.88	<0.001	638.90	<0.001
8	Esmeraldas	6,399.82	<0.001	639.60	<0.001
9	Guayas	9,329.20	<0.001	1,209.00	<0.001
10	Imbabura	4,992.84	<0.001	515.30	<0.001
11	Loja	1,788.06	<0.001	253.50	<0.001
12	Los Ríos	4,399.73	<0.001	518.40	<0.001
13	Manabí	7,339.15	<0.001	1,397.00	<0.001
18	Pichincha	10,219.81	<0.001	951.50	<0.001
19	Tungurahua	5,490.35	<0.001	903.00	<0.001
20	Amazonia	3,022.08	<0.001	2,143.00	<0.001

Tabla 4. Pruebas basadas en la FDE por provincias.

Provincia	Estadístico				P - valor				
	Sk	L1	L2	AC	Sk	L1	L2	AC	
1	Azuay	0.115	0.544	0.158	0.760	0.038	0.222	0.234	0.000
2	Bolívar	0.133	0.411	0.020	0.710	0.000	0.126	0.040	0.000
3	Cañar	0.087	0.344	0.038	0.770	0.086	0.410	0.570	0.000
4	Carchi	0.125	0.347	0.019	0.640	0.000	0.268	0.232	0.000
5	Cotopaxi	0.115	0.435	0.070	0.710	0.000	0.006	0.020	0.000
6	Chimborazo	0.127	0.430	0.021	0.770	0.000	0.046	0.034	0.000
7	El Oro	0.619	0.759	0.374	0.620	0.110	0.104	0.116	0.000
8	Esmeraldas	0.142	0.481	0.027	0.690	0.000	0.070	0.072	0.000
9	Guayas	0.192	0.326	0.029	0.650	0.000	0.152	0.182	0.000
10	Imbabura	0.177	0.342	0.029	0.680	0.094	0.068	0.224	0.000
11	Loja	0.105	0.240	0.012	0.810	0.002	0.676	0.624	0.000
12	Los Ríos	0.181	0.422	0.089	0.680	0.000	0.030	0.064	0.000
13	Manabí	0.190	0.477	0.065	0.650	0.000	0.128	0.038	0.000
17	Pichincha	0.165	0.733	0.050	0.600	0.000	0.128	0.296	0.000
18	Tungurahua	0.113	0.353	0.014	0.700	0.000	0.368	0.294	0.000
30	Amazonia	0.132	0.311	0.021	0.750	0.000	0.002	0.016	0.000

Tabla 5. Pruebas basadas en la KDE por provincias.

De acuerdo a los resultados obtenidos, las pruebas basadas en FDE en todos los casos rechazan la hipótesis nula de la homogeneidad de las distribuciones, por su parte las pruebas basadas en

la KDE, el que tuvo una tasa de rechazo de la hipótesis nula fue el estadístico AC, y el estadístico Sk, por su parte la norma L1, la L2, también rechazan la hipótesis nula las provincias cuya distribución varía en su forma, como son Chimborazo y Cotopaxi. Como se vio en el análisis gráfico muchas de las distribuciones mantienen la forma, pero presentan desplazamientos.

Análisis de la Homogeneidad de las Distribuciones del Ingreso en el Período 2006-2016 por Actividad Económica

Se contrastó las siguientes hipótesis:

H_0 = No existen cambios en la distribución de los ingresos de la rama de actividad i entre los años 2006 a 2016

H_1 = Existen cambios en la distribución de los ingresos de la rama de actividad i entre los años 2006 a 2016

Donde i representa cada una de las ramas de actividad analizadas siendo: Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca (1), Industrias manufactureras (2), Construcción (3), Comercio, reparación de vehículos (4), Actividades de alojamiento y servicio de comida (5), Administración pública, defensa y seguridad social (6), Enseñanza (7). Partiendo del análisis gráfico de la curva de densidad de núcleo. En cuanto a la distribución de la rama de Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca, en general no ha cambiado su forma, alcanza el pico más alto en 2008 (menor desigualdad) y en 2016 es el año con menor concentración de densidad alrededor de la media (aumento de la desigualdad), se visualizan dos modas. Apenas el 20% de la población ocupada en esta rama tiene empleo adecuado/pleno y el 36% se encuentra en otro empleo no pleno. Además, de acuerdo a la información reportada en la Enemdu de diciembre 2016 el 78.5% de la población ocupada en la Agricultura se encuentra en el área rural.

La dependencia de un sector agrícola poco productivo de parte de algunos territorios pobres y la polarización industrial en pocos cantones ricos (Quito, Guayaquil y Cuenca), estaría contribuyendo a sostener la divergencia a nivel territorial (32). Por otra parte, de acuerdo al Reporte de pobreza por consumo (2016), publicado por el INEC se concluye que la Agricultura sigue perdiendo participación en el valor agregado y en la

ocupación y por ser una rama de baja productividad laboral, la disminución de empleo de este sector contribuye al aumento de la productividad laboral total (33).

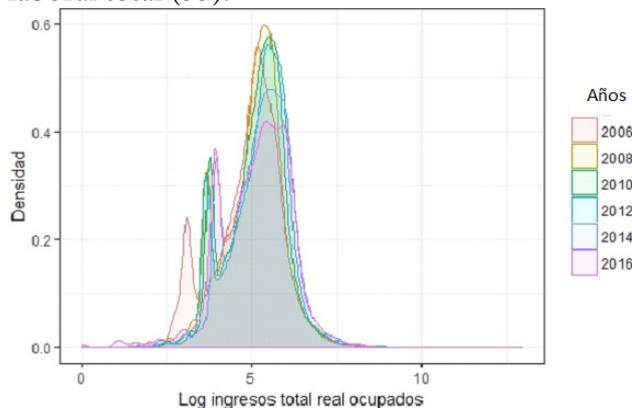


Figura 6. Función de densidad de los ingresos totales personales reales período 2006-2016, Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca.

La industria de la Manufactura también mantiene una forma constante a lo largo de los once años con ligeros desplazamientos a la derecha, pero en general se mantiene estable. Para 2016 el 50.39% de los ocupados en la Manufactura tienen un empleo adecuado y el 62.35% se encuentra en el sector formal (34). Por otra parte, de acuerdo al Reporte de pobreza por consumo (27) del INEC, la manufactura, no ha sido de las actividades más relevantes para el país, más bien ha disminuido su importancia en el valor agregado bruto y no se ha alterado su contribución a la ocupación. Sin embargo, su contribución neta al crecimiento del PIB per cápita fue positiva debido fundamentalmente al crecimiento de la productividad dentro del sector.

La rama de la construcción es altamente concentrada alrededor de la media que no ha tenido mayores desplazamientos, ligeramente se aprecia una dispersión de la media de la distribución hacia la derecha en el año 2016. En esta rama de actividad mientras el 51% de personas ocupadas tiene una condición de empleo adecuado, el 57.7% se encuentra en el sector informal⁶. El INEC en su Reporte de pobreza por consumo (27) determina que la construcción fue el sector más dinámico en términos de su contribución neta al crecimiento del PIB per cápita, debido principalmente a un aumento de la productividad. Así también Larrea (34), concluye que el producto por habitante de la construcción muestra un comportamiento inestable con un perfil fuertemente pro-cíclico. En las fases de disponibilidad de divisas, la construcción crece tanto por

la expansión de la inversión pública como por el aumento de la demanda doméstica, y disminuye fuertemente en períodos de crisis.

Al igual que las demás ramas de actividad el Comercio se ha desplazado a la derecha, para 2016 presenta un aplastamiento y se visualiza la formación de dos agrupaciones tanto hacia menores ingresos como hacia mayores ingresos, siendo esta última con mayor densidad, lo que sugiere concentración hacia los ingresos más altos. Para 2016 aportó el 10.4% del VAB, ubicándose en tercer lugar de importancia. La mayor parte de población ocupada en esta actividad se encuentra en el área urbana para 2016 representó cerca del 85%, solo el 37.9% se encuentra la ocupación plena (34). El Comercio es una de las actividades de menor productividad por debajo de la media Nacional (20).

En las actividades de alojamiento también se puede apreciar un desplazamiento a la derecha con un aplastamiento en 2016. Como porcentaje del VAB a 2016 representa el 2.3%. El 83% de los ocupados en esta rama de actividad se encuentran en el área urbana, el 87% se encuentra en el empleo inadecuado, los ocupados en esta rama se encuentran distribuidos en proporciones similares entre el sector formal (46%) e informal (48%) (29). Desde 2001 la actividad turística es importante para el país, mediante Decreto Ejecutivo publicado en el Registro Oficial 309 de este año, se establece como Política Prioritaria de Estado el desarrollo del turismo en el país. El turismo en el Ecuador representa el tercer ingreso no petrolero para la economía.

En el proyecto del Ministerio de Turismo, Ecuador Potencia Turística se identifica como una de las deficiencias que tiene esta actividad, la falta de planificación estratégica en el área de marketing, tanto a nivel nacional como internacional (35). Los servicios de Alojamiento se encuentran dentro de los sectores de baja productividad (20). Por su parte, en el Boletín de Indicadores Turísticos del Ecuador de enero de 2017, se tiene que entre enero y diciembre de 2016 se tuvo un total de 1,412 millones de visitantes extranjeros, con un decrecimiento de 8.5% respecto a 2015. También para el cuarto trimestre de 2016 se tuvo un total de 484,884 empleados en el sector lo que representa un crecimiento de 11.7% respecto a 2015. Finalmente, el saldo de la balanza turística

⁶Son aquellos que trabajan en unidades menores a 100 trabajadores que no tienen RUC. (INEC, 2018b).

para el tercer trimestre de 2016 fue de 292 millones de dólares con un decrecimiento de 31.7% respecto también a 2015 (36).

La rama de administración pública y defensa es la que tiene mayor concentración de la densidad en niveles de ingresos superiores al resto de ramas. Es una curva bastante simétrica lo que indica menor desigualdad al interior del grupo. Esto se puede explicar debido a que la mayoría de servidores públicos se rigen mediante la Ley Orgánica del Servicio Público, LOSEP, que norma sobre la escala de remuneraciones mensuales unificadas. En el Acuerdo Ministerial Nro. MDT-2017-0154 del 22 de septiembre de 2017 se establece un mínimo de USD 527 para el Servidor Público de Servicios 1 y un máximo de USD 4,500 para el Servidor Público 16, Grado 22. Es de las actividades que más registra ingresos altos a diciembre de 2016 el promedio de ingresos estuvo alrededor de los USD 1,123 el doble del promedio nacional.

Por otro lado, se evidencia un punto de quiebre en el número de instituciones públicas de 21.2% entre 2006 y 2007 (37). Los autores también indican que el gasto público (gasto corriente) entre 2007 y 2013 se ha incrementado en 194.9%. El componente con mayor peso en el gasto público corriente son los Sueldos, que se han incrementado en 140,9% en el período en mención. Sin embargo, los autores a partir de su análisis no pueden demostrar si el aumento se debe a un incremento de burocracia (número de empleados) o de incrementos en sueldos y salarios, o su proporción.

La actividad de la enseñanza es la que más cambios en la forma ha tenido, en 2006 esa una curva más simétrica mantiene el pico de la densidad alrededor de 0.7 hasta 2010, para 2014 y 2016 hay un desplazamiento a la derecha (incremento de los ingresos) y para 2016 es una curva con mayor concentración alrededor de la media (mayor igualdad), pero con una bimodalidad evidente. El promedio de ingresos de esta rama de actividad también está sobre el promedio nacional (USD 762 para 2016). La bimodalidad se puede explicar por cuanto es una rama de actividad heterogénea, si se analiza desde el punto de vista de la enseñanza para la educación inicial, general básica y bachillerato y para la educación superior.

A partir de la vigencia de la Constitución de 2008, aprobada mediante referendo, la Educación en el país ha tenido cambios, algunos de los cuales están relacionados o atados a temas normativos derivados de la aprobación tanto de la Ley Orgánica de Educación Superior, LOES en 2010⁷ como de la Ley Orgánica de Educación Intercultural Bilingüe, LOEI en 2011⁸. Dado que se está analizando los cambios en la distribución de los ingresos solo se hará mención a los aspectos relacionados con las escalas de remuneración de los docentes y sus cambios en el período analizado.

El escalafón docente para los profesores de educación inicial, básica general y bachillerato está normado en el Reglamento General a la LOEI vigente desde 2012 y sus posteriores reformas. En el Art. 301 de las Categorías del Escalafón docente se indica que está estructurado por 7 categorías con denominación alfabética desde la G hasta la A y tienen equiparación en relación a las escalas de la Ley Orgánica de Servicio Público. La categoría G es equivalente a Servidor Público 1 (USD 817) y la categoría A, a Servidor Público 7 (USD 1,676). Las remuneraciones de los docentes antes de la re-categorización que se realizó luego de la expedición de la Ley y sus reglamentos eran menores, por ejemplo, un docente de hasta 14 años de experiencia podía ganar hasta USD 466,58, luego de 2012 hasta USD 817. Un docente de hasta 45 años de experiencia ganaba hasta USD 1,013.15, luego hasta USD 1,676, sin embargo, también se indica que el salario por hora disminuyó al cambiar de la jornada pedagógica a la jornada de 40 horas semanales.

Por otro lado, el escalafón y escala remunerativa del personal académico de las Universidades y Escuelas Politécnicas esta normado por el Reglamento General a la LOES vigente desde octubre de 2012. En el Artículo 46.- Escalafón y escala remunerativa se expresan las categorías, niveles y grados escalafonarios. Por ejemplo, al personal académico titular principal /principal investigador a tiempo completo le corresponde en la escala de remuneraciones del sector público un Grado 19 (USD 2,670). De acuerdo a una publicación del Telégrafo antes un profesor principal ganaba USD 1,281 y después del reglamento USD 2,967, un auxiliar antes \$481 y después USD 1,676 (38).

⁷Mediante Registro Oficial Suplemento 298 del 12 de octubre de 2010.

⁸Mediante Registro Oficial No.417 del 31 de marzo de 2011.

⁹Decreto Ejecutivo 1241, publicado en el Suplemento del Registro Oficial No. 754 de 26 de julio de 2012.

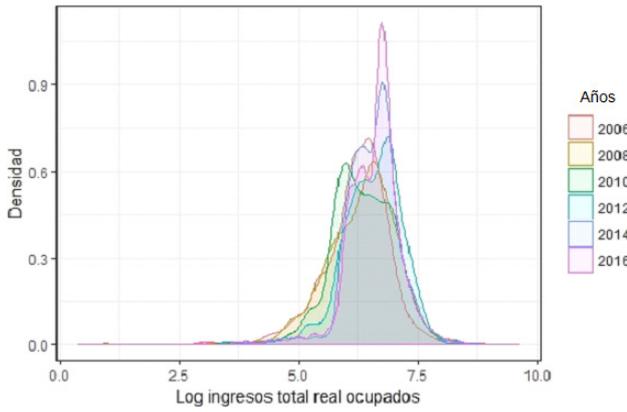


Figura 7. Función de densidad de los ingresos totales personales reales período 2006-2016, Enseñanza.

A continuación, en la Tabla 6 y Tabla 7 se presentan los resultados de las pruebas para k muestras aplicadas.

Actividad económica	KS	p - valor	AD	p valor
Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca	18,409.90	<0.001	606.40	<0.001
Industrias manufactureras	5,902.12	<0.001	741.00	<0.001
Construcción	8,129.87	<0.001	938.30	<0.001
Comercio, reparación de vehículos	5,231.76	<0.001	491.60	<0.001
Actividades de alojamiento y servicio de comida	2,244.58	<0.001	220.10	<0.001
Administración pública, defensa y seguridad social	3,219.87	<0.001	276.80	<0.001
Enseñanza	3,959.83	<0.001	530.50	<0.001

Tabla 6. Pruebas basadas en la FDE por rama de actividad económica.

Ramas de actividad económica	Estadísticos				p - valor			
	S	L1	L2	AC	S	L1	L2	AC
Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca	0.19	0.29	0.03	0.71	0.14	0.01	1	<0.001
Industrias manufactureras	0.24	0.88	0.73	0.68	0.97	0.13	0.28	<0.001
Construcción	2.14	7.85	71.4	0.60	0.49	0.01	0	<0.001
Comercio, reparación de vehículos	0.12	0.21	0.01	0.77	0.7	0.21	1	<0.001
Actividades de alojamiento y servicio de comida	0.24	1.64	3.25	0.72	0.96	0.1	0	<0.001
Administración pública, defensa y seguridad social	0.22	2.87	2.28	0.70	0.99	0.64	0.79	<0.001
Enseñanza	0.47	3.46	0.93	0.66	0.97	0.42	0.92	<0.001

Tabla 7. Pruebas basadas en la KDE por rama de actividad económica

A. CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN EN R DE LAS FUNCIONES PARA LA ESTIMACIÓN DE LOS ESTADÍSTICOS BASADOS EN KDE Y FDE.

```

• Función para construir la densidad
# x: muestra de tamaño n1
# tipo.rango=c("kde","x")
epdf <- function(x, tipo.rango, ...) {
  bol <- is.na(x)
  if(any(bol))
  {
    x <- x[!bol]
  }
  kde <- density(x,...)

```

```

f<-splinefun(kde$x, kde$y)
res <- switch(tipo.rango,
  "kde" = list(f = f, n = length(x), min = min(kde$x),
    max = max(kde$x)),
  "x" = list(f = f, n = length(x), min = min(x), max = max(x)))
return(res)
}
# x: una muestra de tamaño n1
# y: una muestra de tamaño n2
distanciaL1<-function(x, y, ...)
{
  # Obtenemos el rango común a evaluar
  m<-min(min(x),min(y))
  M<-max(max(x),max(y))
  pdf_i<-epdf(x,tipo.rango="x")
  pdf_n<-epdf(y,tipo.rango="x")
  soporte <- seq(m, M, length.out = 10000)
  # obtenemos la distancia
  d <- abs(pdf_i$soporte - pdf_n$soporte)
  # construimos la función distancia
  f <- splinefun(soporte, d)
  res <- list(f = f)
  return(res)
}
distanciaL2<-function(x, y, ...)
{
  # Obtenemos el rango común a evaluar
  m<-min(min(x),min(y))
  M<-max(max(x),max(y))
  pdf_i<-epdf(x,tipo.rango="x")
  pdf_n<-epdf(y,tipo.rango="x")
  soporte <- seq(m, M, length.out = 10000)
  # obtenemos la distancia
  d <- (pdf_i$soporte - pdf_n$soporte)^2
  # Construimos la función de distancia
  f <- splinefun(soporte, d)
  res <- list(f = f)
  return(res)
}
distanciaS<-function(x, y, ...)
{
  # Obtenemos el rango común a evaluar
  m<-min(min(x),min(y))
  M<-max(max(x),max(y))
  pdf_i<-epdf(x,tipo.rango="x")
  pdf_n<-epdf(y,tipo.rango="x")
  soporte <- seq(m, M, length.out = 10000)
  # obtenemos la distancia
  d <- max(abs(pdf_i$soporte - pdf_n$soporte))
  # construimos la función distancia
  f <- d
  res <- list(f = f)
  return(res)
}
distancia <- function(x,y,type){
  res <- switch(type,
    "L1"={distanciaL1(x,y)},
    "L2"={distanciaL2(x,y)},
    "S"={distanciaS(x,y)}
  )
  return(res)
}
# x: función a integral definida entre m y M
# m: límite inferior de la integral
# M: límite superior de la integral
## Aproximación de la integral por una suma
int.sum <- function(x, m, M, ...){
  soporte <- seq(m, M, length.out = 10000)
  delta <- soporte[2] - soporte[1]
  Isum <- delta * sum(x(soporte))
  res <- list(value = max(Isum))
  return(res)
}
# sub.m: una lista de muestras a calcular los p. valores
# total.m: muestra completa
estadistico<-function(sub.m,total.m,type="L1"){
  # str(lapply(sub.m, is.na))
  for ( i in 1:length(sub.m))
  {
    bol <- is.na(sub.m[[i]])
    if(any(bol))
    {
      sub.m[[i]] <- sub.m[[i]][!bol]
    }
  }
  bol <- is.na(total.m)

```

```

if(any(bol))
{
  total.m <- total.m[!bol]
}
dist<-sapply(sub.m,distancia,total.m,type)
int.f<- if (type!="S") sapply(dist,int.sum,min.rango,max.rango)
n.v<-sapply(sub.m,length)
n <- sum(n.v)
est<-ifelse(type=="S",sum(mapply(" ",unlist(dist),n.v))/n,
  sum(mapply(" ",unlist(int.f),n.v))/n)
res<-list(estadistico=est,n.muestra=n.v,n)
return(res)
}
# xdatos: muestra agrupada
# n.v: vector de tamaños muestrales
# B: número de replicas
dist.est<-function(xdatos,n.v,B,type="L1"){
  k<-length(n.v)
  n<-length(xdatos)
  h<-n^(1/5)
  datos.boot<-list()
  estadistico.boot<-vector()
  set.seed(1234)
  for (b in 1:B) {
    x.boot<-sample(xdatos,replace=T)+h*rmnorm(n)
    for (i in 1:k){
      datos.boot[[i]]<-sample(x.boot,n.v[i])
    }
    estadistico.boot[b]<-estadistico(datos.boot,x.boot,type=type)$estadistico
  }
  res<-unlist(estadistico.boot)
  return(res)
}

```

• FUNCIONES PARA LA ESTIMACIÓN DEL ESTADÍSTICO DE KOLMOGOROV – SMIRNOV

```

### Permuta k muestras.
#Input: data list Y, muestras x1, x2 ... xn
#Output: list de muestras de datos permutadas
permutek <- function(Y, ...){
  k <- length(Y)
  N <- lapply(Y, length)
  Y <- unlist(Y)
  X <- sample(Y, replace = FALSE)
  res <- list()
  Nt <- 0
  for(i in 1:k){
    Nt <- Nt+N[[i]]
    res[[i]] <- X[(Nt-N[[i]]+1):Nt]
  }
  class(res) <- "permutek3"
  return(res)
}

```

Calcula la distancia de Kolmogorov-Smirnov entre k FDE (ECDF).

```

#Input: data muestras x1, x2 ... xn
#Output: la x distancia KS
testks <- function(Y){
  ## Distribución conjunta
  k <- length(Y)
  N <- lapply(Y, length)
  X <- unlist(Y)
  ## Encuentra la función acumulada
  tt <- seq(min(X), max(X), by = 0.01)
  FX <- ecdf(X)
  d <- vector()
  for(i in 1:k){
    Fx <- ecdf(Y[[i]])
    d <- c(d,sum(N[[i]]*(Fx(tt) - FX(tt))^2))
  }
  ## statistics
  D <- max(d)
  ##return results
  res <- list(D = D)
  class(res) <- "testks"
  return(res)
}
#perm<-1000
# Y=x
## Calcula el p-valor luego del "perm" permutaciones
## Input: data muestras x1, x2, xn y el número de permutaciones.
## Output: list of p-values. KS,
Pvalue <- function(Y, perm){
  areaKS <- numeric(perm)
  antalKS <- numeric(0)
  Dobs <- testks(Y)$D
  for (i in 1:perm){
    X <- permutek(Y)

```

```

  areaKS[i] <- testks(X)$D
  }
  antalKS <- sum(areaKS >= Dobs)
  pKS <- (antalKS)/(perm)
  res <- list(pKS = pKS, dist = areaKS, D = Dobs)
  class(res) <- "Pvalue"
  return(res)
}

```

• FUNCIONES PARA LA ESTIMACIÓN DEL ESTADÍSTICO AC

```

## Calcula el estadístico AC entre k KDE
##Input: data muestras x1, x2 ... xn
##Output: estadístico AC
testAC <- function(Y, ip.method = c("linear", "spline"),
  spline.type = c("natural", "fmm", "periodic", "monoH.FC"),
  grid.size = 10000, subdivisions = 500,
  tol = .Machine$double.eps^0.5, ...) {
  if (lis.list(x))
    stop("x must be an object of class ", sQuote("list"))
  ip.method <- match.arg(ip.method)
  spline.type <- match.arg(spline.type)
  ## Interpolation
  interpolate <- switch(ip.method,
    "linear" = function(x, y) {
      f <- approxfun(x, y, yleft = 0, yright = 0)
      return(f)
    },
    "spline" = function(x, y) {
      f <- splinefun(x, y, method = spline.type)
      return(f)
    }
  )
  ## Estimación de la función de densidad de probabilidad
  epdf <- function(x, range.type = c("kde", "x", ...) {
    range.type <- match.arg(range.type)
    ## Función de densidad
    kde <- density(x, ...)
    f <- interpolate(kde$x, kde$y)
    res <- switch(range.type,
      "kde" = list(f = f, n = length(x), min = min(kde$x),
        max = max(kde$x)),
      "x" = list(f = f, n = length(x), min = min(x), max = max(x)))
    return(res)
  }
  ## Función de distancia
  distance <- function(x, ...) {
    pdf_i <- lapply(x, epdf)
    xMin <- min(sapply(pdf_i, function(x) x$min))
    xMax <- max(sapply(pdf_i, function(x) x$max))
    support <- seq(xMin, xMax, length.out = grid.size)
    d <- apply(sapply(pdf_i, function(pdf_i) pdf_i$sf(support)), 1, min)
    f <- interpolate(support, d)
    supportRange <- range(support)
    res <- list(f = f, min = supportRange[1], max = supportRange[2])
    return(res)
  }
  ## Integración
  intbysum <- function(x, m, M, ...){
    #Isum <- numeric(0)
    support <- seq(m, M, length.out = grid.size) #0.0001
    delta <- support[2]- support[1]
    Isum <- delta * sum(x(support))
    ## Return results
    res <- list(value = max(Isum))
    #class(res) <- "intbysum"
    return(res)
  }
  ## Cálculo de las distancias entre distribuciones
  d <- distance(x)
  ## integrate(d$f, d$min, d$max, subdivisions = subdivisions)$value
  #integrate(d$f, -Inf, Inf, subdivisions = subdivisions)$value
  D <- intbysum(d$f, d$min, d$max)$value
  return(res = list(D = D))
}

```

Permuta k muestras.

```

#Input: data list Y, muestras x1, x2 and xn
#Output: list of muestras de datos permutados
#Y=x
permutek <- function(Y, ...){
  k <- length(Y)
  N <- lapply(Y, length)
  Y <- unlist(Y)
  X <- sample(Y, replace = FALSE)
  res <- list()
  Nt <- 0
  for(i in 1:k){
    Nt <- Nt+N[[i]]

```

```

    res[[i]] <- X[((Nt-N[[i]]+1):Nt]
  }
  class(res) <- "permutek3"
  return(res)
}
##Calcula el p - valor
PvalueAC <- function(Y, perm=1000){
  areaAC <- numeric(perm)
  antalAC <- numeric(0)
  Dobs <- testAC(Y)$D
  for (i in 1:perm){
    x <- permutek(Y)
    areaAC[i] <- testAC(x)$D
  }
  antalAC <- sum(areaAC <= Dobs)
  pAC <- (antalAC)/(perm)
  res <- list(pAC = pAC, dist = areaAC, D = Dobs)
  class(res) <- "Pvalue"
  return(res)
}

```

IV. CONCLUSIONES

Las hipótesis planteadas sobre verificar si existen diferencias en la distribución del ingreso a nivel de provincias y actividades económicas en el período 2006-2016., con base en los resultados, se puede indicar que estas se han cumplido.

De acuerdo a la aplicación de pruebas para verificar la hipótesis de normalidad de la distribución de ingresos personales tanto por provincia como actividad económica, se obtuvo como resultado que se rechaza a hipótesis nula, en todos los casos el p valor es menor a 0.05, por tanto, la distribución de ingresos es diferente de la Normal.

La aplicación de métodos no paramétricos para el análisis de distribuciones que se alejan de los supuestos de la normal, es adecuada para el caso de la distribución de los ingresos personales ya que sus formas presentan asimetrías y en algunos casos más de una moda.

La experiencia de aplicación de pruebas de bondad de ajuste basadas en la Función de Distribución Empírica que tradicionalmente se han utilizado así como la aplicación de pruebas basadas en la función de densidad KDE, como método alternativo y de desarrollo más reciente, han permitido verificar los hallazgos encontrados por Martínez y Baranzano (14), en cuanto a que las pruebas basados en KDE tienen más potencia cuando se trata de distribuciones que difieren en su forma en tanto que los basados en FDE funcionan mejor cuando las distribuciones difieren en su localización. En el caso de Ecuador los cambios en el tiempo de la distribución del ingreso corresponden a esta última característica. En este sentido se ha podido concluir que las pruebas basadas en FDE funcionan mejor para

el caso de la distribución del ingreso del país. Y la prueba basada en KDE que mejor desempeño tuvo fue el estadístico AC y en menor medida la norma L1 lo que también se corrobora con la evidencia empírica.

En cuanto a la distribución de los ingresos se ha podido verificar tanto a partir del análisis gráfico como de los resultados de las pruebas implementadas que efectivamente durante el período 2006 - 2016 ha habido cambios en la distribución del ingreso, que si bien han tenido un desplazamiento sostenido hacia la derecha, en los dos últimos años se evidencia un cambio en la concentración de la densidad de niveles superiores a niveles inferiores, en los que mayoritariamente hay un aplastamiento de la curva lo que implica aumento de la desigualdad y consecuentemente un aumento en los niveles de pobreza. A partir de este análisis se ha podido confirmar que en el país persiste la desigualdad en el desarrollo territorial, las provincias que tradicionalmente presentan mayores niveles de pobreza y desigualdad, en los indicadores puntuales, son las mismas que tienen curvas de distribución más asimétricas y con concentraciones de población en los ingresos más bajos, siendo el caso de Chimborazo, el que más llama la atención por su marcado deterioro en la distribución del ingreso. En tanto que las provincias de Pichincha, Guayas y Azuay son las que presentan mejores niveles de ingresos y distribuciones menos concentradas. Por lo tanto, están en mejores condiciones que el resto del país en términos de la distribución del Ingreso. En cuanto a las ramas de actividad económica del análisis se desprende que, si bien se ha probado que hay cambios en la distribución en cuanto a su forma, esta se mantiene estable, igualmente se observaron cambios en la localización y la magnitud. El caso de la actividad de enseñanza es la que ha tenido el cambio más notorio, en parte se ha explicado que estos cambios están influenciados por la aplicación del escalafón docente que consta en los reglamentos de la LOEI y LOES. Por tanto, los patrones de especialización no han cambiado, al igual que los niveles de ingresos que siguen siendo bajos en el sector primario, han mejorado en el sector de la construcción que como se indicó es un sector pro-cíclico y se mantienen en el rango más alto la enseñanza y las actividades de administración pública.

Referencias

- 1 Dagum C. A New Model of Personal Income-Distribution-Specification and Estimation. *Economie Appliquée*. 1997; 30(1): 413-437.
- 2 Singh S, Maddala G. A Function for Size Distribution of Incomes. *Econometrica*. 1976; 44(5): 963-970.
- 3 Pittau M, Zelli R. Trends in income distribution in Italy: A non parametric and semi-parametric analysis. *Journal of Income distribution*. 2006; 15(1): 90-118.
- 4 Flores A. Distribución del ingreso en México 1984-2006: Repercusión en las clases sociales [Tesis de Post-grado]. México: Universidad Autónoma de Nuevo León; 2009. Recuperado a partir de: <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/1919>
- 5 Kiefer J. K-sample analogues of the Kolmogorov-Smirnov and Cramer-V. Mises Tests. *The Annals of Mathematical Statistics*. 1959; 2(1): 420-447.
- 6 Cambolor M, Carlos P, Corral N. Sobre el estadístico de Cramér-von Mises. *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones*. 2012; (1)1: 89-101.
- 7 Gasparini L, Cicowiez M, Escudero S. Pobreza y Desigualdad en América Latina. Conceptos, herramientas y aplicaciones. 1era Edición. La Plata: CEDLAS-Universidad Nacional de La Plata; 2013.
- 8 Cowell F. Measurement of Inequality. *Handbook of income distribution*. 1st Edition. London: London School of Economics and Political Science; 2000.
- 9 Fix E, Hodges J. Discriminatory Analysis, Nonparametric Discrimination: Consistency Properties. 1era Edición. Texas: USAF School of Aviation Randolph Field; 1951.
- 10 Rosenblatt M. Remarks on some nonparametric estimates of a density function. *Annals of Mathematical Statistics*. 1956; 27(3): 832-837.
- 11 Burkhauser P, Cutts C, Daly A, Jenkins S. Testing the significance of income distribution changes over the 1980 business cycle: a cross-national comparison. *Journal of Applied Econometrics*. 1999; 14(3): 253-272.
- 12 Liu Y, Zou W. Rural-urban Migration and Dynamics of Income Distribution in China: A Non-parametric Approach. *China & World Economy* [Internet]. 2011 [10 Jul 2017]; 19(6): 37-55. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1749-124X.2011.01265.x>
- 13 Nonovsky N, Tochkov K. Transition, Integration and Catching Up: Income Convergence between Central and Eastern Europe and the European Union. *Mondes en développement* [Internet]. 2014 [10 Jul 2017]; 3(167): 73- 92. Disponible en: doi:10.3917/med.167.0073.
- 14 Baranzano R. Non-parametric kernel density estimation-based permutation test: Implementation and comparisons. 1era. Edición. Suecia: Department of Mathematics Uppsala University; 2011.
- 15 Zhu F. A nonparametric analysis of the shape dynamics of the US personal income distribution: 1962-2000. *BIS Working Papers*. 1st Edition. Suiza: Monetary and Economic Department of the Bank for International Settlements; 2005.
- 16 Wand MP, Marron JS, Ruppert D. Transformations in density estimation. *Journal of the American Statistical Association*. 1991;1(86):343-361.
- 17 Scholz F, Zhu A. kSamples: K-Sample Rank Tests and their Combinations. R package version 1.2-9. [Internet]. CRAN R: CRAN R; 2019 [Consultado 03 Jul 2019]. Disponible en: <https://CRAN.R-project.org/package=kSamples>.
- 18 Comisión Económica para América Latina y el Caribe-CEPAL. Panorama Social de América Latina 2017. 1era. Edición. Santiago: (LC/PUB.2018/1-P); 2018.
- 19 SICES [Internet]. Sistema Integrado de Conocimiento y Estadística Social del Ecuador. SICES 2018 [03 Agosto 2018]. Disponible en: <http://www.conocimientosocial.gob.ec>.
- 20 León M. Diagnóstico y perspectiva de la economía ecuatoriana en 2016. 1era. Edición. Quito: Friedrich-Ebert-Stiftung (FES). Instituto Latinoamericano de Investigaciones Sociales (ILDIS); 2016.
- 21 Gross J, Ligges U. nortest: Tests for normality. R package version 1.0-4. [Internet]. CRAN R: CRAN R; 2015 [Consultado 03 Jul 2018] Disponible en: <https://CRAN.R-project.org/package=nortest>.
- 22 Gavrilov I, Pusev R. normtest: Tests for normality. R package version 1.1. [Internet]. CRAN R: CRAN R; 2014 [Consultado 03 Ago 2014] Disponible en: <https://CRAN.R-project.org/package=normtest>.

- 23 Contreras D. Pobreza y Desigualdad en Chile: 1987-1992. 1era Edición. Chile: Estudios Públicos; 1996.
- 24 Sarmiento M. Evolución de la desigualdad de ingresos en Ecuador, período 2007-2015. Revista de análisis estadístico Analítika. 2017;13(1): 49-79.
- 25 Gachet I, Grijalva D, Ponce P, Rodríguez D. Vertical and Horizontal Inequality in Ecuador: The Lack of Sustainability. Social Indicators Research. [Internet] 2019 [12 Agosto 2017]. 1(145): 861-900. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11205-017-1810-2>.
- 26 Comisión Económica para América Latina y el Caribe-CEPAL. Panorama Social de América Latina 2017. Comisión Económica para América Latina y el Caribe: Santiago: (LC/PUB.2018/1-P); 2018.
- 27 Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Reporte de pobreza por consumo Ecuador 2006 - 2014. INEC. Quito: Estudios Temáticos; 2016.
- 28 Alvarado R. Measuring the competitiveness of the provinces of Ecuador. Universidad Católica del Norte. MPRA Paper. [Internet] 2011 [12 Agosto 2017]. 1(34244): 1-19. Disponible en: <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/id/eprint/34244>.
- 29 Mena A. Desigualdad salarial en las provincias del Ecuador [Tesis de maestría]. Quito: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales sede Ecuador; 2013 Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10469/7427>.
- 30 Ayala N. Capital humano e ingreso laboral en Ecuador: un enfoque regional utilizando variables instrumentales. Revista Económica Universidad de la Rioja [Internet] 2016 [12 Agosto 2017]. 1(1): 1-11. Disponible en: <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/economica/article/view/191>
- 31 Proaño M. Descomposición regional de la desigualdad en Ecuador [Tesis de maestría]. Quito: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales sede Ecuador; 2012. Recuperado de: <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/xmlui/handle/10469/8880>
- 32 Mendieta-Muñoz R. La hipótesis de la convergencia condicional en Ecuador. Un análisis a nivel cantonal. Revista Retos [Internet] 2015 [12 Agosto 2017]. 5(9): 13-25. Disponible en: <https://doi.org/10.17163/ret.n9.2015.01>
- 33 Instituto Nacional de Estadísticas y Censos-INEC. Ecuador en cifras Encuesta Nacional de Empleo, Subempleo y Desempleo. ENEMDU [Internet]. Ecuador en cifras: INEC; 2016 [12 de Ene 2017]. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/enemdu-2016>.
- 34 Larrea C. Petróleo, pobreza y empleo en el Ecuador: de la bonanza a la crisis. En R. D. Hans-Jürgen Burchardt, Nada dura para siempre. Neo-extractivismo tras el boom de las materias primas. 1era Edición. Quito: Abya-Yala; 2016.
- 35 Altamirano B, Gutiérrez M, Gonzáles K. Comunicación Turística 2.0 en Ecuador. Análisis de las empresas públicas y privadas. Revista Latina de Comunicación Social. 2018; 1(73): 633 - 647.
- 36 Ministerio de Turismo. Indicadores Turísticos: Información relevante del Turismo en Ecuador; Ministerio de Turismo [Internet]. Turismo en cifras: Ministerio de Turismo; 2017 [31 Enero 2017] Disponible en: https://servicios.turismo.gob.ec/descargas/Turismocifras/Publicaciones/Boletines-MensualesTurismo/2017/01-INDICADORES_TURISTICOS-ENERO-2017.pdf.
- 37 Alba J, Umpierrez S. Evolución del sector público ecuatoriano desde 1998 a 2013. Revista Enfoques. 2014; (12)21:131-148.
- 38 Un docente universitario gana ahora \$ 2.967 (Infografía). El Telégrafo [Internet]. 2015 [citado 15 octubre 2016]; <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/4/un-docente-universitario-gana-ahora-2-967-infografia>. Disponible en: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/4/un-docente-universitario-gana-ahora-2-967-infografia>.

EFFECTIVIDAD DE LOS LECHOS FILTRANTES EN LA REDUCCIÓN DE SULFATOS Y CARBONATO DE CALCIO EN EL AGUA DE CONSUMO HUMANO.

Effectiveness of filter beds in the reduction of sulphates and calcium carbonate in water for human consumption.

^{1,3}Marco Pino-Vallejo* , ¹Franklin Vásconez Basantes , ¹Martha Pazmiño Montero , ²Patricia Andrade Orozco .

¹Universidad de las Fuerzas Armadas, Departamento Ciencias de la Tierra y de la Construcción, Sangolquí, Ecuador.

²Universidad Nacional de Chimborazo, Ingeniería Ambiental, Riobamba, Ecuador.

³Instituto Superior Tecnológico República Federal de Alemania, Desarrollo Ambiental, Riobamba, Ecuador.

*marcopinovallejo@hotmail.com

Resumen

Los habitantes del poblado de Salache, Cotopaxi-Ecuador, consumen agua de fuentes subterráneas. Con la finalidad de conocer la calidad del agua se realizó pruebas de laboratorio determinándose que el agua contiene 450 mg L⁻¹ de sulfatos, así como 520 y 583 mg CaCO₃ L⁻¹ de alcalinidad y dureza respectivamente. La norma ecuatoriana indica que los sulfatos deben encontrarse en 200 mg L⁻¹, y que la alcalinidad al igual que la dureza no deben sobrepasar los 500 mg CaCO₃ L⁻¹. Mediante pruebas experimentales de filtración descendente se comprobó la efectividad individual de los materiales filtrantes arena, zeolita y resina catiónica de ácido fuerte, en la remoción de las concentraciones de sulfatos y carbonato de calcio. La filtración en lecho de arena redujo las concentraciones de alcalinidad a 340 mg CaCO₃ L⁻¹, dureza a 225 mg CaCO₃ L⁻¹ y sulfatos a 315 mg L⁻¹. El lecho de zeolita, redujo la alcalinidad a 280 mg CaCO₃ L⁻¹, dureza a 257 mg CaCO₃ L⁻¹ y sulfatos a 320 mg L⁻¹. La resina catiónica de ácido fuerte tuvo mayor efectividad reduciendo la alcalinidad a 198 mg CaCO₃ L⁻¹, la dureza a 180 mg CaCO₃ L⁻¹ y sulfatos a 120 mg L⁻¹.

Palabras claves: Filtro descendente, Captación, Intercambio iónico, Adsorción.

Abstract

The inhabitants of the town of Salache, Cotopaxi-Ecuador consume water from underground sources. In order to know the quality of the water, laboratory tests were carried out, determining that the water contains 450 mg L⁻¹ of sulfates, as well as 520 and 583 mg CaCO₃ L⁻¹ of alkalinity and hardness, respectively. The Ecuadorian standard indicates that sulfates must be at 200 mg L⁻¹, and that alkalinity as well as hardness must not exceed 500 mg CaCO₃ L⁻¹. Through experimental tests of downward filtration, the individual effectiveness of the filter materials sand, zeolite and strong acid cationic resin, in removing the concentrations of sulfates and calcium carbonate, was verified. The sand filtration results allowed the removal of alkalinity concentrations to 340 mg of CaCO₃ L⁻¹, hardness to 225 mg of CaCO₃ L⁻¹ and sulfates to 315 mg L⁻¹. The zeolite bed reduced alkalinity to 280 mg of CaCO₃ L⁻¹, hardness to 257 mg of CaCO₃ L⁻¹ and sulfates to 320 mg L⁻¹. The strong acid cationic resin was more effective in reducing alkalinity to 198 mg of CaCO₃ L⁻¹, hardness to 180 mg of CaCO₃ L⁻¹ and sulfates to 120 mg L⁻¹.

Keywords: Downward filter, Capture, Ion exchange, Adsorption.

Fecha de recepción: 28-06-2021

Fecha de aceptación: 03-09-2021

Fecha de publicación: 13-10-2021

I. INTRODUCCIÓN

El agua de consumo humano deber ser abastecida a la población de manera suficiente, segura y accesible (1). La Organización Mundial de la Salud, asegura que alrededor de 1.2 billones de personas no tienen acceso al agua potable (2). Existen sitios con disponibilidad de agua pero con indicios de contaminación que puede provocar enfermedades al ser consumida (3). En varios países de América Latina y el Caribe, las enfermedades ocasionadas por el consumo de agua no potabilizada se encuentran entre las diez causas más frecuentes de mortalidad (4). Para que el agua pueda ser consumida debe ser sujeta a procesos de tratamiento para su potabilización, como la captación, canalización, floculación, decantación, filtración, cloración o desinfección, alcalinización y distribución con el fin de lograr que sus características físicas y químicas cumplan con las normativas estipuladas (5,6).

El Gobierno del Ecuador tiene como meta lograr que la población logre el acceso universal y equitativo al agua potable para el año 2030, siendo éste uno de los Objetivos de Desarrollo Sustentable de las Naciones Unidas (7). Las cifras estadísticas según la medición de indicadores de Agua, Saneamiento e Higiene (ASH) realizadas por el Instituto Nacional de Estadística indican que en el Ecuador el 67.80 % de los ecuatorianos tienen acceso al agua por medio de tubería, pozo, manantial protegido o agua embotellada (8).

En el poblado de Salache, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, el agua que se suministra a sus 3250 habitantes es obtenida de tres fuentes subterráneas ubicadas en el sector denominado San Agustín. Al igual que el agua superficial, la composición química del agua del subsuelo es muy variable, esto dependerá de la localización y de la profundidad del acuífero (9). El caudal que proveen los pozos (8.01 L s^{-1}), es conducido mediante tuberías a un tanque de almacenamiento para luego ser distribuida a la población.

La composición química del agua subterránea es el resultado de continuos procesos de interacción entre el agua de precipitación que se infiltra en el terreno y la litología por donde circula (10). Con la finalidad de conocer la calidad del agua se realizó pruebas de laboratorio determinándose que el agua contiene 450 mg L^{-1} de sulfatos, así como

520 y $583 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ de alcalinidad y dureza respectivamente. Según la norma ecuatoriana NTE INEN 1108 para agua de consumo doméstico, los sulfatos deben encontrarse en concentraciones no mayores a 200 mg L^{-1} y la alcalinidad al igual que la dureza no deben tener concentraciones mayores a $500 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ (11).

El consumo de agua con una concentración sulfato de sodio y sulfato de magnesio en el orden de más de 100 mg L^{-1} tiene en el ser humano un efecto laxante y en concentraciones superiores a los 200 mg L^{-1} favorece a la corrosión de los metales (12). El carbonato de calcio en concentraciones mayores a los $500 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ puede producir asperezas en la piel, cálculos renales, aumentar la incidencia de ataques cardíacos, anomalías del sistema nervioso y varios tipos de cáncer (13).

La investigación tiene por objetivo comprobar la efectividad de los lechos filtrantes de arena, zeolita y resina catiónica ácido fuerte en la remoción de las concentraciones de sulfatos y carbonato de calcio.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en Salache, Cotopaxi-Ecuador (0983333 E; 786167 S). Para determinar la efectividad individual de los lechos filtrantes (arena, zeolita y resina catiónica) en la remoción de las concentraciones de carbonato de calcio y sulfatos disueltos en el agua, se construyó un filtro experimental de flujo descendente. Este tipo de filtro trabaja a gravedad permitiendo que el agua atraviese el lecho filtrante pudiendo generar cavidades que se llenan y unen entre sí, formando conductos de un tamaño mayor al de los poros circundantes en los cuales se deposita el material en suspensión, pudiendo incrementar su tamaño hasta atravesar todo el lecho filtrante (14).

2.1. Conformación del filtro descendente

Para la construcción del filtro descendente, se utilizó un tubo de PVC de 200 mm de diámetro interno y 2 m de largo. En un extremo superior, se instaló el regulador de caudal y en el inferior, se incorporó el sistema de drenaje, compuesto de un obturador de PVC al que se le realizaron 22 orificios de 10 mm de diámetro y se acopló una malla plástica de 1/16" con el objetivo de retener

la capa de soporte y el material del lecho filtrante. Para recolectar el agua filtrada el equipo se colocó sobre un recipiente con capacidad de 5 L, como se ilustra en la Figura 1.

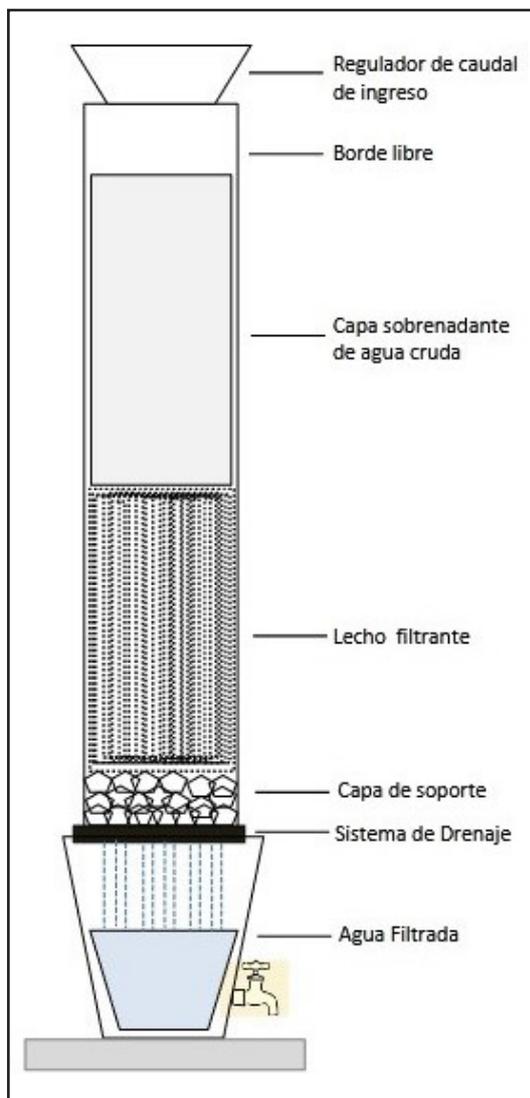


Figura 1. Estructura del filtro descendente

2.2. Configuración de los medios granulares

Los ensayos de tamizado para establecer el tamaño de partícula de los materiales: a) capa de soporte; y b) medios filtrantes, se realizaron en el Laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

a) Capa de soporte: Es una capa de material pétreo granular grueso cuya función es evitar que el material filtrante pase a través de los drenajes del filtro (15). En el filtro experimental se utilizó piedra de $\frac{3}{4}$ " con un volumen de 0.05 m^3 , con una altura de cama de 0.025 m .

b) Medios filtrantes: Son materiales granulares con dimensiones moleculares que les permite captar los sólidos presentes en el agua por procesos de absorción o intercambio iónico. Para que sea eficaz la filtración, se requiere que los sólidos puedan penetrar profundamente dentro del lecho filtrante y no bloquearlo en la superficie (16). A continuación se describen los materiales utilizados como medios filtrantes:

- **Arena:** Compuesto por sílice generalmente en forma de cuarzo su diámetro de partícula va desde 0.10 a 3 mm . Este tipo de material tiene la capacidad de captar dentro de su estructura porosa sólidos suspendidos, compuestos orgánicos e inorgánicos, virus y bacterias (17). Para la experimentación en el filtro descendente se colocaron 0.16 m^3 de arena de río lavada de $\sim 0.425 \text{ mm}$, Tamiz No. 40, con una altura de cama de 0.80 m .

- **Zeolita:** Son aluminosilicatos de metales alcalinos o alcalinotérreos predominantemente de sodio y calcio (18). Las zeolitas son formadas por canales y cavidades regulares y uniformes de dimensiones moleculares de 3 a 13 nm con una estructura microporosa que tiene una fuerza de cohesión compensada que es la responsable de las propiedades de adsorción de los sólidos (19). Para la experimentación en el filtro descendente se utilizaron 0.16 m^3 de zeolita (Clinoptilolita) con un tamaño de partícula de $\sim 3 \text{ nm}$, Tamiz N° 6, con una altura de cama de 0.80 m .

- **Resinas catiónicas de poli estireno:** Se caracterizan por intercambiar iones positivos (cationes), funcionan en soluciones con cualquier pH y se destina a aplicaciones de suavizado de agua, como primera columna de des ionización en los des mineralizadores o para lechos mixtos (20). Las resinas tienen una morfología corrugada definida de tipo esférica y de acuerdo a su composición permiten intercambiar los iones indeseables que se encuentran disueltos en el agua por iones deseables que están presentes en la resina (21,22,23). Las resinas catiónicas de poli estireno se clasifican en: a) Resinas catiónicas ácido fuerte, b) Resinas catiónicas ácido débil, c) Resinas aniónicas base fuerte y, d) Resinas aniónicas base débil (24). Considerando los parámetros fisicoquímicos del agua de Salache se utilizó en el filtro descendente 0.16 m^3 de resina catiónica de poli estireno de tipo ácido fuerte de $< 0.315 \text{ mm}$, Tamiz N° 45, con una altura de cama de 0.80 m .

2.3. Proceso de filtración

Es el paso de un fluido a través de un medio poroso el mismo que retiene la materia que se encuentra en suspensión (25). El proceso de filtración se realizó in situ, el agua cruda se recolectó directamente del tanque de almacenamiento de la comunidad de Salache.

Tiempo de Retención hidráulica (TRH): Es un proceso continuo, considerado como el tiempo en el que un fluido permanece en un espacio, se define como el cociente entre volumen total del fluido (V) en litros y el caudal a tratar (Q) en L min⁻¹, se calcula con la ecuación (26).

$$TRH = \frac{V}{Q} \quad (1)$$

Se ingresó al filtro un flujo constante de 0.67 L min⁻¹ de agua cruda, manteniendo un sobrenadante de 10 L. Previo al proceso experimental, se pasaron 20 litros de agua cruda por cada lecho filtrante. El tiempo de retención hidráulica durante el procedimiento tuvo un promedio de 20 minutos en cada lecho filtrante, en base a este tiempo se tomaron 5 muestras identificándolas como M1, M2, M3, M4 y M5.

2.4. Efectividad del proceso de filtración

Para determinar el porcentaje de remoción de las concentraciones de carbonato de calcio y sulfatos, posterior a la filtración se utilizó la ecuación (27):

$$\% \text{ Remoción} = \frac{VPi - VPf}{VPi} \times 100 \quad (2)$$

Donde: VPi = Valor de Parámetro inicial y VPf = Valor del Parámetro final (VPf).

El análisis físico-químico de las muestras se realizó en el Laboratorio de Análisis Técnico de la Junta Administradora de Agua Potable y Alcantarillado - Regional Yanahurco. Para la Alcalinidad se utilizó el método de titulación (2340-B), para la Dureza el método titulométrico de EDTA (2340-C) y para los Sulfatos el método Turbidimétrico (4500-SO₄²⁻E).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan los resultados de los análisis físico-químicos del agua filtrada en de cada medio filtrante. Las concentraciones de las muestras se

encuentran en función del tiempo de retención hidráulica y la eficiencia de los materiales filtrantes en porcentajes de remoción.

Alcalinidad: Entre los iones alcalinotérreos los más comunes en las aguas naturales son el Ca²⁺ y el Mg²⁺, que se originan debido a los procesos de disolución de minerales calcáreos, como la calcita CaCO₃ o la dolomita MgCa(CO₃)₂ (28). El agua que consumen los pobladores de la comunidad de Salache tiene 520 mg L⁻¹ de CaCO₃. El límite máximo permisible según la norma ecuatoriana NTE INEN 1108 para agua de consumo doméstico es de 500 mg L⁻¹ de CaCO₃.

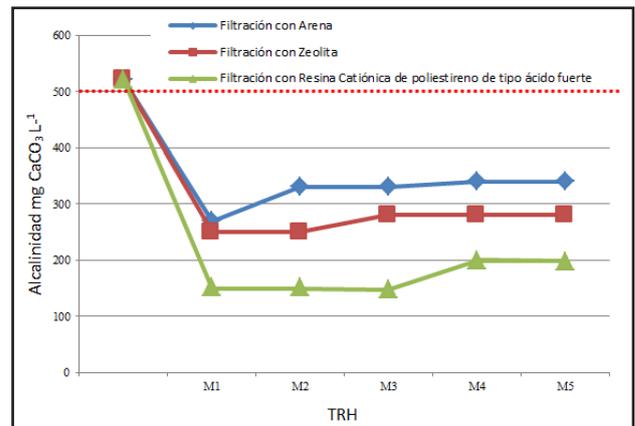


Figura 2. Tiempo de retención hidráulica y concentración de alcalinidad.

En la Figura 2, se tiene la representación de los resultados de laboratorio del agua filtrada, en donde se puede apreciar que la resina cationica ácido fuerte es el medio filtrante que tiene mayor afinidad con el carbonato de calcio reduciendo por intercambio iónico la concentración de alcalinidad a 198 mg L⁻¹. El proceso zeolítico adsorbe el carbonato de calcio y lo estabiliza en 280 mg L⁻¹ mientras que el lecho de arena, es el medio filtrante con menor capacidad de captación del mineral, regulando la concentración en 340 mg L⁻¹.

Lecho Filtrante	Alcalinidad en mg L ⁻¹ de CaCO ₃		
	VPi	VPf	% Remoción
Arena	520	340	35
Zeolita	520	280	46
Resina Catiónica ácido fuerte	520	198	62

Tabla 1. Efectividad del proceso de filtración en la remoción de alcalinidad

En la Tabla 1, se exponen los resultados de la efectividad del proceso de filtración, concluyendo que los materiales utilizados reducen a niveles permisibles la alcalinidad del agua. La resina cationica de ácido fuerte alcanza el 62% de remoción de carbonato de calcio, seguido de la zeolita

y la arena con 46% y 35% respectivamente.

Dureza: Se considera agua dura aquella que contiene minerales, sobre todo carbonatos de calcio CaCO_3 y carbonatos de magnesio MgCO_3 y bicarbonatos de calcio $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ y bicarbonatos de magnesio $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ (29). El agua que consumen los pobladores de la comunidad de Salache contiene 583 mg L^{-1} de CaCO_3 , este valor la clasifica como agua muy dura. El límite máximo permisible según la norma ecuatoriana NTE INEN 1108 para agua de consumo doméstico es de 500 mg L^{-1} de CaCO_3 .

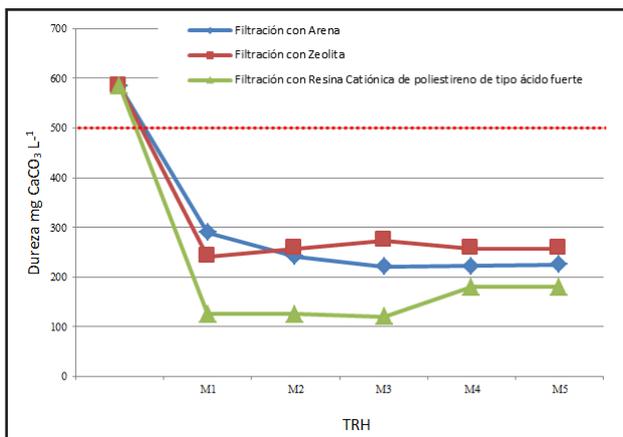


Figura 3. Tiempo de retención hidráulica y concentración de dureza.

En la Figura 3, se ilustran los datos de laboratorio de las muestras filtradas, comprobándose que el intercambio iónico de la resina estabiliza la dureza del agua a 180 mg L^{-1} . El medio poroso de la arena es apropiado para ablandar el agua reduciendo su concentración a 225 mg L^{-1} . Con menor funcionalidad se encuentra el proceso zeolítico, fijando la concentración de carbonato de calcio en 257 mg L^{-1} .

Lecho Filtrante	Dureza en mg L^{-1} de CaCO_3		
	VPi	VPf	% Remoción
Arena	583	225	61
Zeolita	583	257	56
Resina Catiónica ácido fuerte	583	180	69

Tabla 2. Efectividad del proceso de filtración en la remoción de dureza.

En la Tabla 2, los resultados revelan que los tres lechos filtrantes reducen a niveles permisibles las concentraciones de dureza. Se considera a la resina catiónica ácido fuerte como un material efectivo para tratar concentraciones elevadas de dureza con un 69% de remoción.

Sulfatos: El ión sulfato, SO_4^{2-} , se encuentran en el agua subterránea cuando está atraviesa por

menas de sulfato o de esquistos, corresponden a sales moderadamente solubles a muy solubles (30). El agua que consumen los pobladores de la comunidad de Salache contiene 450 mg L^{-1} . El límite máximo permisible según la norma ecuatoriana NTE INEN 1108 para agua de consumo doméstico es de 200 mg L^{-1} .

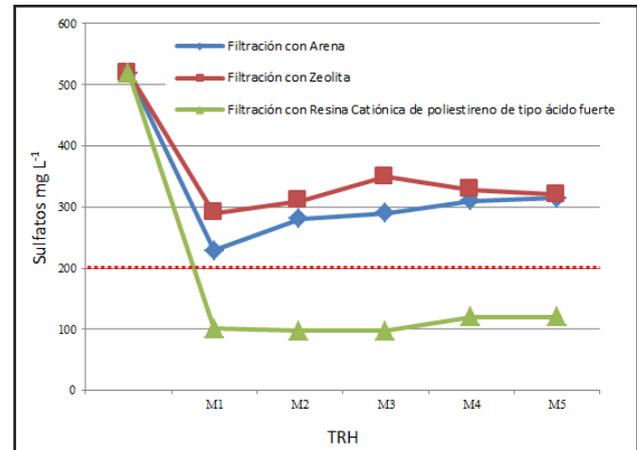


Figura 4. Tiempo de retención hidráulica y concentración sulfatos.

En la Figura 4, se observan los resultados del agua filtrada, verificándose una elevada afinidad de retención de sulfatos en el lecho de resina catiónica, reduciendo su concentración a 120 mg L^{-1} . La filtración del agua en medio poroso de arena y el proceso zeolítico no logran estabilizar la concentración de sulfatos.

Lecho Filtrante	Sulfatos en mg L^{-1}		
	VPi	VPf	% Remoción
Arena	450	315	30
Zeolita	450	320	29
Resina Catiónica ácido fuerte	450	120	73

Tabla 3. Efectividad del proceso de filtración en la remoción de dureza.

A partir de los resultados expuestos en la Tabla 3, se concluye que los tres lechos filtrantes reducen las concentraciones de sulfatos, sin embargo las concentraciones de las muestras de agua obtenida de los lechos de arena y de zeolita no cumplen con los límites permisibles. La resina catiónica ácido fuerte tiene una remoción del 73% de sulfatos, cumpliendo con la concentración permisible por la norma ecuatoriana.

IV. CONCLUSIONES

El agua que se suministra a la población de Salache, se clasifica como muy dura debido a su alta concentración de carbonato de calcio.

La filtración en lecho de arena redujo las concentraciones de carbonato de calcio a niveles permisibles, excepto la concentración de sulfatos.

El proceso de filtración en lecho de zeolita, fija las concentraciones de carbonato de calcio a niveles aptos para el consumo humano, pero no es

funcional en la remoción de sulfatos.

La filtración en lecho de resina catiónica ácido fuerte presenta mayor efectividad en la remoción de las concentraciones de carbonato de calcio y sulfatos, cumpliendo con los valores que establece la norma haciendo NTE INEN 1108 para agua de consumo doméstico.

Referencias

1. Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera agenda. Ginebra, 2011. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1>
2. Organización de las Naciones Unidas. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás, Paris, 2019. Disponible en: <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf>
3. Rodríguez J, Ortiz D, Rodríguez E, Santos E. Diseño de un filtro potabilizador ecológico para comunidades rurales, utilizando la Moringa Oleifera. Rev. Lasallista de Investigación, 15(2), pp. 121-122, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.22507/rli.v15n2a9>.
4. Del Puerto Rodríguez A, Rojas M, Iglesias A. Calidad del agua y enfermedades de transmisión digestiva. Revista Cubana de Medicina General Integral. 1999; 15(5):595-502.
5. Gutiérrez-Rosero J, Ramírez-Fajardo I, Rivas R, Linares B, Paredes D. Tratamiento de lodos generados en el proceso convencional de potabilización de agua. Revista Ingenierías Universidad de Medellín. 2014; 13 (5), p.248.
6. Cogollo J. Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: Caso del Hidroxicloruro de Aluminio. Rev. DYNA.2010; 78(165), p.1.
7. Secretaria Técnica Planifica Ecuador. Informe de avance del cumplimiento de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, Quito, Planifica Ecuador. 2019, p.245.
8. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Medición de los indicadores de Agua, Saneamiento e Higiene (ASH) en Ecuador, Quito, INEC.2019, 29p.
9. Orozco, C., Pérez, A., González, N., Rodríguez, F. J. y Alfayate, J. M. Contaminación ambiental: Una visión desde la química. Ed. Thomson, España. 2003, p. 31, 41-62.
10. González-Abraham A, Fagundo-Castillo J, Carrillo-Rivera J, Rodríguez-Estrella R. Geoquímica de los sistemas de flujo de agua subterránea en rocas sedimentarias y rocas volcánicas de Loreto, BCS, México, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. 2012; 64 (3), México. Obtenido de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-33222012000300005
11. Servicio Ecuatoriano de Normalización. NTE INEN 1108 sobre Agua Potable, Quito, INEN. 2011; p.126.
12. Gallego A., et al. Experimentación en química analítica, Madrid, UNED. 2015; p.222.
13. Rodríguez R. La dureza del agua. Buenos Aires, Editorial Universidad Tecnológica Nacional. 2010. Disponible en: http://www.edutecne.utn.edu.ar/agua/dureza_agua.pdf
14. Ordoñez J, Pesantes W. La filtración gruesa, aplicada al tratamiento de aguas superficiales, tesis (Ingeniería), Cuenca, Universidad de Cuenca. 2017; p.101.
15. Servicio Ecuatoriano de Normalización. NTE INEN 2 149:98 sobre: Medios filtrantes granulados utilizados en el tratamiento de aguas, Quito, INEN. 1998; p.14.
16. Suárez J, Jácome A, Rodríguez P. Filtración en medio granular (FT-TER-002), Coruña, Universidad de La Coruña-España. 2014; p.43.
17. Payán G. Estudio y diseño de biofiltro a partir de materia orgánica para el tratamiento de agua (Doctorado en Ciencias de Materiales), México, Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C. 2016; p.141.

18. Clarke C. Zeolites: Take off for the Tuff Guys. *Industrial Minerals*. 1980; p.21-32.
19. Curi A, Granda W, Lima H, Sousa W. Las Zeolitas y su Aplicación en la Descontaminación de Efluentes Mineros, Brasil, Universidade Federal de Ouro Preto. 2006.
20. CIDI, Grupo de Investigadores Ambientales. Reuso de Aguas Industriales, intercambio iónico, Colombia, CIDI. 1999; p.20-27.
21. Lago J, Fernández J, Díaz D. Minimización de los residuos provenientes de la regeneración de las Resinas de las Plantas Desmineralizadoras del CRP-AMUAY. *Rev. Fac. Ing. UCV*. 2005; 20 (4). Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652005000400004
22. Cjuno J, Arroyo J, Ale N, Pacheco E, Costilla J, Cubas R. Síntesis de un intercambiador catiónico a partir de poli estireno comercial / residual. *Rev. Per. Quím. Ing. Quím*. 2005; 8 (1). Disponible en: https://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/Publicaciones/ing_quimica/v08_n1/pdf/a01v8.pdf
23. Flores R, Ortiz H, Olguín M, Hernández M, García H. Caracterización y disposición de resinas de intercambio iónico utilizadas en instalaciones nucleares. Primer Congreso Americano del IRPA 2006/First American IRPA Congress. 2006. Disponible en: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/37/115/37115844.pdf
24. Sánchez C. Intercambio Iónico (FT-TER-006). Universidad Da Caruña. Serie: Tratamientos Terciarios. 2015, 4p.
25. Visbal L, Rozo A. Diseño de un Sistema de Filtración Continua Arena-Carbón Activado como herramienta Didáctica en el Laboratorio de Operaciones Unitarias, Colombia, Facultad de Ingeniería, Arquitectura, Artes y Diseño, Universidad de San Buenaventura. 2018.
26. Balaguer E. Estudio de la influencia del tiempo de retención hidráulico en un reactor biológico secuencial (SBR) de depuración de aguas residuales procedentes de una tenería y optimización de la fase de sedimentación, tesis (Maestría en seguridad industrial y medio ambiente), España, Universidad Politécnica de Valencia. 2011; p.116.
27. Palta-Prado G, Morales-Velasco S. Fitodepuración de aguas residuales domesticas con poaceas: *Brachiaria mutica*, *Pennisetum purpureum* y *Panicum maximum* en el municipio de Popayán, Cauca. *Rev.Bio.Agro*. 2013; 11(2). Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n2/v11n2a07.pdf>
28. Doménech X. El medio hídrico terrestre. 3ra. edición. Ed. Miraguano, Madrid. 2000; p. 17-35.
29. Nebel B. J, Wright R. T. Ciencias ambientales: Ecología y Desarrollo Sostenible. 6ta. Edición. Ed Pearson, México. 1999; p. 263-290.
30. Rigola M. Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales. Ed. Productica, España. 1989, 11(13), p32-41.

MODELO MATEMÁTICO PARA MINIMIZAR LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN EN UNA ENSAMBLADORA DE VEHÍCULOS - ÁREA DE ENSAMBLAJE.

Mathematical model to minimize production costs in a vehicle assembler - assembly area.

¹José Gavidia* , ²Antonio Meneses , ³Lourdes Zúñiga , ¹Christian Mariño .

¹Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Sistemas, Electrónica e Industrial, Carrera de Ingeniería Industrial, Ambato, Ecuador.

²Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Industrial, Riobamba, Ecuador.

³Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica, Carrera Ingeniería en Telecomunicaciones, Riobamba, Ecuador.

*jl.gavidia@uta.edu.ec

Resumen

El trabajo de investigación tiene como objetivo diseñar un modelo matemático para minimizar los costos de producción, mediante la aplicación del software Lingo 19 en el ensamble del vehículo Modelo HAVAL M4 AC 1.5 5P 4X2 producido por la empresa Ciauto Cía. Ltda. Se diseñó un instrumento (Check List) para el levantamiento de la información. En el análisis de la Capacidad Instalada (CI) se obtuvo un valor de doce (12) vehículos/diarios, donde el 50 % se ensambla el modelo más vendido por la empresa, es decir, seis (6) vehículos Modelos M4 por día, con un costo de producción total al año de USD 198.052,50. En base a los datos del trabajo de investigación se concluye, dotar de una herramienta matemática que minimice los costos de producción en el área de ensamble de la empresa Ciauto Cía. Ltda. de forma eficiente y sostenible a corto, mediano y largo plazo, con el fin de generar una gestión eficiente de los recursos. Se recomienda aplicar el Modelo Matemático de Programación Lineal para minimizar los costos de producción para cualquier área de en una ensambladora de vehículos, como suelda, pintura o desempaque.

Palabras clave: Capacidad, Ensamble, Modelo, Planeación, Producción, Desempaque.

Abstract

The objective of the research work is to design a mathematical model to minimize production costs, through the application of the Lingo 19 software in the assembly of the HAVAL M4 AC 1.5 5P 4x2 vehicle model produced by the company Ciauto Cía. Ltda. An instrument (Check List) was designed to collect the information. In the analysis of the Installed Capacity (IC), a value of twelve (12) vehicles / day was obtained, where 50% of the most sold model is assembled by the company, that is, six (6) M4 Models vehicles per day, with a total production cost per year of USD 198,052.50. Based on the data from the research work, it is concluded to provide a mathematical tool that minimizes production costs in the assembly area of the company Ciauto Cía. Ltda in an efficient and sustainable way in the short, medium, and long term, to generate an efficient management of resources. It is recommended to apply the Linear Programming Mathematical Model to minimize production costs for any area of a vehicle assembler, such as welding, painting or unpacking.

Keywords: Capacity, Assembly, Model, Planning, Production, Unpacking.

Fecha de recepción: 17-06-2021

Fecha de aceptación: 03-09-2021

Fecha de publicación: 13-10-2021

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo del trabajo de investigación se enfocó en Diseñar un Modelo Matemático para mini-

mizar los costos de producción, que permita la gestión eficiente de los recursos en una empresa ensambladora de vehículos. La metodología se fundamentó en un enfoque de investigación

cuantitativo, con un método inductivo y deductivo, haciendo uso de una investigación bibliográfica y documental (1-3).

El proceso de llegar a plantear el modelo matemático para minimizar los costos de producción, que permita la gestión eficiente de los recursos en una empresa ensambladora de vehículos, se basa en la aplicación del software matemático Lingo 19, con el cual se logra minimizar la función objetivo, teniendo en cuenta las restricciones, donde con la aplicación de este software se obtiene los costos de cinco (5) aspectos más influyentes inmersos en la producción. (costo de un trabajador por mes, costo de contratar y capacitar un trabajador, costo de despedir un trabajador, costo de mantener inventario, costo de inventario agotado) (4).

Revisando el estado del arte podemos encontrar investigaciones similares, como el caso de un “Modelo matemático para la planificación de la producción del sector cuero en la parroquia de Quisapincha” Ambato Ecuador, donde el estudio fue de elaborar un modelo matemático que se adecue a las necesidades de mejora económica de este sector, con el fin de planificar adecuadamente la producción mediante el uso de una herramienta cuantitativa que ayude a fundamentar la toma de decisiones y mejorar la gestión administrativa, como resultado lograron maximizar sus utilidades, como podemos observar, las ventajas de implementar estos modelos es minimizar costos y maximizar ganancias (5, 6).

En el desarrollo del presente trabajo de investigación, se emplea un instrumento para el levantamiento de la información (Check List) y el software matemático Lingo 19, con ello se diseña el modelo matemático que permite minimizar los costos de producción, optimizando los recursos inmersos en esta actividad (7).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

• Materiales.

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se hace uso de los siguientes materiales:

- Plan de producción vigente.

- Check List
- Software Matemático Lingo versión 19
- Computador y equipos de oficina.

• Metodología.

La investigación empieza con el estudio del estado del arte, y con el análisis documental del proceso de producción actual de la planta, haciendo uso de un Check List, el cual se aplica en el área de ensamble para el modelo M4, el mismo que es el más significativo para la empresa Ciauto Cia. Ltda. Donde se determina reducir los costos de producción enmarcados en un año, para ello se selecciona cinco (5) aspectos más representativos en esta actividad (costo de un trabajador, costo de contratar y capacitar a un trabajador, costo de despedir a un trabajador, costo de mantener inventario y costo de inventario agotado). Para diseñar el modelo matemático que minimice estos costos de producción, se hace uso del software matemático Lingo 19 (8, 9).

Área de Estudio

La determinación del modelo matemático para minimizar los costos de la producción se lo hace en el área de ensamble de vehículos compactos, conformada por diez estaciones de trabajo denominadas: E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8, E9, E10, distribuidas en las tres líneas de ensamble que la constituyen siendo estas: Línea TRIM, Línea Chasis, Línea Liberación o final (10).

Planificación de la Producción

Se refiere esencialmente a la cantidad de fabricación de artículos y vigilar que se haga como se planeó, es decir, el control se refiere a la verificación para que se cumpla con lo planeado, reduciendo a un mínimo las diferencias del plan original (11).

Producto Ensamblado

En la Figura 1, se ilustra el Vehículo HAVAL M4 AC 1.5 5P 4x2 TM resultante de la línea de ensamble. El proceso se desarrolla a medida que el auto pasa por las diferentes estaciones de trabajo (E1 a E10) dentro del área de ensamblaje, poste-

riormente pasa por las estaciones de pruebas de calidad, hasta obtener el producto final que será dispuesto en el mercado nacional.



Figura 1. Vehículo Great Wall M4, 1.5 5P 4X2 TM.

Resumen del Diagrama de Proceso de ensamble - Modelo M4

En las instalaciones del área de producción de vehículos compactos de la empresa CIAUTO se ejecutan diversas actividades para obtener el Modelo M4 totalmente armado, para ello, a continuación, se presenta en resumen el diagrama de proceso de ensamblaje del modelo M4, (tabla 1), tomando en cuenta que el proceso de ensamble demanda la utilización de herramientas e instrumentos de trabajo calibrados para realizar las operaciones adecuadamente (12, 13).

RESUMEN PROCESO					
Actividad	Cantidad	Tiempo (min)	Distancia (m)	Ahorro (\$)	Observaciones
Operación	30	19:50:33		
Transporte	13	0:38:28	37		
Inspección	12	1:20:41		
Demora	4	0:03:57		
Almacenaje	0	0		
Total		21:53:34	37		

Tabla 1. Matriz resumen del Diagrama de Proceso de ensamble - Modelo M4.

Determinación de tiempos de las actividades que se ejecutan en cada estación de trabajo.

Para la obtención de los tiempos cronometrados de cada área de trabajo a lo largo de la línea de ensamble en la Ensambladora de vehículos Ciauto Cía. Ltda., se considera en primera instancia la jornada laboral que se aplica en la organización, para lo cual el personal se acoge a una jornada de trabajo que comprende un horario de 7am a 4pm, detallada en la Tabla 2, de esta se tiene que el tiempo disponible de ensamblaje es de 7 horas con 40 minutos correspondiente a 460 minutos (14,15).

No	Actividad	Hora
1	Ingreso	07:00
2	Periodo de Reunión diaria con el LET	07:10
3	Inicio del Breack (periodo de descanso)	09:45
4	Regreso a los puestos de trabajo	10:00
5	Inicio del periodo de almuerzo	12:45
6	Ingreso a los puestos de trabajo	13:30
7	Fin de jornada	15:50
8	Limpeza de estaciones y entrega de herramientas	16:00
9	Salida	16:00
Total Tiempo Disponible		7h:40 min = 460 min

Tabla 2. Jornada Laboral CIAUTO.

Balance de las líneas de producción en el área de ensamble del Modelo M4

Con el fin de equilibrar las cargas de trabajo en las estaciones del área de ensamble de la Ensambladora de vehículos Ciauto Cía. Ltda., se realiza el balance de las líneas productivas desarrollando en primera instancia el cálculo del takt time y el número de estaciones, para mediante esto realizar el diagrama de equilibrio de la línea de ensamble.

Mediante el método de balanceo de líneas se agrupa las operaciones consecutivamente de tal forma que los operarios tengan una misma cantidad de carga de trabajo con el fin de aprovechar al máximo la mano de obra, la utilización del equipo de manera que el tiempo inactivo de todas las estaciones de trabajo sea el menor posible en la producción del modelo M4, para ello se analiza la jornada laboral de la organización como base fundamental del cálculo del takt time con el propósito de que todas las estaciones se ajusten al plan de producción establecido de doce (12) vehículos diarios (2,16).

Cálculo del Takt Time

Del análisis precedente realizado de la jornada laboral de la Ensambladora de vehículos Ciauto Cía. Ltda., detallada en la Tabla 2, se tiene que el tiempo disponible es de 7 horas con 40 minutos correspondiente a 460 minutos utilizables por el operario de cada subestación para cumplir el ensamble de 12 unidades, con estos datos calculamos el Takt Time, aplicando la Ec. 1 (17).

$$\text{Takt Time}(TT) = \frac{\text{Tiempo Disponible de Trabajo}}{\text{Demanda de Producción}} \quad (1)$$

$$\text{Takt Time}(TT) = \frac{460\text{min}}{12 \text{ unidades}}$$

$$\text{Takt Time}(TT) = 38,33 \frac{\text{min}}{\text{unidad}}$$

$$\text{Takt Time}(TT) = 38:33 \approx 39 \frac{\text{min}}{\text{unidad}}$$

El Takt Time calculado indica que el ritmo de producción de los automóviles modelo M4 demandado por el cliente debe finalizar en una duración de 38 minutos con 19.8 segundos, aproximadamente 39 minutos, es decir, en este ciclo de tiempo debe salir un auto completamente ensamblado (18).

Análisis de la capacidad instalada en el área de ensamble de CIAUTO.

Con el fin de conocer el volumen de producción que la Ensambladora de vehículos Ciauto Cía. Ltda., podría generar en base a su infraestructura, adecuación de sus instalaciones y de acuerdo con las máquinas-herramientas con la que cuenta cada estación de trabajo, se realizan diferentes cálculos que ayuden a la empresa a identificar su producción máxima, generando una estrategia competitiva acorde a la demanda del mercado (19).

Cálculo del Índice de Productividad (IP)

Para la obtención del IP se emplea la ecuación (2), ocupando los datos presentes en la Tabla 3

No	Actividad	Hora
1	T Laboral (min)	480
2	T Reuniones (min)	20
3	T Disponible (min)	460
4	Unidades Planificadas (u)	12
5	Takt time (minutos)	38
6	Suplementos	1,11
7	TT con suplementos(min)	0:46:37

Tabla 3. Datos para la planificación de la producción.

$$IP = \frac{\text{Producción diaria}}{\text{Tiempo disponible}} \quad (2)$$

$$IP = \frac{12 \text{ vehiculos}}{460 \text{ minutos}}$$

$$IP = 0.026 \frac{\text{vehiculos}}{\text{minutos}} * \frac{60 \text{ minutos}}{1h}$$

$$IP = 1.56 \frac{\text{vehiculos}}{\text{hora}}$$

Del cálculo se obtiene como resultado que en cada estación de trabajo de la Línea de ensamble

de vehículos compactos se debe producir un vehículo completamente armado y un avance del 56% en el ensamblaje del siguiente vehículo en el transcurso de cada hora de la jornada laboral.

Cálculo de la Productividad

Para proceder a realizar el respectivo análisis de productividad se toma el valor del número de operarios reales (NOR=30) que están presentes en el área de ensamble del Modelo M4, esto con el fin de establecer un dato verídico con respecto al aprovechamiento de los recursos existentes en las instalaciones de la organización. Se emplea la ecuación (3) mediante la cual se procede hacer el cálculo pertinente.

Sabemos que: 30 operarios producen 12 unidades por día.

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Producción diaria}}{\text{Horas hombre empleadas}} \quad (3)$$

$$\text{Productividad} = \frac{12 \text{ vehiculos}}{8 \text{ h}}$$

$$\text{Productividad} = 1.5 \frac{\text{vehiculos}}{\text{h}}$$

Si 1.5 Unidades por hora producen 30 operarios, ¿Cuánto producirá un operario?

$$\text{Productividad} = \frac{(1.5 \text{ vehiculos/hora}) * 1 \text{ operario}}{30 \text{ operarios}}$$

$$\text{Productividad} = 0.05 \frac{\text{vehiculos}}{\text{hora}} * \text{operario}$$

Del cálculo realizado se establece que la productividad por hora se tiene un valor de 0,05, es decir, que un operario realiza aproximadamente un 5 % del ensamble de un auto por cada hora de la jornada laboral.

Cálculo de la Capacidad Instalada (CI)

Con los cálculos previos realizados se procede a efectuar el respectivo análisis de la Capacidad Instalada, para ello se emplea la ecuación 4.

$$CI = \frac{\text{vehiculos}}{\text{min}} * \text{min diarios trabajados} * \text{dias trabajados} \quad (4)$$

$$CI = 0.026 \frac{\text{vehiculos}}{\text{min}} * 460 \text{ min} * 5 \text{ dias}$$

$$CI = 59,8 \frac{\text{vehiculos}}{\text{semanales}}$$

$$CI = 59,8 \frac{\text{vehiculos}}{\text{semanales}} * \frac{1 \text{ semana}}{5 \text{ días}}$$

$$CI = 11.96 \frac{\text{vehiculos}}{\text{diarios}}$$

Del cálculo realizado se obtiene que la Capacidad Instalada en la Línea de ensamble de vehículos

compactos es de 59,8 vehículos/semanales, esto significa que la ensambladora en base a sus recursos, equipamiento e infraestructura está en la capacidad de ensamblar el 50% de un Modelo M4 semanalmente. Del cálculo desarrollado para conocer la CI diaria se obtiene como resultado $11,96 \approx 12$ vehículos/diarios, de los cuales el 50 % se ensambla el modelo más vendido por la Marca, (6 Modelos M4) este valor ratifica que el plan de producción fijado por el coordinador de ensamble para el Modelo M4 está bien dispuesto.

Modelo Matemático de Programación Lineal

Existen varias alternativas de solución para encontrar el plan de producción ideal, pues ahora se empieza a trabajar con el método matemático de Hansmann, F. y Hess, ya que es el modelo que más se acopla con la realidad del proceso de ensamble de la empresa, en donde se comienza definiendo cada uno de los parámetros o variables que intervienen en este proceso, los cuales se aprecian en la tabla 4 (20,21).

No.	Variable	Interpretación
1	$t =$	Indica el número de periodos, $t = 1, 2, \dots, T$.
2	$C_t^W =$	Costo de un trabajador en el periodo t .
3	$C_t^C =$	Costo de contratar un trabajador en el periodo t .
4	$C_t^D =$	Costo de despedir a un trabajador en el periodo t .
5	$C_t^I =$	Costo de mantener una unidad en inventario en el periodo t .
6	$C_t^F =$	Costo del faltante de una unidad en el periodo t .
7	$P_t =$	Número de unidades producidas en el periodo t .
8	$W_t =$	Número de trabajadores en el periodo t .
9	$C_t =$	Número de trabajadores contratados en el periodo t .
10	$D_t =$	Pronóstico de la demanda en el periodo t .
11	$I_t =$	Número de unidades en inventario en el periodo t .
12	$F_t =$	Número de unidades faltantes en el periodo t .
13	$n_t =$	Número de unidades que realiza un trabajador en el periodo t .

Tabla 4. Interpretación de Variables.

El objetivo de este modelo es minimizar el costo de cinco (5) recursos más influyentes que intervienen en la producción, para lo cual se procede armar la siguiente función objetivo (ecuación 5), para minimizar el costo de la producción anual en la Ensambladora de vehículos Ciauto Cía. Ltda. (21,22).

$$\text{minimizar} = \sum_{t=1}^T C_t^W * P_t + C_t^C * C_t + C_t^D * D_t + C_t^I * I_t + C_t^F * F_t \quad (5)$$

A continuación, se procede armar cada una de las restricciones vitales para el modelo de pro-

gramación lineal, ya que dichas restricciones son de gran ayuda para la respectiva solución del problema.

— Se calcula el número de unidades que se puede producir en cada periodo, y esto con la ayuda de multiplicar el número de unidades que una persona puede realizar en un mes, por la variable del número de trabajadores disponibles en el mes. (Ecuación 6)

$$P_t \leq n_t * W_t; \quad 1 \leq t \leq T \quad (6)$$

— Se calcula el número de trabajadores necesarios en cada periodo, y esto mediante la suma de los trabajadores al inicio del año, más el número de trabajadores contratados, menos el número de trabajadores despedidos en el mes, lo que se detalla a continuación, para esto aplicamos la Ecuación 7.

$$W_t = W_{t-1} + C_t - D_t; \quad 1 \leq t \leq T \quad (7)$$

— Finalmente, se encuentra el dato del número de inventario que va a existir en cada mes del año 2019, y esto a través de la operación algebraica del número de inventario en existencia, menos el número de inventario faltante, más la producción en cada mes y menos la demanda de unidades estipuladas para el año 2020. Para ello aplicamos la Ecuación 8.

$$I_t - F_t = I_{t-1} - F_{t-1} + P_t - D_t; \quad 1 \leq t \leq T \quad (8)$$

Donde I_{t-1} y F_{t-1} son inventario inicial y ordenes atrasadas respectivamente, además cabe mencionar que todas estas variables se deben mostrar en forma entera positiva.

Plan agregado en ensamble

El proceso para obtener el Modelo M4 totalmente armado, se establece el tipo de producción apropiada para los 12 meses del año 2020 que optimice todos sus recursos y genere menos costos. Para una demanda con variación estacional, se planifica trabajar inicialmente con 30 operarios, además se determina los costos de producción para el plan agregado, los que se muestran en la Tabla 7. (23).

La función objetivo para minimizar los costos de producción para el Modelo M4, se la plantea a través de la ecuación cinco (5), utilizando para

las constantes la información detallada en la Tabla 8. Una vez planteada la función objetivo, se procede a diseñar cada una de las restricciones, armadas dentro del programa Lingo 18. En la Figura dos (2), se presenta la codificación del modelo matemático, donde primero se muestra la declaración de las variables de tipo vectorial y matricial, posterior a ello se les asigna valores a las constantes del modelo y luego se plantea la función objetivo, las restricciones para conocer la producción, el número de trabajadores y por último el número del inventario total para cada mes (20).

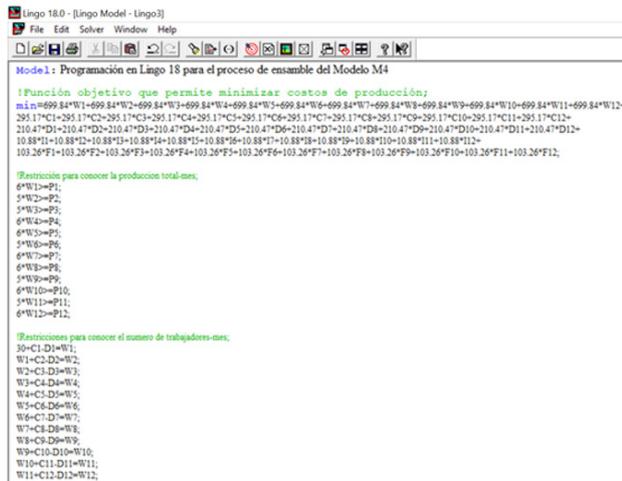


Figura 2. Programación en Lingo 18 para el proceso de ensamble del Modelo M4

Para encontrar el número de unidades que un trabajador puede realizar en un día, se emplea el tiempo estándar del proceso, para ello se realiza la siguiente regla de tres, tal como se la calculó anteriormente en los planes de producción tradicionales para el proceso de ensamble del Modelo M4, como se muestra a continuación.

30 operarios durante 0.641 horas ensamblan 1 unidad del Modelo M4. ¿Cuántas unidades del Modelo M4 ensamblará un operario en 7 h 40 min = 7,67 h?

Operarios	Horas	Ensamble M4
30	0.641	1
1	7.67	x

$$\frac{(30)(0.641)}{1} = \frac{(1)(7.67)}{x} \Rightarrow x = \frac{(1)(7.67)}{(30)(0.641)} \Rightarrow x \approx 0.40 \frac{M4}{\text{día}}$$

Luego calculamos los días disponible por mes, que resulta del producto días hábiles (tabla 5) por 50%, este número multiplicamos por el número de unidades del Modelo M4 que realiza un operario en un día, y se obtiene el total de unidades que un trabajador puede producir en un mes, lo que se muestra en la tabla 6.

En la tabla 5 se muestra la Demanda y los días hábiles por mes durante el año 2020.

Demanda	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	146	115	120	123	148	116	150	122	120	150	120	120
Número de días hábiles	23	20	21	22	23	20	23	22	21	23	21	22

Tabla 5. Demanda mensual y días hábiles año 2020.

Detalles\Meses	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00
# de unidades que realiza 1 trabajador en un día	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400
# de días disponibles en cada mes	11,50	10,00	10,50	11,00	11,50	10,00	11,50	11,00	10,50	11,50	10,50	11,00
# de unidades que 1 trabajador realiza en el mes (nt)	5	4	4	4	5	4	5	4	4	5	4	4

Tabla 6. Número de unidades que ensambla un trabajador al mes, del Modelo M4.

III. RESULTADOS

- Resolución con el método de programación lineal para el proceso de ensamble del Modelo M4

Una vez que se conoce cada uno de los datos que

forman parte de la producción con sus respectivas variables, se comienza a armar el modelo de programación lineal dentro del programa Lingo 19 (23).

1. Cálculo de producción en cada mes.

```

Lingo 18.0 - Lingo Model - Lingo3
File Edit Solver Window Help
!Restricción para conocer la produccion total-mes;
6*W1>=P1;
5*W2>=P2;
5*W3>=P3;
6*W4>=P4;
6*W5>=P5;
5*W6>=P6;
6*W7>=P7;
6*W8>=P8;
5*W9>=P9;
6*W10>=P10;
5*W11>=P11;
6*W12>=P12;

```

Figura 3. Restricción 1 para el proceso de ensamble del Modelo M4.
Fuente: Lingo 19.

2. Cálculo de trabajadores en cada mes.

```

Lingo 18.0 - Lingo Model - Lingo3
File Edit Solver Window Help
!Restricciones para conocer el numero de trabajadores-mes;
30+C1-D1=W1;
W1+C2-D2=W2;
W2+C3-D3=W3;
W3+C4-D4=W4;
W4+C5-D5=W5;
W5+C6-D6=W6;
W6+C7-D7=W7;
W7+C8-D8=W8;
W8+C9-D9=W9;
W9+C10-D10=W10;
W10+C11-D11=W11;
W11+C12-D12=W12;

```

Figura 4. Restricción 2, No. de trabajadores para el proceso de ensamble Modelo M4.
Fuente: Lingo 19.

3. Cálculo de inventario en cada mes.

```

Lingo 18.0 - Lingo Model - Lingo3
File Edit Solver Window Help
!Restricciones para conocer el numero de inventario-mes;
0-0+P1-146=I1-F1;
I1-F1+P2-115=I2-F2;
I2-F2+P3-120=I3-F3;
I3-F3+P4-123=I4-F4;
I4-F4+P5-148=I5-F5;
I5-F5+P6-116=I6-F6;
I6-F6+P7-150=I7-F7;
I7-F7+P8-122=I8-F8;
I8-F8+P9-120=I9-F9;
I9-F9+P10-150=I10-F10;
I10-F10+P11-120=I11-F11;
I11-F11+P12-120=I12-F12;

```

Figura 5. Restricción 3 inventario para el proceso de ensamble del Modelo M4.
Fuente: Lingo 19.

4. Programar las variables a datos enteros.

```

Lingo 18.0 - Lingo Model - Lingo3
File Edit Solver Window Help
!Matriz para transformar cada una de las variables en enteras;
@gin(W1); @gin(W2); @gin(W3); @gin(W4); @gin(W5); @gin(W6); @gin(W7); @gin(W8); @gin(W9); @gin(W10); @gin(W11); @gin(W12);
@gin(C1); @gin(C2); @gin(C3); @gin(C4); @gin(C5); @gin(C6); @gin(C7); @gin(C8); @gin(C9); @gin(C10); @gin(C11); @gin(C12);
@gin(D1); @gin(D2); @gin(D3); @gin(D4); @gin(D5); @gin(D6); @gin(D7); @gin(D8); @gin(D9); @gin(D10); @gin(D11); @gin(D12);
@gin(I1); @gin(I2); @gin(I3); @gin(I4); @gin(I5); @gin(I6); @gin(I7); @gin(I8); @gin(I9); @gin(I10); @gin(I11); @gin(I12);
@gin(F1); @gin(F2); @gin(F3); @gin(F4); @gin(F5); @gin(F6); @gin(F7); @gin(F8); @gin(F9); @gin(F10); @gin(F11); @gin(F12);
@gin(P1); @gin(P2); @gin(P3); @gin(P4); @gin(P5); @gin(P6); @gin(P7); @gin(P8); @gin(P9); @gin(P10); @gin(P11); @gin(P12);

```

Figura 6. Transformar variables en valores enteros proceso ensamble Modelo M4.
Fuente: Lingo 19.

Resultados con el Método de Programación Lineal para el proceso de ensamble del Modelo M4.

```

Lingo 18.0 - [Solution Report - Lingo3]
File Edit Solver Window Help
Global optimal solution found.
Objective value: 198052.5
Objective bound: 198052.5
Infeasibilities: 0.000000
Extended solver steps: 766
Total solver iterations: 6042
Elapsed runtime seconds: 0.37

Model Class: PILP

Total variables: 72
Nonlinear variables: 0
Integer variables: 72

Total constraints: 37
Nonlinear constraints: 0

Total nonzeros: 189
Nonlinear nonzeros: 0

```

Figura 7. Respuesta de Lingo 19 para el proceso de ensamble del Modelo M4.

En la figura 7, se muestra la solución de la función objetivo, Costo total de Producción al año, que es de \$198.052,50; además se detalla el número de pasos que se aplica para dar la solución que es de setecientos sesenta y seis (766) pasos, setenta y dos (72) variables y seis mil cuarenta y dos (6.042) iteraciones.

```

Lingo 18.0 - [Solution Report - Lingo3]
File Edit Solver Window Help
Elapsed runtime seconds: 0.37

Model Class: PILP

Total variables: 72
Nonlinear variables: 0
Integer variables: 72

Total constraints: 37
Nonlinear constraints: 0

Total nonzeros: 189
Nonlinear nonzeros: 0

Variable Value Reduced Cost
W1 25.00000 699.8400
W2 23.00000 699.8400
W3 23.00000 699.8400
W4 23.00000 699.8400
W5 23.00000 699.8400
W6 24.00000 699.8400
W7 24.00000 699.8400
W8 24.00000 699.8400
W9 23.00000 699.8400
W10 23.00000 699.8400
W11 23.00000 699.8400
W12 20.00000 699.8400

```

Figura 8. Cálculo del número de operarios por periodo.

La figura 8, indica el número de operarios que deben existir en cada mes, expresado en la columna de Value, y el valor que debemos reducir para modificar la columna Value, expresada en la columna Reduced Cost. Que es el costo de un trabajador por mes, igual a, \$ 699.84.

La figura 9, enseña el número de operarios contratados en cada periodo, expresado en la columna Value, y los costos a reducir en la columna Reduced Cost. Que es el costo de contratar y capacitar un trabajador por mes, igual a, \$ 295.17

C1	0.000000	295.1700
C2	0.000000	295.1700
C3	0.000000	295.1700
C4	0.000000	295.1700
C5	0.000000	295.1700
C6	1.000000	295.1700
C7	0.000000	295.1700
C8	0.000000	295.1700
C9	0.000000	295.1700
C10	0.000000	295.1700
C11	0.000000	295.1700
C12	0.000000	295.1700

Figura 9. Cálculo del número de operarios Contratados por periodo.

La figura 10, indica, el número de operarios despedidos en cada mes, mostrado en la columna Value con sus respectivos costos a reducir. \$210.47

D1	5.000000	210.4700
D2	2.000000	210.4700
D3	0.000000	210.4700
D4	0.000000	210.4700
D5	0.000000	210.4700
D6	0.000000	210.4700
D7	0.000000	210.4700
D8	0.000000	210.4700
D9	1.000000	210.4700
D10	0.000000	210.4700
D11	0.000000	210.4700
D12	3.000000	210.4700

Figura 10. Cálculo del número de operarios Despedidos por periodo.

La figura 11, expresa, el número de Modelos M4 que deben existir en inventario, el cual se indica en la columna de Value con su respectivo valor para reducir los costos. \$10.88

I1	4.000000	10.88000
I2	4.000000	10.88000
I3	0.000000	10.88000
I4	12.00000	10.88000
I5	2.000000	10.88000
I6	6.000000	10.88000
I7	0.000000	10.88000
I8	22.00000	10.88000
I9	17.00000	10.88000
I10	5.000000	10.88000
I11	0.000000	10.88000
I12	0.000000	10.88000

Figura 11. Cálculo del inventario Modelo M4 por periodo

La figura 12, muestra, los productos que pueden quedar sin entregar en cada mes, cuyo valor se muestra en la columna de Value, y el costo por

inventario agotado es igual a \$103.26 por mes.

F1	0.000000	103.2600
F2	0.000000	103.2600
F3	1.000000	103.2600
F4	0.000000	103.2600
F5	0.000000	103.2600
F6	0.000000	103.2600
F7	0.000000	103.2600
F8	0.000000	103.2600
F9	0.000000	103.2600
F10	0.000000	103.2600
F11	0.000000	103.2600
F12	0.000000	103.2600

Figura 12. Cálculo del inventario agotado Modelo M4 por periodo.

La figura 13, muestra la producción que debería darse para satisfacer cada una de las restricciones ya planteadas, y así el costo de producción sea el óptimo. Columna Value.

P1	150.0000	0.000000
P2	115.0000	0.000000
P3	115.0000	0.000000
P4	136.0000	0.000000
P5	138.0000	0.000000
P6	120.0000	0.000000
P7	144.0000	0.000000
P8	144.0000	0.000000
P9	115.0000	0.000000
P10	138.0000	0.000000
P11	115.0000	0.000000
P12	120.0000	0.000000

Figura 13. Cálculo del inventario agotado Modelo M4 por periodo.

Para este modelo se muestra la tabla 7, que indica los costos de producción por mes para el año 2020.

Características\ Meses	1	2	11	12
Costo de un trabajador en el mes (Wt)	\$ 699,84	\$ 699,84	\$ 699,84	\$ 699,84	\$ 699,84	\$ 699,84	\$ 699,84
Costo de contratación y capacitación (Ct)	\$ 295,17	\$ 295,17	\$ 295,17	\$ 295,17	\$ 295,17	\$ 295,17	\$ 295,17
Costo de despido (Dt)	\$ 210,47	\$ 210,47	\$ 210,47	\$ 210,47	\$ 210,47	\$ 210,47	\$ 210,47
Costo de mantenimiento del inventario (It)	\$ 10,88	\$ 10,88	\$ 10,88	\$ 10,88	\$ 10,88	\$ 10,88	\$ 10,88
Costo marginal del inventario agotado (Ft)	\$ 13,26	\$ 13,26	\$ 13,26	\$ 13,26	\$ 13,26	\$ 13,26	\$ 13,26

Tabla 7. Cálculo del inventario agotado Modelo M4 por periodo.

No	Restricción	Costo
1	(Wt) Costo de un trabajador al mes	\$ 699,84 /trabajador
2	(Ct) Costo de contratación y capacitación	\$ 295,17 /trabajador
3	(Dt) Costo de despido	\$ 210,47 /trabajador
4	(It) Costo de mantenimiento del inventario	\$ 10,88 /modelo
5	(Ft) Costo marginal del inventario agotado	\$ 103,26 /modelo

Tabla 8. Costos de producción en ensamble Modelo M4.

Reemplazando en la ecuación cinco (5) los valores de Costo de la tabla 8, se obtiene el Modelo Matemático de Programación Lineal para minimizar los costos de producción anual del Modelo M4 (21,22).

$$\text{minimizar} = 699,84 * \left(\sum_{t=1}^{12} W_t \right) + 295,17 * \left(\sum_{t=1}^{12} C_t \right) + 210,47 * \left(\sum_{t=1}^{12} D_t \right) + 10,88 * \left(\sum_{t=1}^{12} I_t \right) + 103,26 * \left(\sum_{t=1}^{12} F_t \right)$$

• Resumen de los Resultados para el proceso de ensamble del Modelo M4

Una vez mostrada la respuesta del programa lingo 19, se procede a realizar un resumen de esta en la Tabla 9, la cual muestra la producción, número de trabajadores, contratación, despidos, inventario existente e inventario agotado por mes, para que el costo total de este plan para el año 2019 sea de \$ 198.052,50.

Mes	Producción	Trabajadores	Contratación	Despido	Inventario	Faltantes
Enero	150	25	0	5	4	0
Febrero	115	23	0	2	4	0
Marzo	115	23	0	0	0	1
Abril	136	23	0	0	12	0
Mayo	138	23	0	0	2	0
Junio	120	24	1	0	6	0
Julio	144	24	0	0	0	0
Agosto	144	24	0	0	22	0
Septiembre	115	23	0	1	17	0
Octubre	138	23	0	0	5	0
Noviembre	115	23	0	0	0	0
Diciembre	120	20	0	3	0	0
Costo total			198.052,50			

Tabla 9. Datos de producción proceso de ensamble del Modelo M4, 2019.

IV. DISCUSION

Revisando la bibliografía, se registra estudios sobre modelos estadísticos y matemáticos aplicados en el área de textil (cuero), forestal y alimenticio (24).

Según (25), en la investigación que tuvo como propósito modelar el raleo en plantaciones de Pinus caribaea utilizando la programación lineal como herramienta matemática y considerando como restricciones económicas el presupuesto y

el combustible asignado a la empresa. Para ello se trabajó con datos obtenidos del Proyecto de Ordenación de la Unidad Silvícola San Juan y Martínez, perteneciente a la Empresa Agroforestal Pinar del Río – Cuba. La muestra se seleccionó a partir de los rodales que tenían manejo recomendado. El modelo matemático obtenido planifica los raleos en un total de 30 meses con las cantidades óptimas de combustible y presupuesto a emplear para ello, de modo que se maximice el número de rodales a ralear en la unidad silvícola. Considerando los resultados del modelo, la actividad se realizaría en dos años y seis meses, con un consumo total de 973,2 litros de combustible y \$ 298 708,74 de presupuesto. Además, ordena los rodales que debe recibir el tratamiento silvicultural, mostrando el tipo de raleo y el orden de este, de modo que se optimice la actividad forestal (25).

Según (23), en su trabajo que estudió la cadena de suministro tomando como referencia el sector productivo de neumáticos en Ecuador, mediante la utilización de un modelo de Programación Lineal Entera Mixta. Concluyeron que: para el diseño de un modelo estadístico para la cadena de suministro; fue trascendental la determinación de la cantidad de materias primas que deben ser entregadas, así como que proveedores deben suministrar a la planta, basados en la demanda de cada producto. Adicionalmente se debió tomar en cuenta que para el diseño de un modelo se deberá plantear diferentes escenarios; en un escenario optimista se sugiere la ampliación de las zonas de consumo debido a que varios centros de distribución convergen en algunos sectores, el modelo conservador indica que los centros de distribución son óptimos, mientras que el escenario pesimista requiere la instalación de más centros de distribución. Por otra parte, se realiza el diseño de la red, en donde se puede observar la aplicación del enfoque de Distribuidor Único, ya que cada centro de distribución cubre determinadas zonas, de esta manera se consigue cubrir la demanda de la empresa en todas las zonas de consumo, evitando duplicidad de esfuerzos y recursos. El resultado final del estudio puede ser descrito como el desarrollo de un modelo matemático que permite identificar la mejor composición de la red logística, analizando diferentes escenarios, por lo que estos modelos pueden ser

adaptados a diferentes segmentos de la industria (23).

Como podemos observar en los resultados expuestos en los puntos anteriores y comparando con investigaciones similares, las empresas han logrado reducciones significativas en los costos de producción, los inventarios, costos de compra, costos de calidad y lead time aplicando modelos matemáticos, como es el caso de investigación con el tema “Modelo matemático para la planificación de la producción del sector cuero en la parroquia de Quisapincha” (5).

En esta investigación presentamos un modelo matemático para minimizar los costos de los parámetros inmersos en la producción como son: costo de un trabajador por mes, costo de contratar y capacitar un trabajador, costo de despedir un trabajador, costo de mantener el inventario, y costo del inventario agotado.

Con el Modelo propuesto se logra optimizar el talento Humano en función del número de unidades planificadas a producir por mes para satisfacer la demanda del mercado, con un ahorro de \$ 699,84 por trabajador, minimizando los costos de contratar y despedir un trabajador, reduciendo de esta manera los costos de producción mensual, frente al esquema anterior estos costos no se visualizaban, manteniendo el mismo número de trabajadores para producciones altas y bajas. Optimizando los recursos, con la capacidad instalada de la planta, aplicando el software matemático Lingo 19, para el modelo matemático propuesto, ahora podemos conocer el costo de

producción total anual que es de \$ 198.052,50.

V. CONCLUSIONES

El diseño del Modelo Matemático se inicia considerando un número de treinta (30) operarios, por lo que entre las ventajas del modelo y en base al plan de producción, el programa Lingo 19, determina si se contrata o se despide trabajadores, teniendo en cuenta el inventario existente y el agotamiento de inventario, de este modo, podemos saber cuál sería el costo para una determinada producción optimizando los recursos al máximo, lo que anteriormente no lo sabíamos.

El modelo matemático nos permite determina el número de trabajadores en función de la producción, optimizando de esta manera este recurso, es decir para una producción mensual de 144 unidades del Modelo M4, se requiere de 24 trabajadores, con un ahorro de \$ 699,84 por trabajador al mes. Si bien es cierto, como podemos observar, una limitación de este modelo es estar diseñado para minimizar los costos para una producción de un año.

Para este caso en particular de la empresa Ciauto Cia Ltda., con una producción de seis (6) unidades del Modelo M4 por día, el costo de producción total al año es de \$ 198.052,50. Para ello, aplicando el software Estadístico Lingo 19 se determinó las constantes del Modelo Matemático de Programación Lineal para minimizar los costos de producción del Modelo M4. (Función Objetivo).

Referencias

1. Aguado, M. Modelo de mejora eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado través de procesos de innovación ambiental. vol 2. 33era ed. Madrid: UNED; 2015
2. Benavides-Pazmiño M. Aplicación del modelo econométrico de SOLOW para el diagnóstico de la productividad por el uso de la tecnología en las PYMES del sector textil del Ecuador [tesis]. Quito: EPN; 2016. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16578/1/CD-7235.pdf>
3. Álvarez R. Metodología de la investigación: Operacionalización de Variables. Vol 2. 2da. ed. Medellín: McGraw-Hill; 2012.
4. Camino M, Estimación de una función de producción y análisis de la productividad: el sector de innovación global en mercados locales. Estudios Gerenciales [Internet]. 2017 [citado 10 febrero 2021]; 33 (145). 400-411. Disponible en: doi:<https://doi.org/10.1016/j.estger.2017.10.004>
5. Ortiz-Zurita J. Modelo matemático para la planificación de la producción del sector Cuero en la parroquia de Quisapincha [tesis]. Ambato: UTA; 2017.
6. Huang, Z., Kim, J., Sadri, A., Dowe, S., Dargusch, M. Industry 4.0: Development of a multi-agent system for dynamic value stream mapping in SMEs. Journal of Manufacturing Systems [Internet]. 2019 [citado 03 marzo 2021]; 52: 1-12. Disponible en: doi:<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.05.001>
7. Escobar S. Modelo de estimación estadística «Programa Inclusión Productiva» MIPRO-Ecuador.

- Retos. Revista de Ciencias de la Administración y Economía [Internet]. 2019 [citado 10 marzo 2021]; 9: 303-325. Disponible en: doi:[https://doi.org/ 10.17163/ret.n18.2019.08](https://doi.org/10.17163/ret.n18.2019.08)
8. García, E. Herramientas de la planificación de la producción empresarial. Vol 2. 2da ed. Lima: Gestipolis; 2011.
 9. Espinosa C, Muyulema J, Sánchez R, Usca R. Los retos sostenibilistas de las Pymes textiles de la provincia de Tungurahua – Ecuador. Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica – RIIIT. 2019; 1: 1-19.
 10. González R, Moreno M. Procedimiento para implementación de un sistema de gestión de costos de calidad. Ciencias Holguín. 2015; 4: 1-17.
 11. Zotelo R, Mula J, Díaz M, González G. Plan maestro de producción basado en programación lineal entera para una empresa de productos químicos. Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa [Internet]. 2017 [citado 12 marzo 2021]; 24: 147-168. Disponible en: doi:<http://hdl.handle.net/10419/195385>
 12. Jaegler Y, Burlat P, Lamouri S, Trentesaux D. The ConWip production control system: a systematic review and classification. Revista Internacional de Investigación de Producción. [Internet]. 2018 [citado 04 marzo 2021]; 17: 5736-5757. Disponible en: doi:<https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1380325>
 13. Rodríguez L, Loyo J, López M, González J. Simulación dinámica de un sistema de producción retroalimentado Ingeniería Industrial. Ingeniería Industrial. 2019; 2: 171-182.
 14. Vargas J, Muratalla G, Jiménez M. Sistemas de producción competitivos mediante la implementación de la herramienta lean manufacturing. Ciencias Administrativas. 2018 1: 1-21.
 15. Sablón N, Orozco E, Lomas C, Montero Y. Plan maestro de producción de una empresa textil. Caso de estudio de Imbabura, Ecuador. EPISTEME. Revista digital de Ciencia, Tecnología e Innovación. 2018; 4: 448-462.
 16. Zamora J, Eguía A. Modelo de Gestión Empresarial Balanced Scorecard. TECTZAPIC. Revista de divulgación científica y tecnológica. 2015; 1; 94-98.
 17. Gunaki T, Siddiqui F. A Review Paper on Productivity Improvement by Value Stream Mapping. Journal of Emerging Technologies and Innovative. Research. JETIR. 2015; 2: 1119-1124.
 18. Gutiérrez H. Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma. Vol 1. 3era. ed. México D. F: McGraw-Hill; 2013
 19. Karam A, Liviu M, Veres C, Radu H. The contribution of lean manufacturing tools to changeover time decrease in the pharmaceutical industry. A SMED projec. Procedia Manufacturing. [Internet]. 2018 [citado 09 marzo 2021]; 22: 886-892. Disponible en: doi:<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.125>
 20. Boiteux O, Forradella R, Palma R, Guiñazu H. Modelo Matemático Para la Planificación Agregada de la producción de Impsa. IJIE [Internet]. 2010 [citado 04 febrero 2021]; 2: 90-112. Disponible en: http://incubadora.periodicos.ufsc.br/index.php/IJIE/article/viewFile/622/pdf_93
 21. Montgomery. Diseño y análisis de experimentos. Vol 2. 2da. ed. Arizona: Limusa Wiley; 2004
 22. Bautista J, Batet L, Mateo M. Minimización del coste de almacenaje de combustible nuclear gastado en cápsulas MPC-32 con programación lineal entera mixta: Caso de carga en una etapa. [tesis doctoral]. México: UPC; 2020.
 23. Campoverde A, Romero A, Naula B, Loyola M, Coronel T. (2019). Aplicación de un modelo matemático para el diseño de la cadena de suministro en el sector de neumáticos en Ecuador. Espacios [Internet]. 2019 [citado 13 marzo 2021]; 13: 10-21.
 24. Hernández R, Fernández C, Baptista M. Metodología de la Investigación. Vol 2. 6ta ed. México D.F. : McGraw-Hill; 2014
 25. Castillo B, Aguirre Z. Modelación del raleo mediante el uso de la programación lineal en plantaciones de Pinus caribaea Morelet de la Empresa Agroforestal Pinar del Río, Cuba. Arnaldoa [Internet]. 2018 [citado 16 febrero 2021]; 2: 597-614. Disponible en: doi:<http://doi.org/10.22497/arnaldoa.252.25215>





Perfiles

