



FIGMIPA

Investigación y Desarrollo

Universidad Central del Ecuador
FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL
AÑO 2019/ VOLUMEN 1 / NÚMERO 2
QUITO - ECUADOR



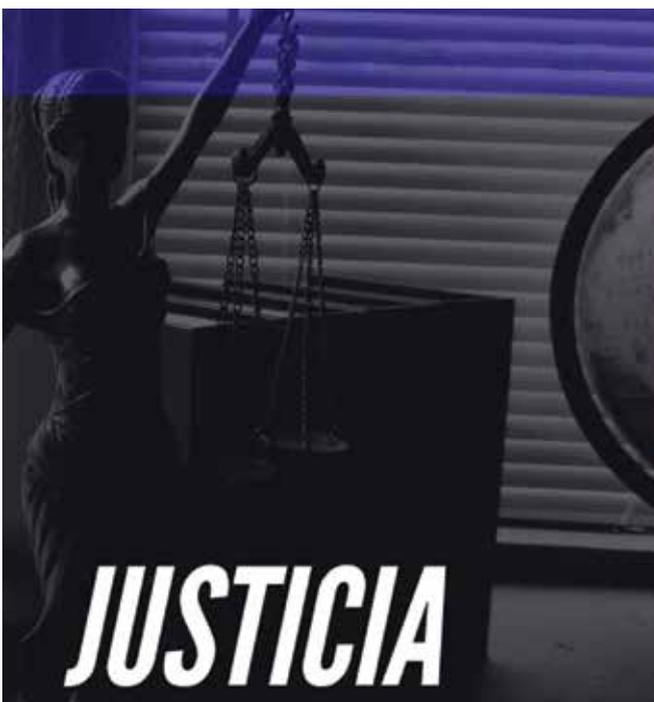
VALORES Y PRINCIPIOS

Los valores son todos aquellos que guían el quehacer y la cotidianidad de la Revista, sus autoridades, directivos, revisores y autores, que les permiten ser un referente nacional e internacional de las publicaciones técnicas, en las áreas de competencia.



Son los vínculos colectivos que se construyen día a día bajo la herencia histórica del rol de la Institución y que se expresa en un pensamiento crítico, responsable, participativo y académico de alto nivel.

PERTENENCIA



Es toda acción que hace florecer la ciencia, la verdad y la sinceridad, promoviendo la equidad e igualdad con libertad, paz, democracia y tolerancia.

JUSTICIA



PETROAMAZONAS EP

La empresa petrolera

LÍDER EN ECUADOR

Ciencia, tecnología y talento humano en el desarrollo hidrocarburífero del país

Síguenos!

Petroamazonas EP



FIGEMPA: Investigación y Desarrollo / ISSN: 2602-8484 / ISSN: 1390-7042/ año 2019 / Volumen 1 / Número 2 / Quito, diciembre 2019 / Periodicidad semestral

Revista Científica Indexada y registrada en Latindex 2.0., MIAR, ROAD, CITEFACTOR, REDIB, ACTUALIDAD IBEROAMERICANA, DOAJ.

La revista FIGEMPA Investigación y Desarrollo está destinada a la difusión de resultados de investigaciones y estudios técnicos realizados por profesores, profesionales y estudiantes de grado y posgrado de la Universidad y expertos nacionales e internacionales en áreas vinculadas a Ciencias de la Ingeniería, Ciencias Exactas y Naturales, Energía, Geología, Ingeniería Minera, Ingeniería Petrolera, Tecnología, Ciencias de la Tierra, Investigación, Seguridad y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales no renovables.

Los criterios vertidos en los artículos son de estricta responsabilidad de sus autores y no reflejan necesariamente el pensamiento de la revista.

PRODUCCIÓN: FIGEMPA

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN: Globalcorp - Juan Centeno

PORTADA: Globalcorp, Juan Centeno

CORRECCIÓN DE ESTILO: Globalcorp, Sandra Mosquera

COMERCIALIZACIÓN: Globalcorp, Deyssi Mosquera

FOTOGRAFÍA: Pixabay, Pexels

IMPRESIÓN: GLOBALCORP (2590084 - 2534564)

En la Portada ▶

La tendencia mundial es una correspondencia entre el aprovechamiento eficiente de recursos naturales y el desarrollo que permita enfrentar los desafíos de proveer alimento, agua y energía para permitirle a toda la población una vida digna. En los últimos años el uso de recursos naturales ha generado un fuerte debate, en el cual no se ha entendido bien que la tecnología es mucho más que sus aplicaciones prácticas, es el resultado del edificio conceptual de la ciencia; por lo tanto, es una obra colectiva cultural que, localmente, aprende del entorno y aprovecha los recursos sin rupturas del tejido social.

Es nuestro sentir que las tecnologías aplicadas a los recursos naturales desarrollan un espacio centrado en el conocimiento de los recursos naturales, y el manejo de herramientas técnicas que contribuyen a utilizar estos recursos, dentro de un margen de desarrollo sostenible. Los recursos naturales son los elementos de la naturaleza que el hombre puede utilizar y aprovechar. Representan, además, fuentes de riqueza para la explotación económica. Por ejemplo: los minerales, el suelo, los animales y las plantas constituyen recursos naturales que el hombre puede utilizar directamente como fuentes para esta explotación. De igual forma, los combustibles, el viento y el agua pueden ser utilizados como recursos naturales hacia la producción de energía. Pero la mejor utilización de un recurso natural depende del conocimiento que el hombre tenga al respecto, y de las leyes que rigen la conservación de la megadiversidad de nuestro país.



REVISTA “FIGEMPA: Investigación y Desarrollo”

GENERALIDADES REVISTA:

Nombre: FIGEMPA Investigación y Desarrollo Año 2019, VOL 1, No. 2

Frecuencia: Semestral

ISSN i: 1390 – 7042

ISSN e: 2602-8484

Ciudad: Quito – Ecuador

Año de Inicio: 2000

Idioma: Español

E mail: revista.figempa@uce.edu.ec

Web: <http://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/RevFIG>

CUERPO EDITORIAL

DIRECTOR REVISTA

NOMBRE	INSTITUCIÓN	CARGO	CORREO
Ing. Gustavo Pinto Arteaga, Mgtr.	FIGEMPA	DIRECTOR – EDITOR GENERAL	grpinto@uce.edu.ec grpa54@yahoo.es

CONSEJO EDITORIAL

Ph.D. Félix Andueza Leal	Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental - UCE - Ecuador	Asesor Científico	fdandueza@uce.edu.ec felixandueza@hotmail.com
Ph.D. Carolina Bernal Carrera	Escuela Politécnica Nacional - Ecuador	Coordinador Minas	isabel.bernal@epn.edu.ec
Ph. D. Susana Cadena Vela	Facultad de Ciencias Administrativas - UCE - Ecuador	Asesora Tecnológica	scadena@uce.edu.ec
Ph.D. Miguel Cazorla Quevedo	Universidad de Alicante – España	Coordinador Tecnología	miguel.cazorla@ua.es
Ph.D. Arturo Egúez Delgado	Escuela Politécnica Nacional - Ecuador	Coordinador Geología	arturo.eguez@epn.edu.ec
Ph.D. Ernesto De La Torre Chauvín	Escuela Politécnica Nacional - Ecuador	Coordinador Procesos	ernesto.delatorre@epn.edu.ec
Ph.D. Gerardo Medina Ramírez	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo - Ecuador	Asesor Científico	gerardo.medina@epoch.edu.ec
Ph.D. Alicia Ramírez Orellana	Universidad de Almería - España	Economista En Energía	aramirez@ual.es
Ph.D. José Rosero	Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas Y Matemáticas - UCE - Ecuador	Coordinador Ciencias Exactas	jarosero@uce.edu.ec
Ph.D. Ovadia Shoham	Universidad de Tulsa - USA	Asesor En Hidrocarburos	ovadia-shoham@utulsa.edu
Dr. Juan Solano Mora	Consultor - Ecuador	Secretario De Redacción	solmor37@hotmail.com
Ing. Francisco Viteri Santamaría, M.Sc.	Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental - UCE - Ecuador	Editor Asociado	frviteri@uce.edu.ec
Ph.D. Johnny Zambrano	Escuela Politécnica Nacional - Ecuador	Coordinador Hidrocarburos	johnny.zambrano@epn.edu.ec

COMITÉ DE ÉTICA

NOMBRE	INSTITUCIÓN	CORREO
Ing. Gustavo Pinto Arteaga, Mgtr.	FIGEMPA - UCE	grpinto@uce.edu.ec grpa54@yahoo.es
Dr. Marco González Escudero, M.Sc.	FIGEMPA - UCE	magonzalez@uce.edu.ec magonzalesro@hotmail.com
Ph.D. José Rosero	Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemáticas - UCE	jarosero@uce.edu.ec
Dr. Jorge Ortiz Herrera	FIGEMPA - UCE	jdortiz@uce.edu.ec
Ing. Susana Cadena Vela, M.Sc.	Facultad de Ciencias Administrativas - UCE	scadena@uce.edu.ec
Ph.D. Xavier Lastra Bravo	Facultad de Ciencias Agrícolas - UCE	xblastra@uce.edu.ec

COMITÉ EDITOR

NOMBRE	INSTITUCIÓN	CORREO
Ing. Gustavo Pinto Arteaga	FIGEMPA - UCE	grpinto@uce.edu.ec
Dr. Marco González Escudero, M.Sc.	FIGEMPA - UCE	magonzalez@uce.edu.ec magonzalesro@hotmail.com
Lic. Christian Ortiz Villarreal	Consultor Independiente	khryss2406@gmail.com
Gabriel Armas Arroba	FIGEMPA - UCE	ggarmas@uce.edu.ec

COMITÉ CIENTÍFICO

NOMBRE	INSTITUCIÓN	CORREO
Ing. Ernesto de la Torre, Ph.D.	Escuela Politécnica Nacional	ernesto.delatorre@epn.edu.ec
Ing. Johnny Zambrano, Ph.D.	Escuela Politécnica Nacional	johnny.zambrano@epn.edu.ec
Ph.D. Carolina Bernal Carrera	Escuela Politécnica Nacional	Isabel.bernal@epn.edu.ec
Ing. Boroshilv Castro Merizalde, M.Sc.	Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemáticas - UCE	gbc_m_2006@yahoo.com gbcastro@uce.edu.ec
Dr. Fernando Novillo Logroño, Ph.D.	Facultad Ciencias Químicas - UCE	fnovillo@uce.edu.ec
Ing. Alberto Castillo, M.Sc.	Consultor Independiente	albertocastillo2@gmail.com
Dr. Ovadia Shoham, Ph.D.	Tulsa University, USA	ovadia-shoham@utulsa.edu
Dr. Félix Andueza Leal, Ph.D.	FIGEMPA - UCE	fdandueza@uce.edu.ec felixandueza@hotmail.com
Dr. Jorge Ortiz Herrera	FIGEMPA - UCE	jdortiz@uce.edu.ec

COMITÉ ASESOR

NOMBRE	INSTITUCIÓN	CORREO
Ing. Susana Cadena Vela, M.Sc.	Facultad de Administración - UCE	scadena@uce.edu.ec
Ph.D. Carolina Bernal Carrera	Escuela Politécnica Nacional	Isabel.bernal@epn.edu.ec
Ing. Manuel Cazorla, Ph.D.	Universidad De Alicante - España	miguel.cazorla@ua.es
Ing. Daniel Philco C., M.Sc.	Consultor Independiente	danelo99@yahoo.ca
Ing. Fernando Reyes Cisneros, Mgtr.	Consultor Independiente	Rrramirofer9@gmail.com

COMITÉ INTERNACIONAL

NOMBRE	INSTITUCIÓN
Ing. Ovadia Shoham, Ph.D.	Tulsa University, USA
Ing. Jhon Bolaños, Ph.D.	Consultor, Ecuador
Ing. Jorge Romero, Ph.D.	Universidad de Atacama, Chile

EVALUADORES PARES INTERNOS FIGEMPA

NOMBRE	CORREO
Ing. Marlon Ponce Zambrano, M.Sc.	mrponce@uce.edu.ec
Dr. Carlos Ordoñez Campain, M.Sc.	cordonez@uce.edu.ec
Ing. Luis Villacís Buenaño, M.Sc.	lfvillacis@uce.edu.ec
Ing. Galo Albán Soria, M.Sc.	gfalban@uce.edu.ec
Ing. Gustavo Pinto Arteaga, Mgtr.	grpinto@uce.edu.ec
Quím. Bolívar Enríquez Vallejo, Mgtr.	bgenriquez@uce.edu.ec
Ing. Nelson Suquilanda Duque, Dipl. Sup.	nhsuquilanda@uce.edu.ec
Ing. Marcelo Llerena Carrera, Mgtr.	marcelollerena@gmail.com
Ing. Fernando Lucero Calvache, M.Sc.	falucero@uce.edu.ec
Ing. David Carrera Villacrés, Ph.D.	dvcarrera@uce.edu.ec
Ing. Susana Arciniegas Ortega, MC.	srarciniegas@uce.edu.ec
Ing. Ramiro Guerrón Varela, M.Sc.	erguerron@uce.edu.ec
Ing. César Chávez O., Ph.D.	cachavezo@uce.edu.ec
Dr. Félix Andueza, Ph.D.	fdandueza@uce.edu.ec

EVALUADORES PARES EXTERNOS

NOMBRE	INSTITUCIÓN	CORREO
Dr. Antonio García Amate	Universidad de Almería – España	aga237@inlumine.ual.es
Ing. Jorge Erazo B., Mgtr.	Consultor Independiente	jorgeerazob@yahoo.com
Dr. Fernando Novillo, Ph.D.	Facultad de Ciencias Químicas	fnovillo@uce.edu.ec
Ing. Johnny Zambrano, Ph.D.	Escuela Politécnica Nacional	johnny.zambrano@epn.edu.ec
Ph.D. Carolina Bernal C.	Escuela Politécnica Nacional	Isabel.bernal@epn.edu.ec
Ing. Marco Rosero, M.Sc.	Facultad de Ingeniería Química	mvrosero@uce.edu.ec
Ing. Miguel Cazorla, Ph.D.	Universidad de Alicante – España	miguel.cazorla@ua.es
Ing. Luis Mejía Vallejo, M.Sc.	Consultor Independiente	luismejiavallejo@gmail.com
Ing. Christian Vallejo, Ph.D.	Consultor Independiente	cristian.vallejo@geostrats.com
Ing. Jaime Gutiérrez, M.Sc.	Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemáticas	jhgutierrez@uce.edu.ec
Ing. Daniel Philco C., M.Sc.	Consultor Independiente	danelo99@yahoo.ca
Ing. Boroshilv Castro, M.Sc.	Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas Y Matemáticas	gbcm_2006@yahoo.com
Ing. Alberto Castillo, M.Sc.	Consultor Independiente	albertocastillo2@gmail.com
Ing. Ernesto de la Torre, M.Sc.	Escuela Politécnica Nacional	Ernesto.delatorre@epn.edu.ec
Ing. Pablo Dejavyan, Ph.D.	Universidad Nacional de Chimborazo, UNACH	pdjabayan@gmail.com
Ing. Gerardo Medina, Ph.D.	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH	medinag47@gmail.com
Ing. Pedro Almagro B., Ph.D.	Grupo de Modelado de Sistemas Complejo	palmagro@uce.edu.ec palmagroblanco@googlemail.com
Ing. René Ayala, M.Sc.	Fundación FERLAT	rayala@ferlat.org
Ing. Roberth Enríquez, M.Sc.	Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemáticas	renriquez@uce.edu.ec
Dr. Moisés Logroño, M.Sc.	Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación	rlogrono@uce.edu.ec moiseslogrono@yahoo.com
Dr. Fabián Rodríguez, Ph.D.	Universidad de Las Fuerzas Armadas – ESPE	ffrodriguez3@espe.edu.ec
Ing. Lucía Jiménez, M.Sc.	Universidad de Las Fuerzas Armadas – ESPE	lejimenez@espe.edu.ec
Ing. Sabino Menolasina, Ph.D.	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH	menolasina1960@gmail.com
Ing. Edwin León, M.Sc.	INIGEM	edwin.leon@geoinvestigacion.gob.ec
Econ. Bernardo Brito	Consultor Independiente	bernardo.brito@geostrats.com
Ing. Jorge Viteri Moya, M.Sc.	Facultad de Ingeniería Química	rviteri@uce.edu.ec viterim@hotmail.com
Ing. Ana Gabriela Haro, Ph.D.	Universidad de Las Fuerzas Armadas – ESPE	agharo@espe.edu.ec
Ing. Pablo Caiza Sánchez, Ph.D.	Universidad de Las Fuerzas Armadas – ESPE	pcaiza1@espe.edu.ec
Ing. Carlos Ortega Tejada, M.Sc.	Facultad de Ciencias Agrícolas	caortega@uce.edu.ec
Bioquim. Maggy Díaz A., MSGA.	Facultad de Ciencias Agrícolas	madias@uce.edu.ec
Ing. Xavier Lastra Bravo, Ph.D.	Facultad de Ciencias Agrícolas	xblastra@uce.edu.ec
Ec. Antonio Rea Toapanta, M.Sc.	Facultad de Ciencias Económicas	Arrea@uce.edu.ec
Phd. Jenny Martínez, M.Sc.	Facultad de Cultura Física	jemartinez@uce.edu.ec
Dra. Liliana Araujo	Universidad Nacional de Chimborazo, UNACH	lilianaaraujob@gmail.com

ÍNDICE

	El camino del investigador	09
	Editorial	10
Optimización del tiempo de proceso en el reacondicionamiento de pozos en un campo de la Cuenca Oriente ecuatoriana aplicando herramientas de mejoramiento continuo		11
Aplicación de tecnología ácida no corrosiva biodegradable para limpieza de pozos petroleros en Cuenca Oriente		17
Diseño de una planta piloto de extracción de pectina como gelificante a partir de residuos de la naranja. (Citrus Sinensis)		23
Análisis químico y de peligrosidad de lodos del sistema de tratamiento de aguas residuales en la industria de palma		30
Desarrollo y evaluación preliminar de un índice climático simple para detección estacional de incendios forestales para Victoria, Australia		39
Determinación de factores que afectan la medición de los niveles de ruido y aislamiento acústico en una cabina insonorizada para autopartes		52
Problemáticas en la función docente desde la perspectiva del profesorado novel universitario		66



Honorable Consejo Directivo 2019

Parados izquierda a derecha: Sr. Robert Aldás, Ing. Galo Albán, Dr. Félix Andueza, Ing. Byron Guerrero, Sr. Luis Soria, Ing. Francisco Viteri, MSc. Oswaldo Espín.
 Sentados de izquierda a derecha: Srta. Andrea Monroy, Dra. Sully Rodríguez, Ing. Danny Burbano, Quim. Bolívar Enríquez, Ing. Teresa Palacios, Ing. Gustavo Pinto, Dra. Ruth Recalde, Tgla. Aracely Borja, Ing. Marlon Ponce, Ing. Elías Ibadango, Sra. Juana Tulcanaza.

FIGEMPA: Investigación y Desarrollo 2019 / VOLUMEN 1 / NÚMERO 2 / PERIODICIDAD SEMESTRAL / ISSN: 2602-8484 / ISSN: 1390-7042 / QUITO / AÑO DE INICIO: 2000 / IDIOMA: ESPAÑOL /

Información para autores: <http://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/RevFig/information/authors>

URL: <http://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/RevFig>

Dirección: Ciudadela Universitaria, calle Jerónimo Leyton y Gatto Sobral

Teléfonos: (593-02) 2550-588 (593-02) 2566 - 226 **ext:** 118 / (593 9) 98776225
 Quito-Ecuador

EL CAMINO DEL INVESTIGADOR



Dr. Jorge Ortiz Herrera, MSc.
SUBDECANO

Para lograr el conocimiento no basta con transmitirlo, hay que estudiarlo, actualizarlo, en resumen descubrirlo. La sociedad garantizará su progreso si garantiza el desarrollo del conocimiento.

Son las universidades y los centros de investigación los obligados a trabajar en el descubrimiento del conocimiento, su responsabilidad que nace en la sociedad a través del estado y sus requerimientos termina en la aplicación de soluciones que se encuentren para la mejora de vida de esa sociedad y su entorno.

Es ahí donde los investigadores encuentran el rumbo a su quehacer, puesto que con su accionar (y solo con él) las instituciones encargadas del desarrollo del conocimiento pueden cumplir con su deber ser.

Sin embargo, es necesario contestar a preguntas como: ¿qué hace el investigador?, ¿qué lo motiva?, ¿hacia dónde va?.

El investigador está equipado con el método científico, con una sólida formación científica en su área de estudios y una envidiable cantera de hipótesis; la sinergia de estos elementos se confabula para otorgarle esa magnífica posibilidad de demostrar o negar las afirmaciones planteadas en las premisas iniciales. El rigor en el manejo de la ciencia y del método son la garantía de un buen resultado y su aplicación.

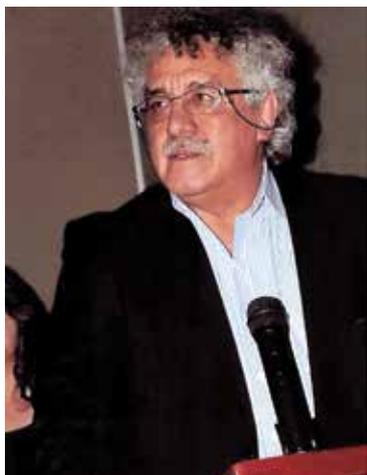
El desafío por descubrir y explicar al mundo se convierte en la fuente inagotable de cuestiones a las cuales el investigador se enfrenta y de forma

similar al escalador, el académico busca la cima del conocimiento. El ser humano por naturaleza es curioso y esa necesidad de explicarse el funcionamiento de todo lo que le rodea es la chispa del conocimiento, vale dimensionar como la chispa de la explosión de la sabiduría. En países cuyos antecedentes en educación e investigación son limitados, el sistema educativo no siempre entiende aquello y postra las intenciones de la búsqueda del conocimiento, limitándose a la reproducción de teorías que en el primer mundo incluso fueron superadas. Por tanto, la educación superior necesita de docentes-investigadores que regresen la curiosidad de sus estudiantes y que asuman con rigurosidad las herramientas para el descubrimiento.

Con la concreción de programas, planes y proyectos de investigación se garantiza exista una generación de científicos que reformulen la estructura social y de su entorno. Que se genere una cultura del conocimiento, del conocimiento nuevo, de instituciones de investigación y universidades serias y comprometidas con el desarrollo y con proyección en el tiempo y espacio. La publicación científica, actividad no menos importante, pero en sí mismo no es el fin de la investigación, más si en convertirse en el gran almanaque de la mejora científica en todas las áreas del conocimiento.

Es deber de las publicaciones académicas y de la Revista "FIGEMPA: Investigación y Desarrollo", el ser un vector impulsor del conocimiento, invito a sus autores a comprometerse en este sentido para sumar al deber ser de la Academia y no solo sumar en las estadísticas de los famosos papers.

EDITORIAL



TECNOLOGÍA Y RECURSOS NATURALES

Ing. Gustavo Pinto Arteaga, Mgtr.
DECANO

Uno de los principales debates vigentes a nivel mundial es sin duda la relación entre el aprovechamiento eficiente de recursos naturales, el desarrollo sustentable y el repunte de la tecnología, pues el uso de la misma en la explotación de estos recursos, en muchos de los casos contribuye al deterioro del ambiente.

La tecnología en su sentido más amplio es resultado del desarrollo entendido como el avance y la aplicación de estudios e investigaciones y es una obra colectiva. En la mayoría de casos, el uso de la tecnología ha traído consigo el avance en los modos de producción y mejora en la calidad de vida. Lo que debemos cuestionarnos es hasta qué punto la tecnología es agresiva con el ambiente.

Debemos tener una visión integral y compartida en el plano mundial de cómo la tecnología está cambiando nuestras vidas y de las generaciones futuras, y de cómo está cambiando el panorama del contexto económico, social, cultural y humano en el cual vivimos. Los retos de la transición digital y la 4ta Revolución Industrial conllevan al esfuerzo de varias partes, no solo de la academia. En consecuencia hay un concepto que se ha acuñado en los últimos años: la ecotecnología, que no es sino la aplicación de tecnologías pensadas desde una visión ecológica, de manera que el planeta no se vea afectado y es, en este sentido, que la investigación que lleva a cabo la Universidad debe enfocarse: buscar soluciones a los problemas de la humanidad, pensando en el entorno, haciendo un aprovechamiento óptimo de las energías disponibles en la naturaleza, sin que su aplicación conlleve el deterioro del ambiente.

Comprender la amplitud de esta nueva revolución; las posibilidades ilimitadas de tener miles de millones de personas conectadas mediante dispositivos móviles (acceso al conocimiento sin precedentes), la confluencia de avances tecnológicos como la inteligencia artificial, la robótica, el internet de las cosas (IoT), vehículos autónomos, impresión 3D, nanotecnología, biotecnología, la ciencia de materiales, el almacenamiento de energía, la computación cuántica, etc. Para conformar un futuro colectivo que refleje los objetivos y valores comunes, es fundamental que pongamos nuestra atención y esfuerzo en la cooperación entre fronteras académicas, sociales, políticas, nacionales y de la industria. Estas interacciones y colaboraciones son necesarias para crear narrativas positivas, comunes y llenas de esperanza, que les permitan a individuos y grupos de todas partes del mundo participar y beneficiarse de las transformaciones actuales. Ese es precisamente uno de los objetivos de FIGEMPA: Investigación y Desarrollo, impulsar y fomentar la investigación y el desarrollo desde una conciencia ecológica que permita un aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, pues la investigación es fundamental en la tarea de disminuir al máximo el impacto que la explotación de recursos causa en el ecosistema. Ciencia, tecnología y ecoética deben ir de la mano para afrontar los desafíos del futuro, con una conciencia que genere tecnología y desarrollo, y que además sea respetuosa con nuestro planeta.

Optimización del tiempo de proceso en el reacondicionamiento de pozos en un campo de la Cuenca Oriente ecuatoriana aplicando herramientas de mejoramiento continuo

ARTÍCULO ORIGINAL

Recibido:
03/09/2019

Aprobado:
29/11/2019

Optimization of process time in the well reconditioning in a basin field Ecuadorian east applying improvement tools continuous

Ruiz Pozo Renán

✉ <https://orcid.org/0000-001-8788-6227>
Petroamazonas
renan_ruiz@petroamazonas.gob.ec

Gallegos Eras Álvaro

✉ <https://orcid.org/0000-0003-4049-858X>
Escuela Politécnica Nacional.
alvaro.gallegos@epn.edu.ec

RESUMEN

El reacondicionamiento de pozos es uno de los procesos más importantes en la industria petrolera, pues permite recuperar o incrementar la producción hidrocarburífera de un pozo petrolero que por condiciones mecánicas o del reservorio, se encuentra produciendo volúmenes menores a su valor óptimo. El reacondicionamiento de pozos de la empresa petrolera estatal Petroamazonas EP en un campo de la Cuenca Oriente ecuatoriana fue analizado con el fin de definir una propuesta de mejoramiento utilizando herramientas de común uso en la Ingeniería industrial. Considerando el punto de vista de los clientes del proceso, se determinó que el parámetro sujeto a mejoramiento es el tiempo. Para determinar las operaciones a ser optimizadas, se recopiló y analizó la información disponible de los reacondicionamientos realizados en el campo petrolero estudiado, desde enero 2015 a enero 2017. Utilizando análisis de Pareto se determinaron dos operaciones a ser sometidas a mejoramiento: Inicialización y Completación. Para estas operaciones se realizaron gráficas de control con el fin de determinar valores fuera de los rangos de tiempo esperados. A los puntos más alejados se les aplicó un análisis causa-efecto con el fin de determinar la causa principal de la falla. Considerando los resultados del análisis, se elaboró una propuesta de mejoramiento del proceso de reacondicionamiento de pozos.

Palabras clave:

Gráficas de control; mejoramiento continuo; proceso de optimización; reacondicionamiento de pozos.

ABSTRACT

Workover of wells is one of the most important processes in the oil industry because it recovers or increases the hydrocarbon production of an oil well that, because of mechanical conditions or the reservoir, is producing volumes less than their optimal value. The workover process of the national oil company Petroamazonas EP in an oilfield in the Ecuadorian Oriente Basin was analyzed in order to define an improvement proposal using tools commonly used in Industrial Engineering. Considering the point of view of the clients of the process, it was determined that the parameter subject to improvement is the time. In order to determine the operations to be optimized, the available information of the workovers made in the oilfield, from January 2015 to January 2017, was collected and analyzed. Using Pareto analysis, two operations to be improved were determined: Initialization and Completion. For these operations, control charts were performed in order to determine values outside the expected ranges of time. At the farthest points a cause-and-effect analysis was applied to determine the main cause of the failure. Considering the results of the analysis, a proposal was developed to improve the workover process.

Keywords:

Control graphics; continuous improvement; optimization process; workover.

INTRODUCCIÓN

En los meses de enero y febrero del año 2016 los precios del petróleo alcanzaron records de valores bajos, que no se habían visto desde el año 2003

(OPEC, 2016, p. 5). La baja de los precios del petróleo que inició en agosto de 2014 puso en primer plano la necesidad de optimizar procesos y reducir los costos operativos de las empresas petroleras a nivel mundial.

A partir del año 2015 se hizo evidente que los precios del petróleo tardarán en recuperarse. En este contexto, adquiere importancia la aplicación de herramientas de mejoramiento continuo, puesto que permiten mejorar las características del producto o servicio, el ahorro de costos por disminución de fallas y la obtención de menores tiempos de ciclo de los procesos (Knowles, 2011, pp. 14-23).

La empresa petrolera estatal ecuatoriana Petroamazonas EP no es ajena a este escenario de precios bajos y restricciones presupuestarias, por lo tanto, ha emprendido acciones tendientes a la reducción de los costos en cada una de sus áreas operativas.

En el año 1982, Edwards Deming publicó un libro cuyo título original en inglés es "Out of the crisis" y su título en español es "Calidad, productividad y competitividad: la salida de la crisis" el cual ha tenido varias ediciones por su incidencia en el mejoramiento de los procesos productivos. El mensaje que deja este libro es que la productividad no tiene que reñirse con la calidad, y que el compromiso con la calidad es el cambio al cual deben orientarse las empresas (Deming, 1986, p. 1). Este mensaje tiene aplicación en los momentos actuales, a pesar de haber sido escrito hace más de 37 años.

El proceso de reacondicionamiento de pozos es parte del macroproceso de producción de petróleo, y consiste en utilizar una torre de reacondicionamiento para realizar trabajos específicos dentro de un pozo petrolero, tales como: cambiar la zona productora, disparar zonas para conectar el reservorio con la tubería de producción, solucionar problemas mecánicos, etc.

Desde enero 2015 a enero 2017, los trabajos de reacondicionamiento realizados por Petroamazonas EP en el campo CBS (1) del Oriente ecuatoriano, tuvieron costos que variaron de 100.000,00 USD a 1'300.000,00 USD por cada trabajo. Uno de los principales rubros de estos montos corresponde al alquiler de la torre de reacondicionamiento, razón por la cual es importante para la empresa optimizar los tiempos de ejecución de las operaciones que forman parte de este proceso.

METODOLOGÍA

El estudio partió de la recopilación de información de los reacondicionamientos realizados por la empresa Petroamazonas EP en el campo CBS desde enero 2015 a enero 2017. La fuente de información principal fueron los documentos y reportes oficiales de las áreas operativas de la empresa Petroamazonas EP que se preparan tanto en las oficinas centrales, como en el

campo.

El reacondicionamiento de pozos es programado por las compañías operadoras, ejecutado por las compañías de servicios y supervisado por el área de operaciones de la empresa operadora y los organismos de control hidrocarburífero. Dada la importancia de este proceso, las compañías operadoras mantienen una base de datos por pozo que incluyen documentos como: solicitud de aprobación del trabajo de reacondicionamiento previo a su ejecución, programa de trabajo propuesto y reporte de resultados luego de realizado el trabajo.

Adicionalmente, el personal operativo del campo lleva un archivo en hoja de cálculo que incluye la descripción de actividades y el tiempo utilizado para cada una de las actividades del reacondicionamiento. Esta información se archiva por pozo, como parte del historial de producción y reacondicionamiento.

La información de todos los reacondicionamientos realizados en el período de estudio fue validada, descartándose datos incompletos o actividades esporádicas que no aportan al objetivo del estudio.

Para realizar la selección de los subprocesos candidatos a optimización, se agruparon las diferentes denominaciones que reciben dichas operaciones y sus respectivas actividades, en denominaciones estándar, a fin de poder compararlas y realizar el análisis estadístico. Una vez definidos los subprocesos estándar, se organizó la información disponible en hojas de cálculo, tabulando las operaciones con sus actividades principales.

Utilizando análisis de Pareto se determinaron las operaciones que tienen un nivel mayor de incidencia en el proceso general de reacondicionamiento y permiten realizar análisis estadísticos de mayor significancia por el número de datos disponibles.

Se determinaron los clientes internos y externos, tomando en cuenta que en este proceso intervienen, directa o indirectamente, personal de las áreas operativas, administrativas y de supervisión. La "voz del cliente" indicó que la característica clave que representa su satisfacción es el tiempo del proceso.

Utilizando el principio de que solo se puede mejorar lo que se puede medir (Pyzdek 2003), se analizaron las mediciones realizadas en los reacondicionamientos de pozos del campo CBS utilizando herramientas de control estadístico de procesos como son las gráficas de control.

Con el fin de determinar tendencias en las gráficas de control se ordenaron los eventos en forma temporal. En el análisis se determina si la gráfica de la serie de tiempo presenta patrones especiales como derivas, ciclos, repeticiones, aplanamientos, y se procedió a determinar los puntos fuera de rango.

En este estudio se utilizó como límites de control de los subprocesos, una desviación estándar a partir de la media de la población. Para determinación de fallas o comportamientos fuera de rango, se tomó en cuenta únicamente el límite superior.

En cada uno de los subprocesos, se seleccionó el punto fuera de rango más alejado del comportamiento esperado, con el objetivo de realizar un análisis causa-efecto, que permita determinar las razones principales del comportamiento anómalo.

Tomando en cuenta el análisis realizado, se preparó una propuesta de mejoramiento, considerando la orientación al mejoramiento continuo y el compromiso con la calidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el período analizado de enero 2015 a enero 2017, Petroamazonas EP realizó 90 trabajos de reacondicionamiento en el campo CBS, de los cuales 61 corresponden a pozos con sistema de levantamiento con bomba eléctrica BES, tal como se muestra en la Figura 1.

De esta información se determinó que el enfoque del análisis debe orientarse a los trabajos de reacondicionamiento realizados en pozos que tienen el sistema de levantamiento tipo BES.

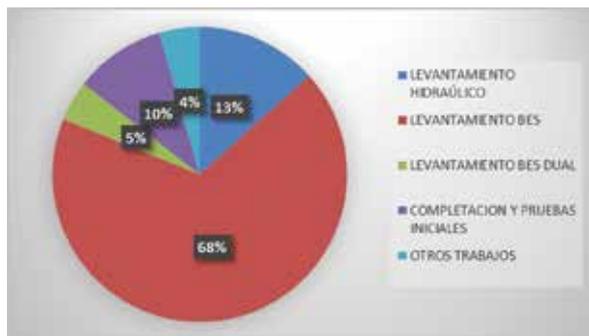


Figura 1. Trabajos de reacondicionamiento realizados en el periodo de análisis

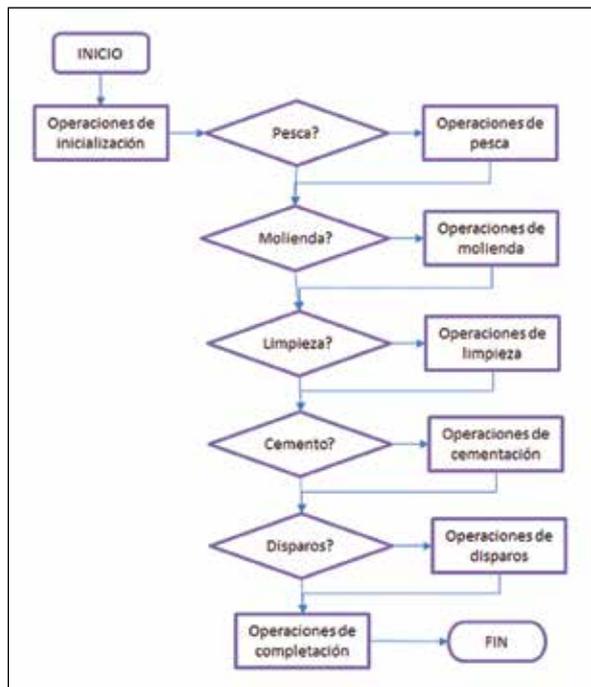


Figura 2. Diagrama de flujo de reacondicionamiento de pozos aplicable a las operaciones de la empresa Petroamazonas EP

En la Figura 2, se muestra un diagrama de flujo típico de un proceso de reacondicionamiento de pozos. Esta secuencia no es la única en las operaciones de reacondicionamiento, pero es la más común.

Los tiempos totales del proceso de reacondicionamiento dependen de las operaciones que se ejecuten. Con esta consideración, el análisis estadístico de tiempos debe orientarse a analizar cada uno de los subprocesos por separado.

En la Figura 3, se presenta la estadística de los trabajos realizados en el período de estudio por tipo de operación, en pozos con levantamiento BES.

Las estadísticas precedentes indican que el análisis debe enfocarse en las operaciones de inicialización, disparos, completación y finalización, las cuales representan, en total, el 78% de las operaciones realizadas. De estas se seleccionaron las operaciones de inicialización y de completación para un análisis mas profundo.

Análisis de Operaciones

a) Operaciones de Inicialización

En la Figura 4, se indica la gráfica de control para operaciones de inicialización. Se toma como "no conformidad" cuando el valor observado sobrepasa el límite superior. Definido el límite superior de control

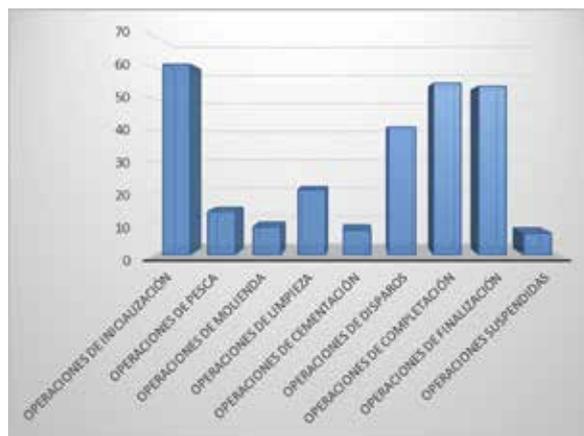


Figura 3. Operaciones realizadas en pozos con levantamiento BES en el periodo enero 2015 a enero 2017 por tipo de operación

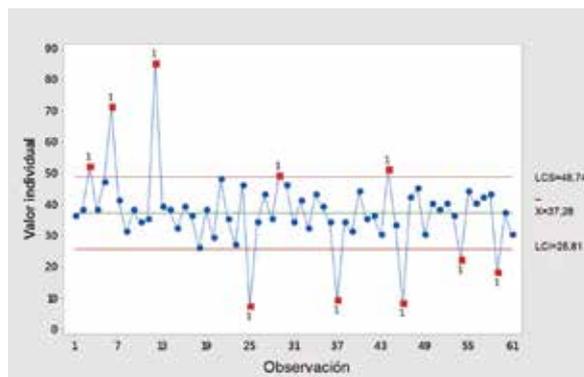


Figura 4. Gráfica de control para operaciones de inicialización

a una desviación estándar a partir de la media, cinco puntos (5 puntos) están fuera del límite establecido.

La Figura 5, muestra el diagrama de Pareto de los tiempos promedios correspondientes a las actividades de Inicialización.

El diagrama muestra que la actividad de mayor consumo de tiempo y a la cual se debe poner mayor atención es sacar la BES del pozo.

En la gráfica de control para operaciones de inicialización se seleccionó el evento que está más alejado de la media, para su análisis. El problema se da en la actividad de recuperación de la BES.

Se realizó un diagrama causa-efecto en el que se describen las causas probables de la demora. En base a la revisión de la información histórica se determinó que la causa de la demora en el proceso, fue que se presentó una rotura de tubería que obligó a realizar trabajos adicionales como acondicionamiento de pescado, molienda y bajada de varios BHA de pesca hasta poder recuperar la BES. El diagrama causa-efecto para demora en la recuperación de la BES se muestra en la Figura 6.

La recomendación en este caso para evitar que se produzca un evento similar el cual implica incremento en tiempo y uso de recursos, es que se debe utilizar tubería de producción nueva tipo A, de acuerdo a la denominación en la industria petrolera, o como alternativa utilizar tubería tipo B, revisada adecuadamente siguiendo la normativa respectiva.

b) Operaciones de Completación

En la Figura 7, se indica la gráfica de control para operaciones de completación, tomando como límites superior e inferior una desviación estándar a partir de la media. Ocho puntos están fuera del límite superior establecido.

La Figura 8, muestra el diagrama de Pareto de los tiempos promedios correspondientes a las actividades de completación.

El diagrama muestra que la actividad de mayor consumo de tiempo y a la que se debe poner mayor atención es la bajada del equipo BES tubo a tubo.

En la gráfica de control para operaciones de completación se han detectado ocho puntos (8 puntos) fuera del límite superior de los cuales se ha seleccionado el que está más alejado para su análisis. Este punto corresponde a un reacondicionamiento realizado en el mes de mayo del 2015.

Se ha preparado un diagrama causa-efecto en el cual se han descrito una serie de posibles causas de la demora. En base a la revisión de la información histórica se determina que la causa de la demora en la operación de completación fue la utilización de una herramienta de torqueo con llave computarizada. El diagrama causa-efecto para demora en la bajada del equipo BES se muestra en la Figura 9.

El torqueo con llave computarizada se da en los casos en que la tubería, debido a su aleación o delicadeza de los acoples, requiere de un torque

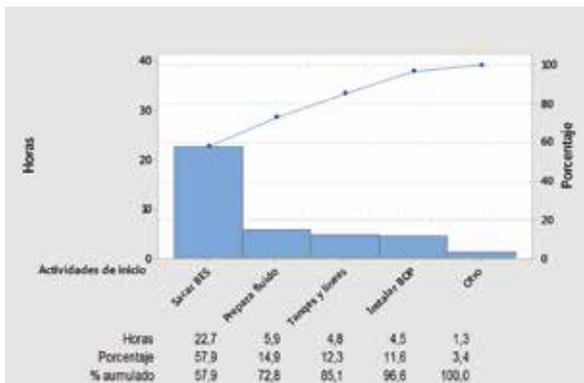


Figura 5. Diagrama de Pareto para actividades de inicialización

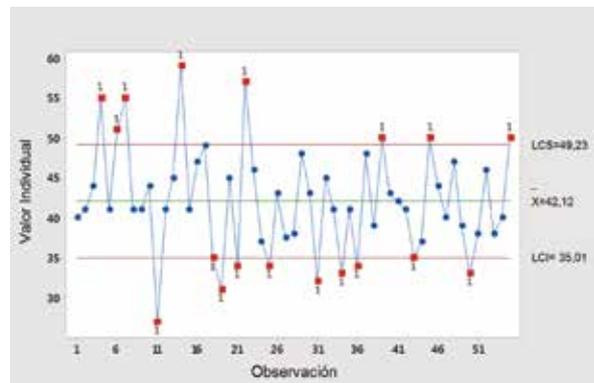


Figura 7. Gráfica de control para operaciones de completación



Figura 6. Diagrama causa-efecto para falla en recuperación de BES

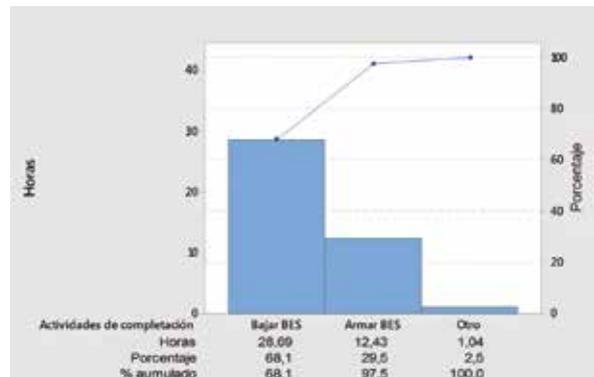


Figura 8. Diagrama de Pareto para actividades de completación



Figura 9. Diagrama causa-efecto para falla en bajada de BES

muy preciso al momento de realizar el acople tubo a tubo. La recomendación para esta situación es exigir una mayor pericia del personal en el acople computarizado para mejorar los tiempos.

Propuesta de Mejoramiento y Control

a) Consideraciones Generales

Las operaciones de reacondicionamiento de pozos es uno de los procesos más importantes en el conjunto de los procesos técnico-operativos de las empresas de producción y exploración petrolera.

En los trabajos de reacondicionamiento es fundamental tener visión de mediano y largo plazo, lo cual significa que se deben realizar las actividades planificadas, con una filosofía de calidad que disminuya la posibilidad de caer en problemas posteriores relacionados con una operación inicial deficiente.

En la implementación de un proyecto de mejora es necesario tomar en cuenta los siguientes factores de éxito: liderazgo, comunicación, reconocimiento, conocimiento y sostenimiento del esfuerzo emprendido.

Liderazgo: el programa debe estar respaldado por la Gerencia General de la empresa y los líderes del proyecto deben ser seleccionados en base a su calificación, comprometimiento y motivación.

Comunicación: Debe ser directa, oportuna y sincera. Solo un proceso transparente permitirá alcanzar los resultados esperados. Si se presentan problemas corresponde analizar sin tapujos a fin de determinar las causas y realizar los correctivos necesarios.

Reconocimiento: Se debe reconocer en primer lugar el alcance y superación de metas planteadas, pero también el esfuerzo realizado para alcanzar los objetivos.

Conocimiento: Es necesario que los participantes en el proceso conozcan las experiencias y camino ya recorrido en otras empresas y tomen contacto con los expertos en el tema, pues todo ello generará motivación y el convencimiento de que se sigue el camino correcto.

Sostenimiento del esfuerzo emprendido: Se debe

tener presente que el camino del mejoramiento no es fácil, que no es una carrera de distancia corta, sino una de largo aliento. El esfuerzo debe mantenerse y superar las dificultades para alcanzar la meta de generar una filosofía de calidad.

b) Plan de Mejoramiento

El programa de mejoramiento tiene tres ejes: Capacitación, compromiso e involucramiento.

Capacitación: El reacondicionamiento de pozos es generalmente tercerizado: la torre de reacondicionamiento y los servicios relacionados son contratados con empresas de servicios petroleros. Por ello, se debe realizar un proceso de capacitación tanto al personal de la compañía operadora como de las compañías contratistas con el fin de que todos los involucrados tengan la misma visión del proceso.

Compromiso: Es imprescindible generar un sentimiento de compromiso con la calidad, tanto en el personal operativo como personal de apoyo. Este compromiso pasa por el concepto de hacerlo bien desde el inicio y con la mirada en el mediano y largo plazo.

Involucramiento: El involucramiento de los niveles gerenciales, al igual que el de los niveles operativos, es fundamental para dar al programa un carácter oficial, de tal manera que todos los involucrados vean al proceso de mejoramiento, como un objetivo estratégico empresarial.

c) Programa de Control

El programa de control se basa en dos ejes principales: Realizar y reportar mediciones de tiempo más detalladas en los procesos petroleros e incorporar los sistemas de control estadístico que se utilizan en otras industrias para detectar fallas y recomendar correcciones. El programa de control propuesto se muestra en la Tabla 1.

Se debe incrementar y reportar de manera oficial mediciones de tiempo más detalladas, sobre todo en las actividades de mayor consumo de tiempo, como son la bajada de BES tubo a tubo, recuperación de BES quebrando y pruebas de producción. Para ello es necesario subdividir estas actividades en etapas que tengan una duración menor.

Como parte de las actividades del campo a más de llevar el control por curvas de tiempo, se debe llevar un sistema de gráficas de control, que permita identificar las actividades que están fuera del estándar. Adicionalmente, los ingenieros de campo tienen que aplicar el análisis causa-efecto, a fin de determinar los motivos por los cuales no se tuvo el desempeño esperado y en base a ello tomar los correctivos necesarios para que se minimice la posibilidad de que vuelva a suceder el evento no deseado.

CONCLUSIONES

- El análisis de los requerimientos de los clientes internos y externos del proceso de reacondicionamiento de pozos, determinó que el parámetro clave que satisface la voz del cliente es el tiempo.

Tabla 1. Programa de control para reacondicionamiento en pozos BES

PROGRAMA DE CONTROL		
Tipo de control	Control	Frecuencia
Controles Generales: mantener los controles actuales	Datos generales del trabajo Sumario de resultados Diagrama después del trabajo Hoja de tiempo del trabajo	Para cada trabajo de WO
Controles de tiempo adicionales	Actividades de alta demanda de tiempo como bajada y subida de BHA, controlada por profundidad: cada 1000 pies	Para cada actividad
Determinación de operaciones fuera de rango	Preparación de gráficas de control por operación	Para cada Operación considerando todos los trabajos del periodo
Análisis de causa raíz durante el proceso	Preparación del diagrama de espina de pescado Determinación de causa raíz	Para cada Operación fuera de rango considerando todos los trabajos del periodo
Estadística transversal de falla de equipo de superficie y fondo: análisis de Pareto	Tubería Packers Fluido de control Cable Generadores Otros	Para todos los trabajos del periodo, considerando proveedor y precios

- El análisis de Pareto aplicado a las operaciones de reacondicionamiento realizadas por Petroamazonas EP en el campo CBS desde enero 2015 a enero 2017, determinó que entre las principales operaciones a ser consideradas en un proceso de mejoramiento están las de inicialización y completación.
- Las gráficas de control indicaron que en las operaciones de inicialización, cinco de los 61 puntos

están fuera de rango. En las operaciones de Completación 8 de los 55 puntos están fuera de rango.

- El análisis causa-efecto realizado a las diferentes operaciones, determinó que las principales causas de falla se deben a mala calidad del material utilizado, falla de equipos de subsuelo y superficie y falta de pericia del personal en operaciones no repetitivas como las de torqueo.
- El estudio indicó la necesidad de aumentar los controles de tiempo en actividades de gran consumo de ese recurso a fin de contar con los datos que permitan determinar acciones de corrección y mejora.
- El programa de mejoramiento planteado permitirá optimizar el proceso de reacondicionamiento de pozos, reduciendo el número de eventos fuera de rango, generando una filosofía de mejoramiento continuo y un compromiso con la calidad.

REFERENCIAS

- Deming, W. E. (1989). Calidad, productividad y competitividad: La salida de la crisis. (J. Nicolau, Trad.) Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos S. A.
- Knowles, G. (2011). Six Sigma. Recuperado el Enero de 2017, de Bookboon.com: ISBN-978-87-7681-852-4.
- OPEC. (2016). Annual Statistical Bulletin 2016. Vienna, Austria: Organization of the Petroleum Exporting Countries.
- Pyzdek, T. (2003). The Six Sigma Handbook, a Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels. United States of America: McGraw-Hill.
- Ruiz, R (2017). Propuesta de mejoramiento del proceso de reacondicionamiento de pozos en un campo del Oriente Ecuatoriano aplicando la metodología Seis Sigma. EPN, Quito, Septiembre 2017.

Aplicación de tecnología ácida no corrosiva biodegradable para limpieza de pozos petroleros en Cuenca Oriente

ARTÍCULO ORIGINAL

Recibido:
15/01/2019

Aprobado:
31/10/2019

Application of biodegradable non-corrosive acid technology for cleaning oil wells in the eastern basin

Jaramillo Espinoza Carlos
<https://orcid.org/0000-0002-0130-8328>
 Intermipetrol S.A
 cjaramilloespinoza@intermipetrol.com

Cisneros Calderón Raúl
<https://orcid.org/0000-0002-2663-3426>
 Intermipetrol S.A.
 raulcis@intermipetrol.com

RESUMEN

En el presente artículo se demuestra la eficacia en la aplicación de nueva tecnología ácida no corrosiva biodegradable para la limpieza de pozos petroleros. Para su demostración se realizó ensayos de laboratorio sobre cupones metálicos con incrustaciones de carbonatos. Se tomaron dos cupones, uno sometido al efecto de ácido HCl 12% convencional mientras que el otro cupón al efecto de la tecnología de ácido no corrosivo biodegradable. De los resultados obtenidos se evidenció que el ácido no corrosivo biodegradable obtuvo mayor eliminación de carbonatos y menor desgaste del cupón metálico. Posterior se muestra una prueba de campo sobre un equipo con corrosión y carbonatos. La metodología aplicada consistió en sumergir el equipo de prueba en un recipiente en contacto con la tecnología ácida no corrosiva y se dejó en remojo por un lapso de 24 horas. Posterior se recuperó el equipo de prueba verificando por observación la limpieza de éste. Con el objetivo de verificar reacciones secundarias de la tecnología ácida no corrosiva biodegradable al contacto con crudo de la Cuenca Oriente del Ecuador, se realizó un ensayo de laboratorio de compatibilidades entre ambos fluidos observando separación de fases definida, buena tensión interfacial y poca o nula adsorción en las paredes de la botella de prueba y no hubo formación de emulsiones ni precipitados. Los resultados obtenidos del ensayo de compatibilidad concluyen la no presencia de reacciones secundarias al contacto con crudo. Por último, se muestra una gráfica de la historia de producción de un pozo de la Cuenca Oriente del Ecuador en la cual se señala el período de tiempo en donde se realizaron trabajos de limpieza en el pozo con ácido HCl 12% y ácido no corrosivo biodegradable. A partir de esta gráfica podemos deducir la caída y la recuperación de producción de crudo durante los dos eventos de limpieza ácida

llevada a cabo. El histórico de producción muestra que con HCl 12% se obtuvo una caída de producción de 150 bppd mientras que con la tecnología ácida no corrosivo biodegradable la caída de producción fue de 80 bppd, por lo tanto, mayor producción en el segundo caso. Dentro de las conclusiones se pone de manifiesto que el uso de ácido no corrosivo biodegradable elimina las incrustaciones presentes en los pozos petroleros sin causar corrosión en los equipos mecánicos y con su propiedad biodegradable facilita la operación en campo.

Palabras clave:

Corrosión; carbonato; escala; incrustaciones; biodegradable; ácido; estimulación; limpieza de pozo.

ABSTRACT

This article demonstrates the effectiveness in the application of new non-corrosive biodegradable acid technology for oil well cleaning. For its demonstration laboratory tests were carried out on metal coupons with carbonate inlays comparing with conventional acid. Two coupons were taken, one of them was subjected to the effect of conventional 12% HCl acid while the other one to the effect of biodegradable non-corrosive acid technology. From the results obtained it was evidenced that the non-corrosive biodegradable obtained greater elimination of carbonates and less wear on the metallic coupon. The methodology applied was to immerse the test equipment in a container in contact with the non-corrosive acid technology and let it soak for a period of 24 hours. Subsequently, the test equipment was recovered by verifying the cleanliness of this by observation. In order to verify secondary reactions of biodegradable non-corrosive acid technology in contact with crude oil from the eastern basin of Ecuador, a laboratory compatibility test between both fluids was performed, observing defined phase separation, good interfacial tension and little or any

adsorption on the walls of the test bottle and there was no formation of emulsions or precipitates. The results obtained from the compatibility test conclude the non-presence of secondary reactions to contact with oil. Finally, a graph of the production history of an oil well in the eastern basin of Ecuador is shown, in which it is pointed the period of time where cleaning jobs were carried out in the well with 12% HCl acid and biodegradable non-corrosive acid. From this graph we can deduce the fall and recovery of crude oil production during the two acid cleaning events carried out. The graph shows a production drop of 150 obpd with 12% HCl and a production drop of 80 obpd with the biodegradable non-corrosive acid technology, therefore, greater production in the second case. Within the conclusions it is shown that the use of biodegradable non-corrosive acid eliminates the scale present in the oil wells without causing corrosion in the mechanical equipment and with its biodegradable property facilitates field operation.

Keywords:

Corrosion; carbonate; scale; incrustations; biodegradable; acid; stimulation; well cleaning.

INTRODUCCIÓN

La industria hidrocarburífera realiza cambios constantes debido a que la operación se vuelve más compleja al incrementar diariamente el Bsw de los pozos. Esto conlleva a problemas en los pozos por varias razones, entre ellas obstrucciones debido a sólidos como por ejemplo: escala carbonatada, parafinas, asfaltenos, granos de arena, emulsiones, etc. De estas obstrucciones, la más común en los pozos petroleros presente en la Cuenca Oriente de la Amazonía ecuatoriana es el taponamiento por escala carbonatada en los punzados perforados, equipos BES, bombas HPS, líneas de superficie, facilidades, entre otros.

La limpieza de estos carbonatos comprende un procedimiento operacional con solventes y ácidos inorgánicos que si bien pueden tener efectividad representan otros inconvenientes que cada vez son más problemáticos en los procesos de la operadora . Para ofrecer una limpieza de pozo eficaz y eliminando los inconvenientes asociados al uso de químicos ácidos se ha desarrollado un nuevo esquema en base a la utilización de un ácido biodegradable y no corrosivo.



Figura 1: Muestra con escala (antes) y muestra sometida a limpieza ácida (después). Fuente: Apex Engineering. Products Corporation.

El presente artículo se basa en la utilización de tecnología ácida no corrosiva y biodegradable (Fig. 1) para su aplicación en limpieza de pozos petroleros ubicados en la Cuenca Oriente del Ecuador.

METODOLOGÍA

La metodología empleada para su aplicación es a través de la realización de ensayos de laboratorio con muestras metálicas, de crudo y de escala base carbonato en contacto con la tecnología ácida no corrosiva y evidenciar sus efectos. A nivel de campo se presenta el ejemplo de un caso del trabajo en un pozo petrolero y los efectos que se tubo en la producción del pozo.

Análisis de corrosión en acero y aleación níquel-cobre

Se realizó un ensayo para corroborar si el producto cumple la propiedad de ser no corrosivo sobre piezas metálicas de acero y aleación cobre-níquel (CDA 706). Para ello, se elaboró el ensayo en condiciones específicas de 130°F con dos concentraciones ácidas, una al 100% y otra al 50%.

Tabla 1. Resultados de ensayo de tasa de corrosión de ácido no corrosivo sobre cupones metálicos.

	100% ÁCIDO	50% ÁCIDO
ACERO	0.061 in/año	0.041 in/año
CDA 706	0.007 in/año	0.007 in/año

Fuente: Calumet Associates, Inc.

De los resultados obtenidos de la tabla 1, se comentó que no hay evidencia de fisuras, agujeros o algún tipo de desgaste en la superficie metálica.

Ensayo de bio-degradabilidad del ácido

De igual manera se realizó un ensayo sobre el ácido con el fin de determinar la propiedad de biodegradabilidad de este. Para ello se realizó un ensayo bioquímico de demanda de oxígeno (BOD) el cual es un indicador de biodegradabilidad. El ensayo fue realizado bajo las especificaciones técnicas de la última edición de la SMWW (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater), APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association), WPCF (Water Pollution Control Facility).

Tabla 2. Resultado del ensayo BOD para la certificación de biodegradabilidad del ácido de prueba.

BOD	16 mg/l
-----	---------

Fuente: ENVIRO-TEST, INC.

Con los resultados obtenidos de la tabla 2, el producto ácido es considerado como biodegradable.

Ensayo de eliminación de incrustaciones vs. corrosión en cupones metálicos de pozo

Se realizó un ensayo de laboratorio con muestras de carbonatos presente en cupones metálicos al contacto con HCl 12% y tecnología ácida no

corrosiva. Para cada ácido se realizó un ensayo por separado y se verificó el porcentaje de pérdida de peso por eliminación de carbonato en cada cupón. Como se observa en la figura 2, la eliminación de carbonatos fue mayor en el cupón con el ácido no corrosivo biodegradable con 90 %. Por otro lado, el cupón metálico con HCl (12%) obtuvo una pérdida de peso del 62% constatando mayor porcentaje en el primer ensayo.

Otro ensayo realizado fue la verificación del porcentaje de pérdida de peso en cupones metálicos limpios (sin escala) al ser sometidos por separado al contacto de HCl 12% y tecnología ácida no corrosiva (Fig. 3). Después de 4 horas de ensayo con el ácido no corrosivo biodegradable se obtiene una pérdida de peso de 0.04% mucho menor a su contraparte que obtuvo una pérdida de 0.37%. En el mismo período de tiempo el cupón en contacto con HCl 12% generó mayor desgaste del cupón metálico respecto al cupón de prueba con tecnología ácida no corrosiva.

Prueba de campo sobre válvula de mariposa

Se realizó un ensayo del ácido no corrosivo biodegradable en una válvula de mariposa con incrustaciones de escala y óxido. Se sumergió dicha válvula de mariposa con presencia de escala (Fig. 4) completa en un recipiente plástico con 5 gal de ácido no corrosivo biodegradable sin realizar ningún tipo de manipulación.

La reacción química entre escala y el ácido genera una espuma en poca cantidad que se deshace al ambiente. Al cabo de 20 minutos el ácido no corrosivo biodegradable ya había limpiado gran cantidad de escala y óxido presente en la muestra. Posterior, se dejó por un periodo de 24 horas en remojo.

Al cabo de las 24 horas se observó que la muestra no contenía ningún tipo de escala, incrustaciones u óxidos que tenía antes de realizar la prueba. Además, la muestra no mostró ningún tipo de desgaste en su cuerpo metálico, ni tampoco en el sello de caucho, ni en el cuerpo de la válvula.

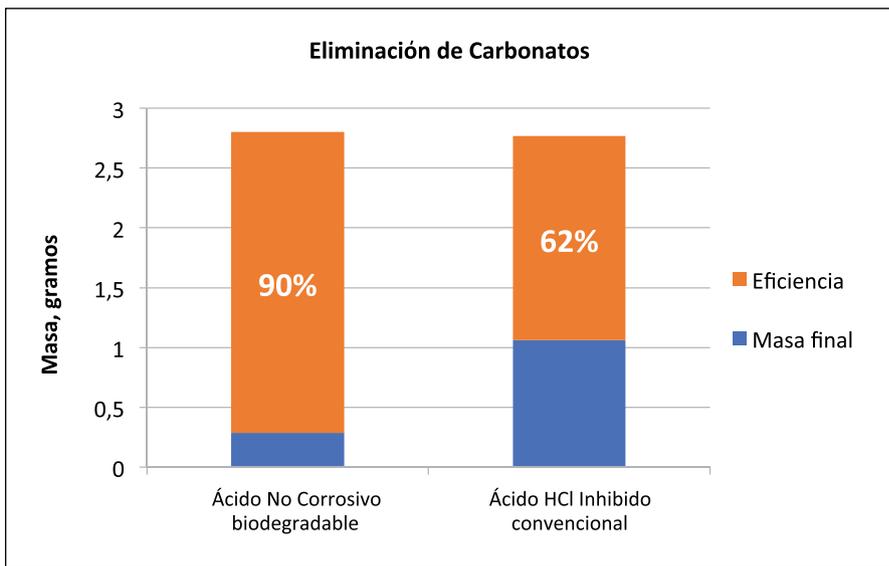


Figura 2: Comparativa de eliminación de incrustaciones de carbonatos. Tiempo 25 minutos. Fuente: Intermipetrol S.A.

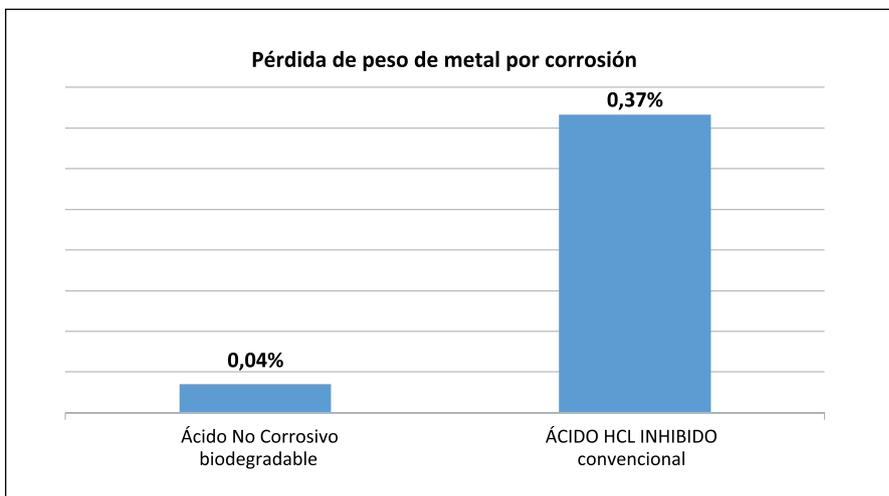


Figura 3: Comparativa de pérdida de peso de metal por corrosión. Tiempo 4 horas. Fuente: Intermipetrol S.A



Figura 4: Comparativa del antes y el después de sumergir la válvula en ácido. Tiempo de contacto fue de 24 horas. Fuente: Intermipetrol S.A.



Figura 5: Ensayo de compatibilidades a 1 minuto y 30 minutos. Fuente: Departamento de Petróleos, Energía y Contaminación (DPEC)-UCE.

Ensayo con crudo Oriente de compatibilidad

Se realizó un ensayo de compatibilidad con crudo de un pozo petrolero del Oriente ecuatoriano y el sistema ácido no corrosivo biodegradable (Fig. 5) con el objetivo de verificar si hay o no presencia de reacciones secundarias (emulsiones, precipitados) que pudiesen impedir la utilización de este ácido en pozos petroleros. El ácido no corrosivo fue preparado en mezcla con concentraciones específicas de surfactante y solvente mutual para tener una correcta separación de fases agua-aceite.

Del ensayo de compatibilidad realizado con crudo Oriente se puede apreciar acorde a la tabla 3, que al cabo de un minuto ya se contó con una separación de fases B (Oscura) y a los dos minutos ya se contó con una fase A (Definida). No se observó presencia de sedimentos, emulsiones, precipitados ni de lodo asfáltico.

Tabla No. 3: Resultados obtenidos del ensayo de compatibilidades con ácido no corrosivo biodegradable.

	Muestra de crudo Oriente	
RELACIÓN Crudo /Tto	50/50	FA
%		
Tiempo 1 min	100%	B
2	100%	A
5	100%	A
10	100%	A
20	100%	A
30	100%	A
60	100%	A
% Sludge	0%	
Sedimentos	*	

Elaborado por: Departamento de Petróleos, Energía y Contaminación (DPEC)-UCE.

Ejecución del servicio en un pozo x del oriente ecuatoriano

En el pozo X que se describe a continuación (Fig. 6), previo al 22 de noviembre que se observa en la gráfica, la operadora realizaba limpiezas ácidas con HCl convencional asistido con CTU. La operadora realizaba esta modalidad de limpieza en el pozo X cada 3 meses. Del histórico de producción se observa una caída de producción en el pozo de alrededor de 150 bppd. Posterior al 22 de noviembre, la operadora decide realizar trabajos de limpieza ácida con ácido no corrosivo biodegradable en modalidad bullheading. La metodología aplicada en el pozo fue de realizar el bombeo del sistema ácido no corrosivo biodegradable con camión de bombeo siguiendo una línea de flujo conectada directamente al cabezal del pozo y circulando el sistema ácido hasta desplazar el tratamiento a la profundidad donde se encontraba identificada la obstrucción sólida de carbonatos (escala) en el equipo de bombeo electrosumergible (BES).

Con el histórico de producción se observa una caída de 80 bppd (mucho menor a los 150 bppd de caída de producción que se obtuvo en el trabajo empleado con CTU y HCl 12%). La operadora obtuvo un incremento de producción en el pozo X y las intervenciones en este pozo X se prolongaron a periodos de 6 meses, de esta manera se redujo el número de intervenciones al pozo.

DISCUSIÓN

Acorde a los ensayos realizados y evidenciados se muestra que la tecnología ácida tiene propiedades de no corroer los metales y que es biodegradable. Adicional, los ensayos presentados también confirman estas aseveraciones en ensayos realizados en condiciones de campo. Contrastando los trabajos de limpiezas en pozos con HCl 12% y con el ácido no corrosivo biodegradable, en el segundo caso se obtienen ventajas como disminución de tiempo

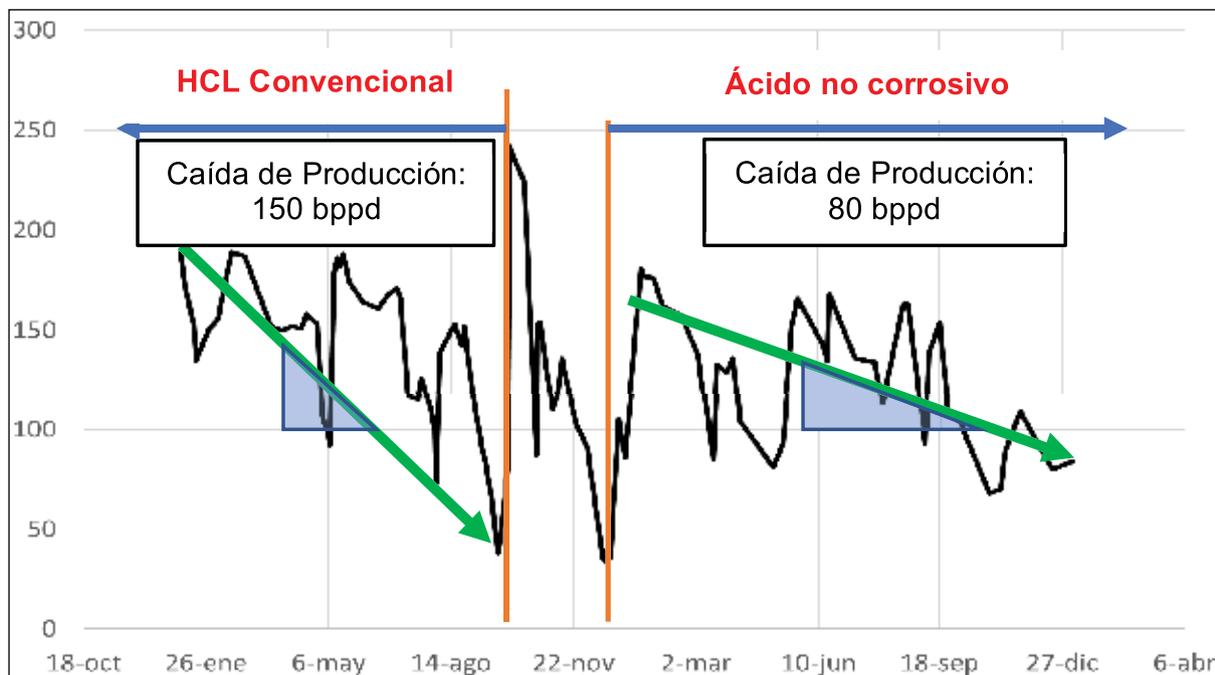


Figura 6: Histórico de producción del pozo X. Se aprecia el cambio en la caída de producción al implementar limpiezas ácidas con ácido no corrosivo biodegradable. Fuente: Intermipetrol S.A

de contacto sobre superficies metálicas, reducción del desgaste sobre equipos metálicos, efecto de desgaste puntualizado ya que reacciona al contacto con carbonatos.

Por otro lado, al ser un producto biodegradable da mayor confiabilidad en prolongar más aún el tiempo de exposición del ácido en el fondo del pozo. Este tipo de esquema de trabajo no se puede concebir al utilizar ácidos convencionales debido a que, a mayor tiempo de exposición, mayor corrosión y por ende problemas como fisuras por tanto va a incurrir en una limpieza incompleta de sólidos carbonatados. En contraste, al realizar trabajos con ácido no corrosivo biodegradable es posible disolver mayor cantidad de sólidos carbonatados dejando el ácido por un mayor tiempo de prolongación ya que el ácido no corrosivo biodegradable estará 100% enfocado en la disolución de estos.

Por otro lado, comparando estos dos esquemas ácidos, especificamos que el ácido no corrosivo biodegradable no puede disolver sólidos que no correspondan a una base de carbonatos a diferencia de un ácido convencional que puede disolver otros tipos de sólidos presentes en el pozo.

CONCLUSIONES

Se determinó que el ácido no corrosivo biodegradable disuelve y elimina las incrustaciones de los equipos mecánicos con una gran eficacia y sin mayor esfuerzo en poco tiempo. El ácido no genera ningún tipo de emulsión al contacto con el crudo. La interfaz lineal que se forma en el ensayo de compatibilidades no muestra adsorción alguna lo que nos indica que el sistema ácido es compatible con otros aditivos y con el crudo pues no se

produjo reacciones secundarias como emulsiones o precipitados.

De los resultados obtenidos de la comparación entre el ácido no corrosivo biodegradable y el HCL inhibido convencional se concluye que casi en el 30% fue más efectivo el ácido no corrosivo biodegradable eliminando incrustaciones y 98% menos corrosivo que el HCL inhibido.

En base a los resultados determinados en el presente estudio tanto a nivel de laboratorio como su aplicación en campo podemos indicar que el ácido no corrosivo biodegradable facilita las operaciones de limpieza tanto en pozos como en equipos de superficie por varias razones; entre ellas su propiedad de biodegradación reduce procedimientos operacionales que suelen complicar a la operadora porque este producto no requiere procesos de post tratamientos debido a que se degrada con carbonatos; es un producto que no requiere regulación gubernamental, es amigable con el ambiente, con la salud y seguridad.

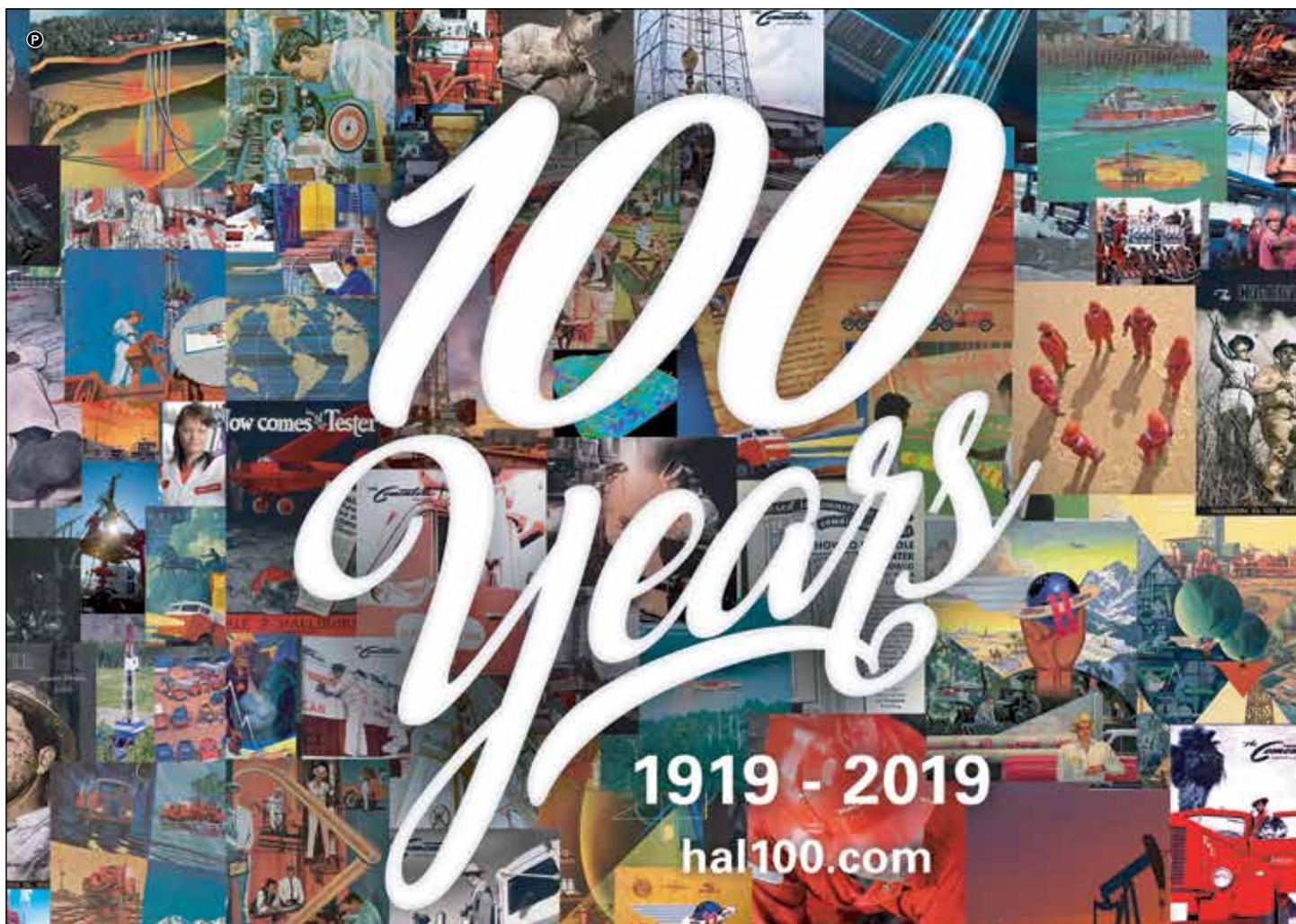
Adicional, las propiedades demostradas para la tecnología ácido no corrosiva biodegradable concluyen que el mencionado ácido de estudio únicamente actúa al contacto con sólidos a base de compuestos carbonatados como la escala presente en equipos de superficie y fondo de pozo; por lo tanto el producto puede estar en el pozo por un mayor tiempo prolongado sin causar ningún tipo de daño a los componentes mecánicos.

REFERENCIAS

- Apex Engineering Products Corporation (2018). Struvite Removal with RYDLYME. Recuperado de <http://www.apexengineeringproducts.com/>

struvite-removal/

- Chicago Spectro Service Laboratory, Inc. (2014). Recuperado de <http://www.chicagospectro.com>
- Corrales, E. (2013). Aplicación de nuevas tecnologías para optimizar la producción en el campo Palanda-Yuca Sur. (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, FIGEMPA, Carrera de Ingeniería de Petróleos, Ecuador.
- Cruz, D. (2015). Análisis técnico de la implementación de estimulación matricial con unidad de coiled tubing para optimizar la producción del pozo PLAN-050H de la arena Hollín en la amazonia ecuatoriana. (Tesis de pregrado). Universidad Tecnológica Equinoccial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Ingeniería de Petróleos, Ecuador.
- Departamento de Petróleos, Energía y Contaminación. Facultad de Química. Universidad Central del Ecuador. fig.secretaria.dpec@uce.edu.ec
- ENVIRO-TEST, Inc. (2018). Recuperado de <http://www.envirotestinc.com>
- Gonzales, J., (2014). Daño a la formación en pozos petroleros. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería, México.
- INTERMIPETROL. (2015). RYDLYME in Ecuador (Oil Wells). Recuperado de http://www.intermipetrol.com/#xl_xr_page_productos%20biodegradables
- Leines, J. (2015). Optimización de la producción utilizando una técnica de fracturamiento alternativa en un pozo de un campo maduro de la cuenca oriente. (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, FIGEMPA, Carrera de Ingeniería de Petróleos, Ecuador.



Diseño de una planta piloto de extracción de pectina como gelificante a partir de residuos de la naranja (*Citrus Sinensis*)

ARTÍCULO ORIGINAL

Recibido:

30/10/2018

Aprobado:

31/10/2019

Design of a pilot extraction plant of pectin as a gelificant from orange waste (*Citrus Sinensis*)

Almeida Cynthia

📧 <https://orcid.org/0000-0001-5481-3785>

Consultora independiente
ecynthia_liz@hotmail.com

Carrillo Ivonne

📧 <https://orcid.org/0000-0002-9026-9200>

Universidad Internacional SEK
emma.carrillo@uisek.edu.ec

Chamorro Armas Sonia

📧 <https://orcid.org/0000-0001-7467-4380>

Universidad UTE
sonia.chamorro@ute.edu.ec

Palacios Cabrera Teresa

📧 <https://orcid.org/0000-0001-6223-0141>

Universidad Central del Ecuador
tapalacios@uce.edu.ec

RESUMEN

La necesidad de gestionar los residuos sólidos orgánicos generados por los vendedores de jugo de naranja, en la ciudad de Quito, se propone un proceso para convertir las cáscaras de naranja, en materia prima para la obtención de pectina cítrica dando a este residuo un valor agregado. En Ecuador no existe una planta productora de pectina, lo que obliga a las industrias que utilizan este producto, a importar a un costo aproximado de 34 dólares el kilogramo. En la ciudad de Quito, según el censo realizado por la Policía Nacional en el año 2016, existen aproximadamente 600 vendedores ambulantes de jugo de naranja, quienes generan 16200 kg diarios de residuos lo que es igual a 5913 toneladas al año. Para la utilización de los residuos, se propone el diseño de una planta piloto para la obtención de pectina por hidrólisis ácida; previo a la implementación de la planta, se realizaron varios ensayos en el laboratorio hacia la optimización del proceso, con el fin de determinar el ciclo de producción; basándose principalmente en la termodinámica y la cinética de las reacciones. Finalmente, se presenta un estudio económico con el objetivo de determinar su viabilidad.

Palabras clave:

Pectinas; hidrólisis ácida; planta piloto; termodinámica; cinética

ABSTRACT

The need to manage organic solid waste generated by orange juice sellers, in the city of Quito, proposes a process to convert orange peels, into raw material for obtaining citrus pectin giving this residue an added value. In Ecuador there is no pectin producing plant, which forces the industries that use this product, to import at an approximate cost of \$ 34 per kilogram. In the city of Quito, according to the census carried out by the National Police in 2016, there are approximately 600 street vendors of orange juice, who generate 16,200 kg of waste daily, which

is equal to 5913 tons per year. For the use of waste, the design of a pilot plant for obtaining pectin by acid hydrolysis is proposed; prior to the implementation of the plant, several tests were carried out in the laboratory for the optimization of the process, in order to determine the production cycle; based mainly on the thermodynamics and the kinetics of the reactions. Finally, an economic study is presented to determine its viability.

Keywords:

Pectins; acid hydrolysis; pilot plant; thermodynamics; kinetics

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales componentes de la pared celular de los vegetales son las pectinas, polisacáridos con alta capacidad hidrofílica, ya que pueden absorber agua desde 100 a 500 veces su propio peso (Flores, Mariños, Rodríguez y Rodríguez, 2013). La pectina tiene gran utilidad en la industria alimenticia, principalmente como espesante y gelificante, por ejemplo se utiliza en la producción de mermeladas, jaleas, gelatinas y conservas vegetales. (Pagan y Gilibert, 1999).

Actualmente no existe producción de pectina en el Ecuador, la industria alimenticia y farmacéutica importa de países como Colombia, México, Argentina o China. Los valores que se llegan a pagar por este producto en estos países varían de 20 a 34 dólares el kilogramo (Morley, 2015). Importar este producto representa costos muy elevados y, al ser este un producto de alta demanda, las industrias deben considerar pagar altos precios, que aumentan sus costos de producción.

A nivel industrial, la obtención de pectina se realiza a partir de subproductos como la cáscara de frutos cítricos que contienen cerca del 25% de sustancias pécticas, el bagazo de la manzana, por ejemplo, genera un rendimiento de alrededor del 15-18% de pectina, razón por la que esta materia prima fue

muy utilizada en los años 20 y 30, cuando se inicia la industrialización de la pectina, ya que los residuos de la industria sidrera y de zumo de esta fruta, generaban gran cantidad de cáscaras de manzana.

Otras fuentes son la concha de mango, residuos de girasol, guayaba, entre otros. (Adossio, Paéz, Marín, Mármol, y Ferrer, 2005).

Las empresas que usaron la corteza de cítricos como materia prima, se enfrentaron al problema que el aroma era inaceptable para la mayoría de las aplicaciones, por lo tanto decidieron utilizar en sus procesos alcohol o sales metálicas, para precipitar la pectina y extraerla en forma sólida, controlando así el problema. Posteriormente, se adopta esta iniciativa por los productores de pectina de manzana, evolucionando gradualmente hasta el día de hoy con diferentes frutas como materia prima (Pagan y Gilabert, 1999).

Comercialmente, la pectina se extrae con ácido caliente diluido a pH bajo. El tiempo y la temperatura de extracción varían con la materia prima utilizada. Una vez extraída la pectina, se separa de los residuos. Para obtener pectina en polvo, se agrega alcohol al concentrado para que precipite. La masa gelatinosa se prensa, lava y elimina de las aguas madres. Posteriormente, se filtra y se muele. Otros métodos de precipitación se realizan con hidróxido de aluminio coloidal, mayormente usado para pectinas de bajo grado de esterificación (Pagan y Gilabert, 1999).

Residuos de naranja

En las fábricas por cada tonelada de naranja, el 50% se transforma en zumo y el 50% restante es subproducto o residuo (SINC, 2008). Actualmente se producen 38.2 millones de toneladas de cáscaras de cítricos a nivel mundial (Diario Milenio, 2017), solo en Quito, existen 600 vendedores ambulantes de jugo de naranja (Jácome, 2016), quienes generan aproximadamente 16200 kg de residuos diarios, siendo equivalente a 5913 toneladas al año. Dichos residuos son recolectados por camiones de basura, para posteriormente ser desechados en los rellenos sanitarios del sector, ocupando gran espacio en los vertederos e incrementando el volumen de lixiviados debido a su rápida fermentación, lo que contribuye a la generación de gas metano. Estos residuos no son aptos para hacer compostaje debido a sus características de pH ácido, por lo que se convierten en basura común sin opción de un proceso posterior que le otorgue un valor agregado.

Estructura química de la pectina

Las sustancias pécticas son mezclas complejas de polisacáridos que constituyen un tercio de la pared celular de las plantas dicotiledóneas y de algunas monocotiledóneas. En menor cantidad, se hallan en las paredes celulares de las plantas herbáceas. Se encuentran en la mayor parte de los tejidos vegetales y especialmente en los tejidos parenquimáticos y meristemáticos, abundan en la pared primaria de las células y la lámina media que las separa. (Pagan

yGilabert, 1999). La estructura básica de la pectina está formada por anillos de ácido D-galacturónico, C₆H₁₀O₇. El número de anillos presentes en la cadena varía desde los 100 hasta 1000. Cada anillo posee un grupo carboxilo (-COOH) que puede estar esterificado con metanol, produciendo esteres metílicos (-COOCH₃) o quedar neutralizado por una base, como se muestra en la figura 1. (Zegada, 2015).

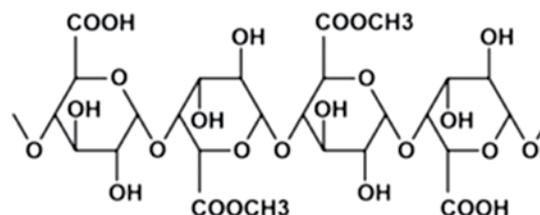


Figura 1. Estructura molecular básica de la pectina (Zegada, 2015)

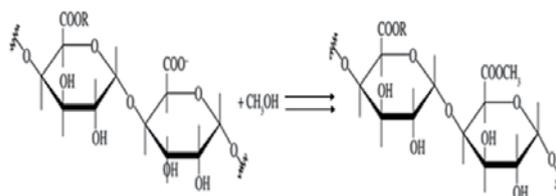


Figura 2. Esterificación de la Pectina (Canteri, Moreno, Wosiacki, y Scheer, 2012)

El grado de esterificación depende del origen de la pectina y del método utilizado para la extracción de ésta. Se entiende por grado de esterificación, el grado variable en el que los grupos carboxilos de los ácidos galacturónicos se encuentren esterificados con metanol o estén parcial o completamente neutralizados por iones de sodio, potasio o amonio (Flores et al., 2013).

Mediante hidrólisis ácida, la pectina extraída de los residuos de naranja presenta aproximadamente un 70% de esterificación, aunque puede alcanzar valores mayores. Para obtener grados menores se debe hidrolizar con algunos esteres metílicos adicionales, generalmente, mediante extracción prolongada, tratamientos ácidos o alcalinos en alcohol o haciendo uso de enzimas desesterificantes (Zegada, 2015).

El grado de esterificación, afecta directamente en la capacidad de la pectina para formar geles (Arellanes, Jaraba, Mármol y Páez, 2011).

Hay una amplia gama de grados de esterificación dependiendo de las especies, tejidos y madurez. Generalmente y por facilidad se dividen en dos grupos: pectinas de alto y bajo metoxilo. Las pectinas de alto metoxilo son aquellas que tiene el 50% de los grupos carboxilos del ácido galacturónico esterificado con metanol. A mayor grado de esterificación, mayor es

la temperatura de gelificación. Estas pueden formar geles en condiciones de pH entre 2.8 y 3.5 y, entre 60° y 70° Brix. Las pectinas de bajo metoxilo son aquellas que forman geles termorreversibles por interacción con el calcio presente en el medio. Las condiciones pH y sólidos solubles son secundarios en este caso, para formar geles es necesaria solo la presencia de sales de calcio. Los grados Brix pueden llegar a 2 y el pH puede ser neutro. (Flores et al., 2013).

El grado de esterificación de las pectinas también influye en la temperatura de gelificación. A mayor grado de esterificación, mayor es la temperatura de gelificación. Por ejemplo, una pectina con un grado de esterificación del 75% puede gelificar a temperaturas de 95° y, en muy pocos minutos a temperaturas por debajo de 85°C (Morley, 2015).

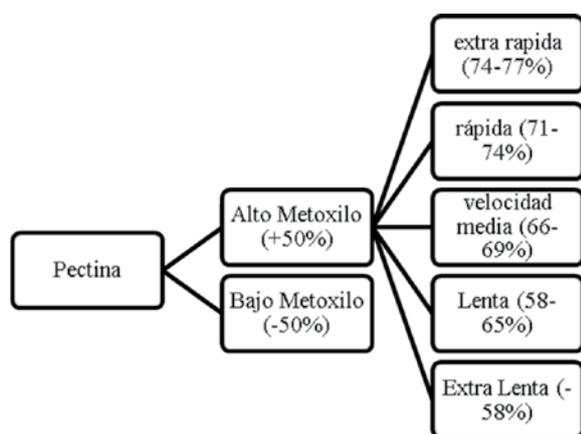


Figura 3. Clasificación de la Pectina (Zegada, 2015)

Las propiedades gelificantes de la pectina pueden verse influenciadas por diferentes factores por ejemplo, el peso molecular, relacionado con la longitud de la cadena, afecta a la viscosidad y por ende a su comportamiento para formar geles (Flores et al., 2013). La molécula condiciona la rigidez o firmeza del gel. Otro factor que influye directamente en la velocidad y temperatura de gelificación es el grado de esterificación, que además es responsable de algunas propiedades organolépticas de geles de pectina-azúcar-ácido, que forman las pectinas de alto metoxilo. La solubilidad de la pectina se halla determinada por la proporción de grupos hidrofóbicos e hidrofílicos. (Pagan y Gilabert, 1999).

El tiempo de gelificación también dependerá de la naturaleza de la materia prima, del estado de maduración y de la metodología de extracción, definiendo así la calidad de la pectina (Adossio, Páez, Marín, Mármol y Ferrer, 2005).

Los factores más importantes del medio, que influyen en la formación del gel son temperatura, pH, nivel de azúcares y otros solutos y iones de calcio. Al enfriarse una solución caliente que contenga pectina, su tendencia a gelificar aumenta, más aún si su pH disminuye, esto ocurre especialmente en las pectinas de alto metoxilo, que requieren pH menor a 3,5 para gelificar. Los azúcares y otros solutos, deshidratan a

las pectinas en solución, por ende, a mayor cantidad de solutos, hay menos agua disponible para actuar como disolvente de la pectina y la tendencia a gelificar se favorece. Cuando los sólidos solubles superan el 85%, la gelificación es muy difícil de controlar. En cuanto a los iones de calcio, son necesarios en las pectinas de bajo metoxilo desesterificadas para una óptima gelificación (Pagan y Gilabert, 1999).

Aplicación de la pectina

La pectina genera gran interés en las industrias alimentarias debido a su amplia utilización como aditivo gelificante en productos tipo gelatinas y mermeladas, así también como espesante y estabilizante, material de relleno, estabilizador de productos de confitería, productos lácteos, preparados de frutas y vegetales, rellenos de repostería, glaseado y escarchados, sustituto de grasas en aderezos para ensaladas, helados y productos cárnicos emulsionados (Arellanes et al., 2011).

La pectina obtenida de la cáscara de frutos, se puede utilizar también como empaque de cápsulas, debido a su fácil degradación dentro del organismo (Aldana et al., 2011). Otras aplicaciones en la industria farmacéutica incluyen productos farmacéuticos y biomédicos por su atractivo como un polímero no tóxico, biocompatible y biodegradable (Arellanes et al., 2011).

Dentro de sus variadas aplicaciones también está su uso en odontología, cosmética, industria de cigarrillos, microbiología, conservación de suelo y alimentación animal (Pagan y Gilabert, 1999).

El objetivo de este artículo, diseñar un proceso piloto para la extracción de pectina a partir de los residuos de la naranja provenientes del proceso de extracción de jugo, que extraen como subproducto los vendedores ambulantes, con el fin de gestionar un impacto ambiental por la fermentación de desechos. Es importante mencionar en este punto, que los residuos que se usarán en esta planta son de segunda generación, por lo tanto es necesario realizar un tratamiento detallado de lavado e inactivados de enzimas, con el fin de que un residuo pueda ser apto posteriormente para el consumo humano.

Los resultados de la investigación son la base para generar una industria en la ciudad, así como atraer inversiones tanto locales como extranjeras, considerando la oferta y demanda de la pectina.

Materia prima

Cáscara de naranja

La cáscara de naranja es recolectada, lavada y secada al sol hasta retirar su humedad completamente. Se pulveriza y se tamiza; el proceso de extracción utiliza HCl 2N, 25 gramos de muestra de cáscara seca; se cubren con agua y se agrega HCl hasta lograr un pH de 3.2, se lleva a una temperatura de 80°C con agitación constante durante 75 minutos. Se filtra y el líquido filtrado se enfría a 15°C, con NaOH 1N se cambia el pH a 12 y luego se incorporan 30mL de etanol al 60%, se agita vigorosamente y se deja reposar durante 12 horas. El gel obtenido de la

precipitación se filtra con una bomba de vacío y se lava con 15 ml de etanol 60% previamente enfriado a 15°C. Se seca en una estufa con ventilación a 90°C hasta la sequedad total y finalmente se tritura (Rodríguez y Román, 2004).

La cantidad de pectina es inversamente proporcional al tamaño de la fruta. Es decir, se encuentra mayor cantidad de pectina en los frutos más pequeños (Ywassaki y Canniatti-brazaca, 2011).

La pectina puede formar geles a pH entre 1 y 3.5, con concentraciones de azúcar del 55% y 85% (Durán et al., 2012).

Las temperaturas de hidrólisis mayores a 98°C y el tiempo de extracción mayor a 90 minutos, logran que la pectina se desnaturalice, terminando en una influencia negativa en el resultado final (Durán et al., 2012).

MATERIALES Y MÉTODOS

La toma de muestras corresponde a la recolección de cáscaras de naranja generadas por los vendedores ambulantes de la ciudad de Quito, las mismas que son un residuo del proceso de elaboración de jugo de naranja.

En las pruebas de laboratorio se utilizó un método de extracción por hidrólisis ácida (Rodríguez y Román, 2004) con ácido cítrico, a un pH de 2, se calienta a una temperatura entre 70-80°C, durante 75 minutos y posterior precipitación con alcohol. Finalmente, la pectina precipitada es secada y triturada.

Para el proceso de inactivación se trabajó con un reactor tipo Bach sin reacción química, en un periodo de 15 minutos; este reactor se diseñó para un volumen de 160 Kg considerando un 5% de pérdida con una altura de 0.5m, de diámetro 66.4 cm

de acero inoxidable

En el proceso de hidrólisis se usó un reactor de mezcla continua con enchaquetado, para un volumen de 335 litros, considerando el 8% de sobredimensionamiento. Este reactor es de acero inoxidable con una altura de un 1 metro y un diámetro de 0.65 metros.

Para el proceso de esterificación se utilizó un reactor PFR (Reactor Flujo Pistón) con enchaquetado. El diseño del reactor determinó una altura de 2,40 metros y un diámetro de 1,54 metros con un enchaquetado de 3,39 metros cúbicos.

RESULTADOS

El diseño del proceso de extracción de pectina a partir de residuos de naranja a nivel de laboratorio fue el siguiente:

- Lavado y escaldado (inactivación de enzimas): El residuo de la naranja, tanto la cáscara como el bagazo es lavado con agua caliente, para posteriormente sumergirlas en agua a 100°C durante 10 minutos.
- Trituración: Se tritura los residuos húmedos con la ayuda de un triturador eléctrico.
- Secado: Los residuos triturados se secan en una estufa a 90°C hasta obtener un peso constante.
- Trituración: Se realiza una segunda trituración en triturador de tornillo para obtener partículas más finas, a partir de este momento se tratará a este triturado como materia prima.
- Hidrólisis ácida: Se coloca 25 gramos de materia prima en un vaso de precipitación de 1000 ml con 2 veces su volumen de agua, y se lleva a un pH de 2 con la ayuda de ácido cítrico diluido en agua. Se calienta a una temperatura entre

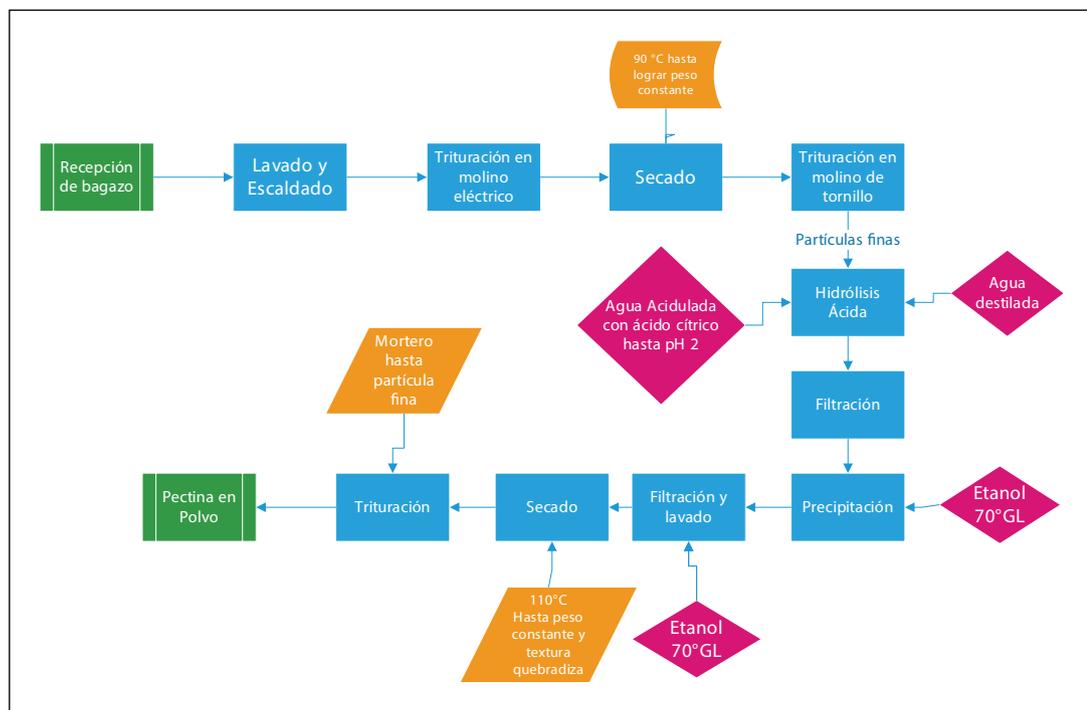


Figura 4. Proceso de Extracción de Pectina

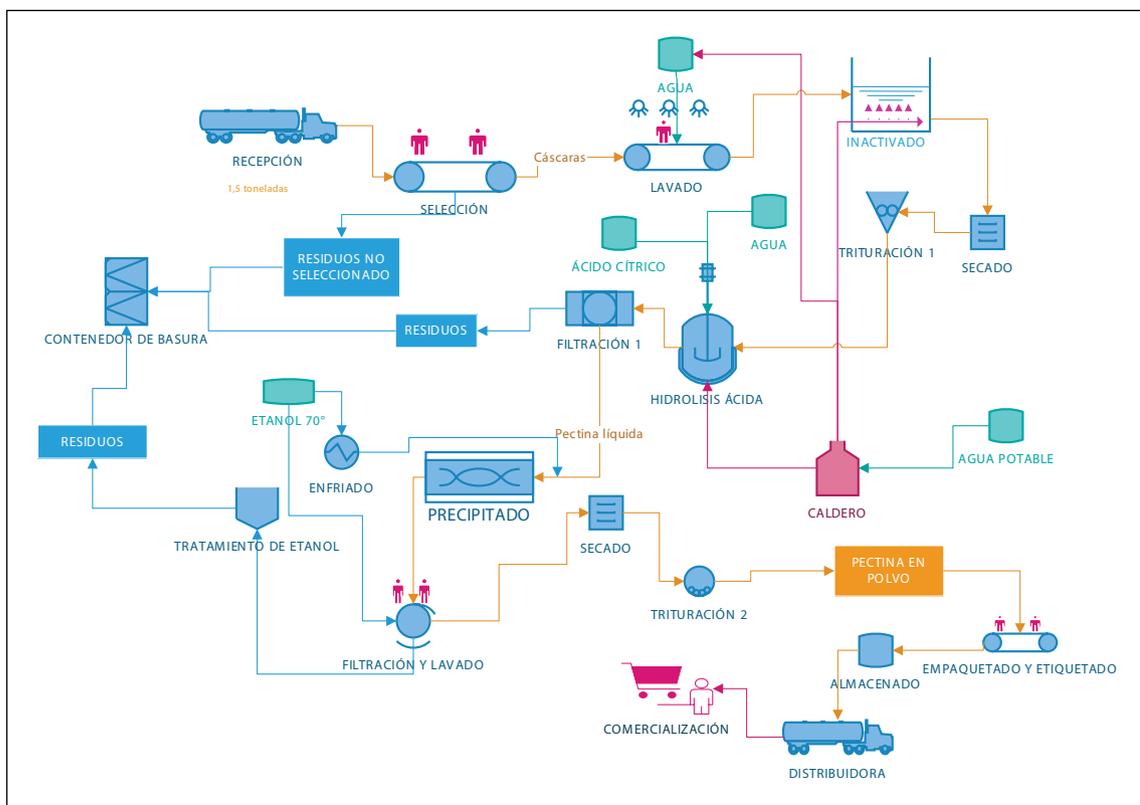


Figura 5. Diagrama de flujo del proceso para la producción de pectina.

- 70°C y 80°C durante 75 minutos con agitación constante.
- Filtración: Se filtra la mezcla hidrolizada aún caliente con un liencillo y, el líquido filtrado se enfría bruscamente hasta aproximadamente 15°C.
 - Precipitación: Se adiciona 30 ml de etanol 70° GL previamente enfriado a 4°C, se agita vigorosamente y se deja reposar durante 24 horas. El líquido precipitado es la pectina extraída durante la hidrólisis ácida.
 - Filtración y lavado: Una vez la pectina haya precipitado, se realiza una segunda filtración de la sustancia gelatinosa, utilizando un liencillo, realizando lavados con etanol usando hasta 2 veces su volumen.
 - Secado: La torta de pectina retenida en el liencillo es extendida y distribuida en bandejas de cristal y posteriormente es secada en una estufa con circulación de aire a 90°C durante 18 horas, o hasta alcanzar un peso constante y textura firme y quebradiza apta para trituration.
 - Trituración: La pectina seca se remueve con cuidado de la bandeja de vidrio y se tritura en un mortero hasta obtener partículas lo más fino posible.

El volumen de etanol 70° añadido en la precipitación para alcanzar el mayor porcentaje de eficiencia de extracción es 90ml para 20 gramos de materia seca. Es decir, 4,5 ml de alcohol por gramo de cáscara seca y triturada.

La figura 6, muestra claramente que para 20 g

Tabla 1. Pruebas de Laboratorio: Volumen de alcohol añadido en la precipitación

ml de etanol dosificados	Gramos de pectina obtenida	Rendimiento (%)
40	1.3	6.5
60	3.1	15.5
70	3.44	17.2
80	4.08	20.4
90	4,1	20.5

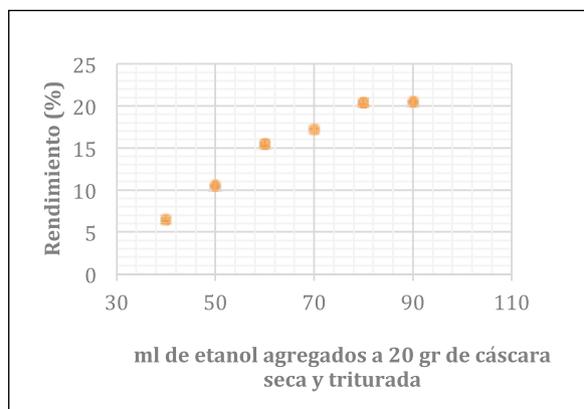


Figura 6. Rendimiento vs ml de etanol agregado por 20 gr de cáscara seca y triturada.

de cáscara seca y triturada, la cantidad óptima de etanol es de 90 ml. sin embargo, por razones de optimización de recursos, se considera que el valor de 80 ml es el más adecuado.

Una vez que se ha optimizado el proceso a nivel de laboratorio, se procede al diseño de la ingeniería básica y de los equipos necesarios para la implementación de la planta piloto para la producción de la pectina.

El diseño de la planta realizado en Microsoft Visio se muestra en la Figura 5. Diagrama de flujo del proceso para la producción de pectina.

La corriente principal se encuentra señalada de color naranja, mientras las líneas de vapor se representan de color fucsia. El caldero que se eligió para esta planta piloto ofrece una producción de vapor de 15 kg/hora, lo que logra abastecer a todos los procesos donde el vapor sea necesario. El vapor sobrante se utilizará en otros servicios básicos de la empresa como lavado y desinfección de equipos y para calentar el agua de las duchas para los operadores. El flujo másico de la corriente principal se representa en la siguiente tabla:

Tabla 2. Flujos de entrada y salida de los diferentes procesos

	ENTRA		SALE	
	Kg	L	Kg	L
Lavado	208,00	156,38	208,00	57963,00
inactivado	208,50	278,00	208,50	278,00
Secado	208,50	278,00	72,98	28,46
triturado	72,98	28,46	72,98	28,46
hidrólisis	72,98	28,46	706,83	820,97
filtrado	706,83	820,97	376,16	364,88
precipitado	364,88	376,16	28,73	656,78
lavado y filtrado	28,73	656,78	28,73	656,78
Secado	28,73	656,78	14,89	45,97
Triturado	14,89	45,97	14,89	45,97

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos en varias etapas

Cáscara Húmeda		Acidificación	
Densidad	0,34 g/ml	pH	2
pH	4,5	T	18 °C
T	18 °C		
Pectina Líquida o ácido galacturónico		Pectina precipitada	
pH	2,5	pH	3
Densidad	0,97 g/ml	Densidad	1,32 g/ml
viscosidad	25,4 cP	Viscosidad	7039,1cP
Color	3,6 unidades de cobalto		

El volumen de los reactores se diseña dependiendo de su utilización dentro del proceso, la base del diseño es la demanda del mercado y la disponibilidad de materia prima, valores que determinan el flujo de entrada y el tiempo de retención. El diseño se realizó bajo la normativa técnica INEN 0097:76 "Características y Diseños de máquinas, aparatos y equipos" e INEN 0440:84 "Colores de identificación de tuberías". El resumen se puede ver en la siguiente tabla:

Tabla 4. Volúmenes de Reactores

Reactor	Volumen
Marmita para inactivación	0,11 m3
CSTR para hidrólisis ácida	0.88 m3
PFR para precipitación	4,16m3

DISCUSIÓN

De acuerdo con los procesos proporcionados por la bibliografía (Rodríguez & Román, 2004), se comprobó que efectivamente el método más óptimo para la extracción de pectinas es por medio de hidrólisis ácida a un pH de 2 o aproximados, a una temperatura de entre 70°C y 80°C, por un tiempo de 75 minutos con agitación constante.

Rodríguez y Román, (2004) manifiestan en su estudio que el volumen de alcohol adecuado es 1,2 ml por gramo de cáscara seca, utilizando etanol 60%. Sin embargo, en el presente estudio se determinó mayor rendimiento con mayor volumen de alcohol y así mismo, mayor grado de este. Se utilizó etanol 70%, en proporción de 4,5 ml de etanol por cada gramo de cáscara seca. Esta variación puede deberse a la calidad de naranja utilizada y la cantidad de pectina que esta posea en su cáscara.

En este estudio el rendimiento fue de 20.4%, que resulta ser mayor a otros estudios realizados en el país. Según Adossio, Paéz, Marín, Mármol y Ferrer (2005) a nivel industrial las cáscaras de frutos cítricos puede contener hasta cerca del 25% de sustancias pécticas. De la cáscara de limón según Ferrer (1996) obtuvo el 20.54% de rendimiento, mientras Adossio et al. (2005) afirma que del maracuyá el máximo rendimiento es 18.45%.

Es importante realizar capacitaciones, tanto a los operadores de la planta como a los distribuidores de materia prima. En este caso, especialmente a los vendedores de jugo de naranja, sobre BPM (Buenas prácticas de manufactura), debido a que se trata de un producto alimenticio y deben seguir normas de inocuidad alimentaria. Se sugiere abastecer de contenedores plásticos periódicamente sanitizados a los vendedores ambulantes para que depositen exclusivamente los residuos de naranja, y mantengan el mínimo contacto con vectores contaminantes como mosquitos.

En el diseño de la planta se muestra una sección de recuperación de metanol, este proceso se realizará con un filtro de carbón activado que se encargará de limpiar el alcohol utilizado para eliminar trazas ácidas y amargas que éste pueda contener. Una vez lavado el alcohol, puede utilizarse para precipitar la pectina líquida, o lavar la pectina precipitada.

Debido al color de la pectina obtenida, no cumple con las características demandadas para la elaboración de productos donde el color es una exigencia, como en las industrias lácteas. Se recomienda el uso de esta pectina para mermeladas y compotas de frutas y vegetales, así como también para pulpas de frutas, conservas y algunos productos de panadería y postres.

Si los clientes requieran pectina de color claro, se realizaría un proceso de filtrado con carbón activado de la pectina líquida antes de agregar el alcohol para precipitar. De esta manera el color será menor, y la acidez también bajaría, dejando finalmente un producto útil para procesos lácteos. El PVP (precio de venta al público) de la pectina purificada deberá ser mayor.

CONCLUSIONES

- Con el proceso seleccionado, se logró extraer pectina de alto grado de esterificación con un rendimiento del 20,4%, que constituye alto comparado con otros estudios que se han realizado en el país, o a partir de otras frutas.
- El diseño obtenido de la planta piloto no es complejo ni de alto costo y, conjuntamente con los resultados del estudio del mercado corrobora la viabilidad del proyecto.
- Debido a que la pectina se la obtiene en el país solo por importación, el presentar un proyecto para su elaboración a nivel nacional, es de suma importancia, ya que ayudaría a disminuir costos de producción en fábricas de alimentos y otros.
- El mínimo precio que esta planta puede ofrecer al mercado es de 16,85 \$/kg, mientras el precio actual que los consumidores artesanales manejan es de \$34 dólares el kilo, por lo tanto el proyecto se presenta de manera muy viable.
- Los beneficios ambientales que ofrece esta investigación es la reducción de gran cantidad de residuos sólidos que al momento van a los rellenos sanitarios, así como la eliminación de gases de efecto invernadero producidos por la descomposición de la materia orgánica que actualmente es generada por miles de toneladas de residuos de cáscara de naranja, subproducto de los vendedores ambulantes de jugo de esta fruta.
- En el ámbito de la matriz productiva, el proyecto desarrollado cumple con las expectativas que el gobierno busca para la implementación del desarrollo de la matriz productiva, ya que aumenta la producción nacional, en especial de un producto actualmente importado al 100%.

REFERENCIAS

- Adossio, R., Paéz, G., Marín, M., Mármol, Z., y Ferrer, J. (2005). Obtención y caracterización de pectina a partir de la cáscara de parchita (*Passiflora edulis f. flavicarpa* Degener) Resumen Introducción. Universidad del Zulia. Retrieved from http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182005000300004
- Aldana, D., Aguilar, C., Contreras, J., y Nevaréz, G. (2011). Moléculas pécticas: extracción y su potencial aplicación como empaque. *TecnoCiencia Chihuahua*, 2, 76–82. Retrieved from http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v5n2/data/Moleculas_pecticas_extraccion_y_su_potencial_aplicacion_como_empaque.pdf
- Arellanes, A., Jaraba, M., Mármol, Z., y Páez, G. (2011). Obtención y caracterización de pectina de la cascara del cambur manzano (*Musa AAB*) Pectin yield and characterization from “ Manzano ” banana peels (*Musa AAB*) Introducción. *Revista de Facultad de Agronomía de La Univesrsidad de Zulia*, 28, 523–539. Retrieved from http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.revfacagronluz.org.ve/PDF/octubre_diciembre2011/v28n4a2011523539.pdf
- Flores, R. B., Mariños, D. C., Rodríguez, N. B., y Rodríguez, S. (2013). *Agroindustrial Science*. *Agroindustrial Science*, 2, 77–89. Retrieved from <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/agroindscience/article/view/500>
- Morley, J. (2015). Análisis de factibilidad para la creación de una fábrica de pectina Morley. Universidad Internacional del Ecuador. Retrieved from <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/669%0A>
- Pagan, J., y Gilabert. (1999). Degradación enzimática y características físicas y químicas de la pectina del bagazo de melocotón. *Alicante : Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes*, 1999, 1–138. <https://doi.org/84-688-3807-1>
- Rodríguez, K., y Román, A. (2004). “Extracción y evaluación de pectina a partir de la cáscara de naranja de las variedades *Citrus sinensis* y *Citrus paradisi* y propuesta de diseño de planta piloto para su producción”. Universidad del Salvador. Retrieved from <http://ri.ues.edu.sv/5623/>
- Ywassaki, L. A., y Canniatti-brazaca, S. G. (2011). Ascorbic acid and pectin in different sizes and parts of citric fruits. *SciELO Analytics*, 31(2), 319–326. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612011000200007%0A>
- Zegada, V. Y. (2015). Pectin extraction from Orange peels waste by Microwave assisted Acid Hydrolysis (MWAH). *Investigación y Desarrollo*, 1(15), 65–76. Retrieved from http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2518-44312015000100007&script=sci_arttext

ARTÍCULO ORIGINAL

Recibido:

03/07/2019

Aprobado:

31/10/2019

Análisis químico y de peligrosidad de lodos del sistema de tratamiento de aguas residuales en la industria de palma

Chemical and hazard analysis of sludge of the wastewater treatment system in the industry of palma

Bastidas Chávez Pablo Ignacio

 <https://orcid.org/0000-0003-4515-9309>

 Universidad Central del Ecuador
 pibastidas@uce.edu.ec

Malacatus Cobos Paúl Nicandro

 <https://orcid.org/0000-0003-2417-7348>

 Universidad Central del Ecuador
 pnmalacatus@uce.edu.ec

Chuquitarco Moreno Pablo Andrés

 <https://orcid.org/0000-0001-6253-7450>

 Universidad Central del Ecuador
 pachuquitarco@uce.edu.ec

RESUMEN

El principal problema en los sistemas de tratamiento de aguas residuales de la industria de palma es la acumulación de lodos en las lagunas de oxidación, para extraer los lodos se instaló el geotubo, sin embargo, es necesario dar un destino final a los mismos. El objetivo de este trabajo fue analizar los componentes químicos y biológicos de los lodos generados en la laguna de oxidación N°4 y en el geotubo del sistema de tratamiento de aguas, determinando la peligrosidad e identificando el destino final del mismo. Además, se estableció si el floculante utilizado en el paso del lodo de la laguna hacia el geotubo incide en sus características químicas. Para esto, se realizaron tres muestreos en tres diferentes días y meses. Para la laguna de oxidación N°4 se recolectaron tres submuestras en diferentes puntos para formar una muestra compuesta y en el geotubo se tomaron muestras a 0,5 y 2 m de profundidad. Analizando parámetros agrícolas como NPK, se obtuvieron niveles altos de concentración de nitrógeno y fósforo, comparados con guías de fertilización, y niveles adecuados para el potasio, lo que indica que se puede emplear para uso agrícola. La corrosividad en base al pH del lodo está dentro del rango "no corrosivo" según la normativa. La reactividad, en base al nivel de cianuros se estableció como despreciable. La toxicidad por metales pesados, en cuanto a níquel, cromo, plomo y cadmio, resultaron bajo los niveles permisibles. La inflamabilidad de lodos, cualitativamente, se determinó que no registra presencia de gases inflamables. En el parámetro biológico infeccioso por concentración de coliformes totales, el resultado está bajo los límites permisibles. Finalmente, el lodo tanto de laguna como del geotubo resulta ser "no peligroso" según las normativas nacionales e internacionales y sus características químicas no son alteradas por el uso del floculante indicado.

Palabras clave:

lodos; laguna; geotubo; NPK; floculante.

ABSTRACT

The main problem in the wastewater treatment systems of the palm industry is the accumulation of sludge in the oxidation lagoons, to extract the sludge the geotube was installed, however, it is necessary to give a destination to them. The objective of this work was to analyze the chemical and biological components of the sludge generated in the oxidation lagoon No. 4 and in the geotube of the water treatment system, determining the danger and identifying its destination. In addition, it was established if the flocculant used in the passage of mud from the lagoon to the geotube affects its chemical characteristics. For this, three samples were taken in three different days and months. For the oxidation lagoon No. 4, three subsamples were collected at different points to form a composite sample, and samples at 0.5 and 2 m deep were taken in the geotube. Analyzing agricultural parameters such as NPK, high levels of nitrogen and phosphorus concentration were obtained, compared with fertilization guidelines, and adequate levels for potassium, indicating that it can be used for agricultural use. The corrosivity based on the pH of the sludge is within the "non corrosive" range according to the regulations. The reactivity based on the level of cyanides was established as negligible. Heavy metal toxicity, in terms of nickel, chromium, lead and cadmium, was below the permissible levels. The flammability of sludge, qualitatively, was determined not to register the presence of flammable gases. In the infectious biological parameter by concentration of total coliforms, the result is below the permissible limits. Finally, the mud of both the lagoon and the geotube turns out to be "non-hazardous" according to national and international regulations and its

chemical characteristics are not altered using the indicated flocculant.

Keywords:

Sludge; lagoon; geotube, NPK; flocculant.

INTRODUCCIÓN

El procedimiento industrial que tiene por objeto la extracción de aceite crudo del fruto de palma aceitera conlleva a la generación de aguas residuales industriales, las mismas son tratadas en sistemas de tratamiento en base a lagunas de oxidación. Uno de los residuos que se generan en el tratamiento de aguas son los lodos.

En el atlas global para el manejo de excreta, lodos residuales y biosólidos, publicado en el 2008 por United Nations Human Settlements Programme y la Comisión Canadiense de manejo de lodos, especifica que los países en vías de desarrollo no consideran los lodos residuales como un residuo a tratar por lo que se tiene una nula inversión en su manejo, tratamiento y disposición final (Pérez, 2016). Generalmente, se toman medidas temporales de manejo que a futuro provocan problemas adicionales como disminución de la eficiencia del tratamiento de efluentes y sanciones por parte de organismos de control ambiental. Con esta investigación se quiere atender a estos problemas en la empresa de extracción de aceite de palma, enfocándose en los lodos de la laguna de oxidación N°4 y el geotubo que almacena el lodo como un apoyo al tratamiento, teniendo en cuenta que en la mayoría de las industrias estos lodos se los elimina descargándolos a cursos de agua superficiales, sin considerar sus características físicas, químicas y biológicas que a menudo no están acorde a las normas relativas al cuidado del ambiente (Chisaguano, Malacatus y Paredes, 2017).

Los lodos generados en las plantas de tratamiento de efluentes industriales representan el 0,3% al 1% del volumen del agua tratada y en algunos casos llega hasta el 10% del volumen de agua tratada (Instituto Mexicano de tecnología del agua, 2000). En la investigación se determinó la humedad del lodo para cálculos y correcciones en muestra seca de los datos analizados.

Es necesario resaltar que la gestión y tratamiento de este tipo de residuos no solo conlleva un beneficio ambiental, sino también a un beneficio administrativo y económico. Si estos lodos pueden ser aprovechados como fertilizante según sus componentes sin que el floculante utilizado afecte su uso en el área agrícola. por todo esto la valorización de este residuo es importante, tanto en la recirculación y optimización del proceso como en el aprovechamiento en otras aplicaciones prácticas.

La extractora de aceite crudo de palma ha venido desarrollando actividades de remediación para el medio ambiente, buscando día a día metodologías a fin de evitar la contaminación con los desechos que produce. La planta de tratamiento de los efluentes consta de 4 lagunas de oxidación, por las cuales, pasan las aguas y sedimentos que salen

del proceso de extracción de aceite de palma, el final del tratamiento es la laguna N°4 que retiene bastantes sedimentos, se puede apreciar islas de lodos cuando baja el nivel de agua de un color pardo oscuro, indicio de material orgánico, en la superficie se aprecia la capa de una especie de musgo, por ello el dispositivo para disminuir la colmatación de los lodos es el geotubo instalado, por bombeo el lodo es traspasado al geotubo, en ese traslado se inyecta una concentración del polímero (poliacrilamida de alto peso molecular) para la floculación de sólidos suspendidos (Cogollo, 2010). El geotubo retiene y deshidrata el lodo para luego establecer el destino final del lodo. El problema en la planta de tratamiento es la colmatación de lodos que se han sedimentado y sobre todo en la laguna N°4, para solventar este problema se instaló el geotubo como apoyo al sistema de tratamiento. En la presente investigación se realizó los análisis del lodo de la laguna N°4 y del lodo retenido en el geotubo, con la toma de muestras y midiendo parámetros nutricionales con un análisis de NPK, y los parámetros de corrosividad en base al pH, reactividad, toxicidad por metales pesados, inflamabilidad y biológico infeccioso por número de coliformes totales, de este modo determinando si el lodo es peligroso y si el polímero utilizado causa alguna afectación al medio ambiente. Además, establecer recomendaciones y alternativas de aprovechamiento en la disposición final de los lodos, beneficio tanto para la empresa como para la población en general.

MATERIAL Y MÉTODOS

La extractora de aceite de palma se encuentra ubicada en la provincia de Esmeraldas, Cantón de Quinindé (Figura 1). Los lodos residuales se recolectaron en la laguna de oxidación N° 4 y en el geotubo del sistema de tratamiento de aguas durante 3 diferentes días y meses (Figura 2).

El objetivo del muestreo es recolectar una muestra representativa de los lodos en las dos zonas críticas que son: la laguna y el geotubo, que sea lo suficientemente pequeña para ser transportada y lo suficientemente grande para propósitos analíticos. (UNASAM – FCAM, 2009).

Se recolectó la muestra en la laguna de oxidación N°4 de la siguiente manera: cada día de muestreo se tomó una submuestra en tres diferentes puntos cerca de las orillas de la laguna en sitios al azar con forme lo establecido en la (Secretaría de Ambiente del Municipio de Quito, 2014), cada una de un kilogramo aproximadamente, para ser analizado en el laboratorio. Una vez recolectado las tres submuestras, se crea una muestra compuesta de tal manera que pueda ser representativa (Muestra 3). Este procedimiento se repitió en los tres muestreos realizados a semana seguida,seguida. Es decir, se recolectó en la laguna de oxidación N°4 un total de 9 submuestras de las cuales tres muestras compuestas fueron para los análisis de laboratorio (Figura 3).

En el geotubo, por su tamaño, altura y por la

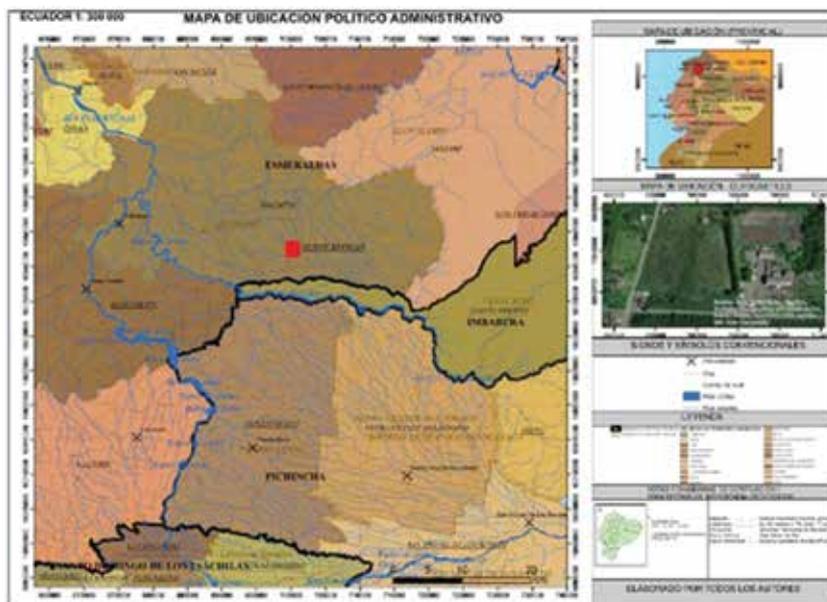


Figura 1. Mapa de ubicación de la extractora de aceite de palma. Prov. Esmeraldas

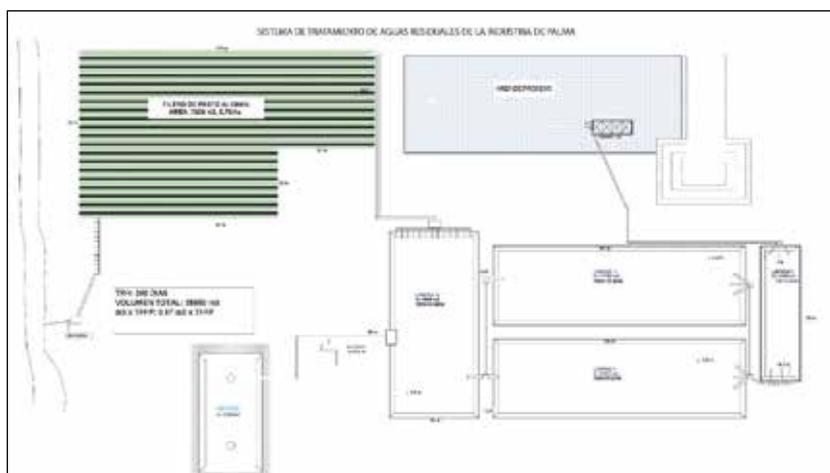


Figura 2. Sistema de tratamiento de aguas residuales

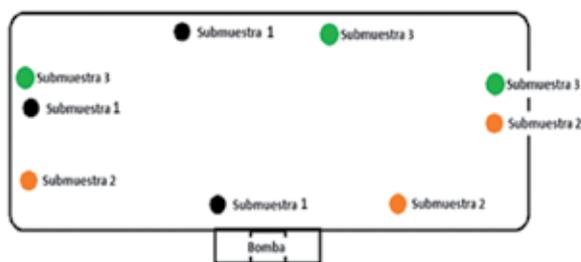


Figura 3. Esquema de muestreo en la laguna de oxidación N°4

apertura de recolección de las muestras, cada día de muestreo se tomaron muestras en dos puntos; uno en la parte superior a 0,5 m de profundidad (Muestra 1) y en la parte inferior del mismo a unos 2 metros de profundidad (Muestra 2), cada una de un kilogramo aproximadamente. Es decir, se recolectó en el geotubo un total de 6 muestras simples las mismas que fueron al laboratorio para análisis (Figura 4).



Figura 4. Esquema de muestreo en el geotubo

Todas las muestras fueron almacenadas en fundas ziploc, limpias, con cierre hermético para evitar cualquier riesgo de derrames y mezcla de las mismas. Cada muestra se etiquetó de la siguiente manera:

Laguna de oxidación N°4

1. Muestra 1: 0,5m de profundidad en el geotubo
2. Muestra 2: 2m de profundidad en el geotubo
3. Muestra 3: Formación de la muestra compuesta por las tres submuestras tomadas en la laguna de oxidación N°4 por cada muestreo.

Debido a la dificultad de tomar la muestra tanto en la laguna de oxidación N°4, como en el geotubo, se utilizó tubos PVC de 1 y 2 metros junto con corchos en las bocas superiores, de tal manera que se pueda extraer la muestra a presión y al vacío, a manera de una jeringa, absorbiendo el lodo, y manteniéndolo en el tubo. Esto sirvió para recoger la muestra de manera más eficiente a diferentes alturas.

Una vez tomadas las muestras fueron almacenadas en un cooler a una temperatura de 4°C y trasladadas a la ciudad de Quito. Una parte al laboratorio de la FIGEMPA (LABFIGEMPA) para realizar los análisis respectivos y la otra al laboratorio de Ciencias Químicas (OSP) para el análisis de la reactividad.

Las características de los lodos pueden variar en tiempos bastante prolongados como pueden ser en años, por ese motivo se realizó los muestreos y análisis a semana seguida. Por tanto, la investigación no se basó en cambios de características del lodo en el tiempo, sino más en la calidad del lodo bajo los parámetros ya explicados. Por este motivo la cantidad de muestras tomadas en los tres muestreos son suficientes para que sea representativo el análisis. Es decir, en la laguna de oxidación N°4 se tomaron en total 9 submuestras, de las cuales se formaron 3 muestras compuestas y en el geotubo se tomaron 6 muestras en total.

Diseño experimental

Los parámetros analizados en las muestras recolectadas fueron los siguientes: humedad, nitrógeno total, fósforo total, potasio, pH para corrosividad, reactividad, toxicidad en base a metales pesados como plomo, níquel, cromo y cadmio, inflamabilidad, biológico infeccioso con sus respectivas metodologías que se detalla en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros y métodos utilizados en la caracterización de lodos

Parámetros físico - químico	
Parámetro	Método
Nitrógeno Total Kjeldahl	8075 Nessler HATCH
Fósforo	EPA 3050B método de análisis espectrofotométrico con molibdato vanadato, método FIGEMPA
Potasio	EPA 3050B; Standard Method 3500K-B
Corrosividad pH	Standard Methods 4500-H ⁺ , 9045D
Reactividad	Normativa Estándar del laboratorio OSP de Ingeniería Química
Metales pesados (níquel, cromo plomo, cadmio)	EPA 3050B, Standard Method 3111B y Standard Method 3111D
Inflamabilidad	Método estándar del laboratorio de Petróleos FIGEMPA
Humedad	Método gravimétrico de incineración en mufla AOAC, 2005b
Parámetros microbiológicos	
Coliformes fecales	Método PETRIFILM AOAC, método oficial 991.14
Coliformes Totales	Método PETRIFILM AOAC, método oficial 991.14

Fuente: Métodos citados

Determinación de la humedad

Para determinar el contenido de humedad se utilizó la metodología ACT-TE-INQM 13-12. Los equipos empleados fueron: balanza analítica, vasos de precipitación de 50 ml, paletas, estufa y desecador.

Análisis NPK

Determinación de nitrógeno total

La metodología empleada para la determinación del

nitrógeno total se inició con el Método de Digestión para sólidos, procedimiento interno de laboratorio LABFIGEMPA, seguido de la preparación de la muestra con el método HACH 8075 para medición con el espectrofotómetro marca HACH, modelo DR/4000V.

Determinación de fósforo total

La metodología empleada para la determinación de fósforo total fue el Método de Digestión Ácida, procedimiento interno de laboratorio LABFIGEMPA, empleado para muestras ricas en materia orgánica y seguido de cálculo de factores de conversión a partir de la lectura de fosfato como P2O5 mg/L.

Los equipos e instrumentos empleados para esta metodología fueron: espectrofotómetro marca HACH, modelo DR/4000V, balanza analítica marca RADWAG, balones de 50 ml, plancha eléctrica, embudo, papel filtro, vasos de 50 ml, tubos de ensayo, soporte universal y pipetas de 1, 5 y 10 ml.

Determinación del potasio

En la determinación del potasio se usó la metodología de Digestión Ácida procedimiento interno del laboratorio LABFIGEMPA, junto con la metodología de absorción atómica EPA 3050B como base y parte de la metodología Standard Method 3111B.

Los equipos y materiales que se usaron para este procedimiento fueron: espectrofotómetro de absorción atómica marca PerkinElmer, modelo PinAAcle 900T, balanza analítica marca RADWAG, balones de 50 ml, tapones para balones, soporte universal, embudos, papel filtro, pipetas de 1, 5 y 10 ml, vasos de 50 ml, plancha eléctrica y tubos de ensayo.

Determinación de pH (corrosividad)

Para la determinación de Potencial de Hidrógeno se empleó los Standard Methods 9045, método empleado para medir el pH en muestras de suelos o residuos sólidos, líquidos y lodos. El valor del pH nos indica el nivel de acidez o alcalinidad presente en una solución, demostrando la concentración alta o baja de iones de hidrógeno presentes.

Los equipos e instrumentos empleados para la determinación del pH fueron: potenciómetro marca InoLab 720 en perfectas condiciones y muy bien calibrada, balanza analítica marca RADWAG, agitadores y vasos de precipitación de 50 ml.

Determinación de metales pesados (toxicidad)

Para encontrar los metales pesados se usó los métodos de Digestión Ácida, procedimiento interno de laboratorio LABFIGEMPA, que se emplea para muestras que contengan gran cantidad de materia orgánica, seguido del método de absorción atómica APHA Method 3111B como guía para medición de metales.

Los equipos que se utilizaron en este procedimiento fueron: espectrofotómetro de absorción atómica marca PerkinElmer, modelo PinAAcle 900T, balanza analítica marca RADWAG, balones de 50 ml, pipetas

de 1, 5 y 10 ml, soporte universal, embudo, papel filtro, vasos de 50 ml, plancha eléctrica y tubos de ensayo.

El procedimiento es similar a la determinación de fósforo total en cuanto a la digestión, preparación de la muestra. Una vez terminado el proceso de la muestra se midió los metales pesados utilizando el espectrofotómetro de absorción atómica (Tabla 2).

Tabla 2. Lista de metales analizados en LABFIGEMPA

Parámetro	Unidad	Método	Equipo principal	Límite de detección
Níquel				0,14
Cromo				0,08
Plomo	mg/l	Ref. EPA 3050B	Espectrofotómetro de absorción atómica	0,19
Cadmio			PerkinElmer	0,03
Potasio				0,04

Fuente: LABFIGEMPA

Determinación de inflamabilidad

La medición de la inflamabilidad se basó con el método para determinar los puntos de inflamación y combustión mediante copa abierta de Pensky Martens (HFP 380 Flash Point Tester), del laboratorio de Petróleos en la facultad FIGEMPA, método guía utilizado para determinar los puntos de inflamación y combustión por medio de una copa abierta, para productos de petróleo, líquidos y en este caso muestras de suelos (ASTM Internacional HACH, 2013). Es importante que el proceso se realice en un lugar libre de corrientes de aire con la finalidad que no altere su procedimiento.

Los equipos y materiales utilizados en esta práctica fueron: equipo de determinación de punto de inflamación Flash Point Tester marca HFP 380 Pnesky Martens, espátulas, termómetro, vasos de precipitación de 50 ml, tanque de gas industrial y fósforos.

Análisis microbiológico

En el parámetro microbiológico se usó la Guía 3M placas petrifilm, método oficial 991.14 para determinar a través del conteo las coliformes fecales y totales.

Los equipos utilizados en esta metodología fueron: pipeta automática, placas petrifilm, centrifugadora, incubadora y vasos de precipitación de 100 ml.

Debido a que la muestra es sólida, se necesitó la parte líquida de la mezcla para este análisis, sin que interfirieran sólidos suspendidos en la muestra por lo cual se requirió centrifugar la muestra, colocando 25 ml de la mezcla en los tubos para centrifugado en la centrifugadora y ponerlo por 5 minutos a velocidad media.

De la muestra centrifugada se colocó 1ml con el uso de pipeta automática en las placas petrifilm de manera cuidadosa.

Las placas fueron etiquetadas con el número de muestra y colocadas en la incubadora con una temperatura de 30 °C por unas 48 horas para proceder con el conteo e identificación de Coliformes totales.

RESULTADOS

Tabla 3. Registro de la humedad

Muestreo del 28/08/2018		
Muestra	%Humedad	Media ± SD
1	87,03	
2	88,89	87,47 ± 1,262
3	86,49	
Muestreo del 04/09/2018		
1	86,04	
2	87,69	87,74 ± 1,721
3	89,49	
Muestreo del 11/09/2018		
1	89,20	
2	89,79	89,62 ± 0,366
3	89,87	

Parámetros NPK

Tabla 4. Registro del nitrógeno total kjeldahl

Muestra	Lectura (mg/L)	P muestra (g)	Muestra seca (g)	Valor NTK (mg/kg)	% NTK (mg/kg)	Niveles críticos 2,5-3%
1	97,3	0,5626	0,073	50010,73	5,0	Abundante
2	85,2	0,5112	0,057	56276,35	5,63	Abundante
3	78,6	0,5587	0,075	39041,54	3,90	Abundante
Muestreo del 04/09/2018						
1	103,6	0,5084	0,071	54751,15	5,47	Abundante
2	77,5	0,5147	0,063	45880,43	4,58	Abundante
3	71,3	0,5962	0,063	42651,82	4,26	Abundante
Muestreo del 11/09/2018						
1	73,7	0,5525	0,060	46302,95	4,63	Abundante
2	73	0,5298	0,054	50594,34	5,05	Abundante
3	69,5	0,54	0,055	47640,80	4,76	Abundante

P muestra = peso de la muestra, NTK = nitrógeno total Kjeldahl

Tabla 5. Registro de fósforo total

Muestreo del 28/08/2018							
Muestra	Lectura (mg/L)	P muestra (g)	Ms en 2(g) de muestra	(mg/kg) P ₂ O ₅	(mg/kg) P total	% P total	Niveles críticos 0,15-0,23 %
1	20,4	2,00	0,26	98318,93	42927,98	4,29	Abundante
2	22,96	2,09	0,23	123882,49	54089,53	5,41	Abundante
3	20,52	2,33	0,32	81326,99	35508,97	3,55	Abundante
Muestreo del 04/09/2018							
1	20,20	2,20	0,31	82121,11	35855,70	3,59	Abundante
2	20,40	2,04	0,25	101568,21	44346,68	4,43	Abundante
3	16,40	2,24	0,24	87113,31	38035,39	3,80	Abundante
Muestreo del 11/09/2018							
1	17,70	2,06	0,22	99516,14	43450,71	4,35	Abundante
2	15,40	2,02	0,21	93263,37	40720,62	4,07	Abundante
3	16,50	2,27	0,23	89802,85	39209,70	3,92	Abundante

P muestra = peso de la muestra, Ms= muestra seca

Tabla 6. Registro del potasio

Muestreo	Muestra	mg/kg	Porcentaje	Niveles críticos 1-1,8%
28/08/2018	1	12453,73	1,25	Óptimo
	2	12388,25	1,18	Óptimo
	3	12714,28	1,64	Óptimo
04/09/2018	1	11838,45	1,24	Óptimo
	2	15135,66	1,51	Óptimo
	3	16742,75	1,64	Óptimo
11/09/2018	1	16372,37	1,27	Óptimo
	2	16375,59	1,67	Óptimo
	3	21204,36	2,12	Abundante

Parámetros CRETIB

Tabla 7. Registro de potencial de Hidrógeno (Corrosividad)

Muestreo del 28/08/2018						
Muestra	pH	Media	Rango para corrosivo		Temperatura (°C)	Media
			N. n. ≤ 2 o ≥ 12	N. in. ≤ 2 o ≥ 12		
1	7,54		No corrosivo	No corrosivo	19,4	
2	7,55	7,52	No corrosivo	No corrosivo	19,2	19,36
3	7,48		No corrosivo	No corrosivo	19,5	
Muestreo del 04/09/2018						
1	7,68		No corrosivo	No corrosivo	18,2	
2	7,6	7,60	No corrosivo	No corrosivo	18,2	18,20
3	7,52		No corrosivo	No corrosivo	18,2	
Muestreo del 11/09/2018						
1	7,32		No corrosivo	No corrosivo	18,3	
2	7,43	7,42	No corrosivo	No corrosivo	18,3	18,0
3	7,5		No corrosivo	No corrosivo	17,4	

N. n. = norma nacional, N. in. = normativa internacional.

Tabla 8. Registro de Cianuros (Reactividad)

Muestra	Masa de muestra (Kg)	Concentración (mg/Kg)	Media	Límites permisibles		
				N. n. < 250 mg CN /kg	N. in. < 250 mg CN /kg	N. n. uso Agrícola <0,9 mg CN/kg
1	1	0,19	0,1	Cumple	Cumple	Cumple
2	1	0,09		Cumple	Cumple	Cumple
3	1	0,02		Cumple	Cumple	Cumple

N. n. = norma nacional, N. in. = normativa internacional.

Tabla 9. Registro toxicidad por metales pesados

Muestreo	Parámetros	M 1 mg/kg	M 2 mg/kg	M 3 mg/kg	Límites permisibles					
					N. n. mg/kg	C/C	N. in. mg/kg	C/C	A.M 097 mg/kg	C/C
28/08/2018	Níquel	15,42	17,27	14,27	420	C	420	C	50	C
	Cromo	50,12	56,11	52,32	1200	C	1200	C	65	C
	Plomo	-	-	-	300	C	300	C	100	C
	Cadmio	-	-	-	39	C	39	C	2	C
04/09/2018	Níquel	21,14	21,91	29,75	420	C	420	C	50	C
	Cromo	63,42	59,75	50,99	1200	C	1200	C	65	C
	Plomo	-	-	-	300	C	300	C	100	C
	Cadmio	-	-	-	39	C	39	C	2	C
11/09/2018	Níquel	17,99	14,53	13,06	420	C	420	C	50	C
	Cromo	60,72	50,87	43,54	1200	C	1200	C	65	C
	Plomo	4,5	2,42	2,18	300	C	300	C	100	C
	Cadmio	-	-	-	39	C	39	C	2	C

M 1 = muestra 1, M 2 = muestra 2, M 3 = muestra 3, N. n. = norma nacional, N. in. = normativa internacional, C = cumple, NC = no cumple

Tabla 10. Registro de inflamabilidad

Muestra	Masa de muestra seca (g)	Punto de inflamación	Temperatura °C	Gases inflamables e inductores de explosión
1	50	-	90	Sin presencia
2	50	-	90	Sin presencia
3	50	-	90	Sin presencia

Tabla 11. Registro de análisis microbiológico infeccioso

Muestreo del 28/08/2018						
Muestra	No. Coliformes fecales	No. Coliformes Totales	No Coliformes totales final (UFC/kg)	Límites permisibles		
				N. n. 2*10 ⁹ UFC/kg	N. in. 2*10 ⁹ UFC/kg	
1	2	2	3999,12	Cumple	Cumple	
2	2	3	5987,90	Cumple	Cumple	
3	-	-	-	Cumple	Cumple	
Muestreo del 04/09/2018						
1	-	2	3972,67	Cumple	Cumple	
2	3	10	19950,92	Cumple	Cumple	
3	3	14	27971,47	Cumple	Cumple	
Muestreo del 11/09/2018						
1	-	28	55843,64	Cumple	Cumple	
2	3	25	49109,16	Cumple	Cumple	
3	-	-	-	Cumple	Cumple	

UFC = Unidades Formadoras de Colonias, N. n. = norma nacional, N. in. = normativa internacional

DISCUSIÓN

Caracterización del lodo

La humedad de los lodos en el geotubo está en el rango de 86,04% - 89,79%, mientras que la humedad de los lodos en la laguna de oxidación N°4 es mayor y está entre 86,49% y 89,87%. La función de deshidratar los lodos del geotubo no es eficiente en la actualidad, existe una mínima diferencia de humedad con la laguna de oxidación. Asimismo, el proceso de deshidratación lento, pues existen descargas de nuevos lodos por bombeo al geotubo y porque la membrana del geotubo no está limpia provocando que los microporos no permitan liberar el agua. Comparando con lo establecido en TENCATE GEOTUBE (2017), empresa creadora del geotubo y encargada de dar soluciones con geosintéticos, manifiesta que el geotubo tiene la función de remover el volumen de los lodos hasta un 90%, con una humedad final por lo menos del 60%, de este modo el volumen reduce, permitiendo que se vuelva a llenar nuevamente el geotubo con nuevos lodos. Además, en la revista TENCATE presenta casos de estudio donde se han aplicado el uso del geotubo, como por ejemplo; la "Limpieza de laguna de granja" en el sector de New Bern, Carolina del Norte, dando resultados de reducción de la humedad de los lodos hasta un 25% y removiendo hasta el 93% de los mismos. (TENCATE, 2007).

Parámetros agrícolas (N, P, K)

La relación de nitrógeno total de los lodos de la laguna de oxidación está en el rango de 3,90% y 4,76, mientras que en el geotubo el rango de nitrógeno total está entre 4,58% y 5,63%, no existe una diferencia considerable entre los lodos de la laguna de oxidación y el geotubo. Estos resultados sobrepasan los límites máximos de nitrógeno en comparación con estudios previos de investigación realizadas por (Owen, 2011), ya que, para emplear los lodos en la fertilización del suelo no debe exceder el rango de 0,1% a 0,4%.

Según estudios realizados, la alta concentración de nitrógeno se debe a que, en regiones de clima tropical, la alta temperatura hace que el desarrollo de reacciones, principalmente de nitrificación, sea inevitable. Es decir, por la descomposición de la alta concentración de materia orgánica se forman nitratos, amoníaco y amonio. Además, debido al proceso anaerobio no se lleva a cabo la remoción de nitrógeno, una prueba de esto es la eutrofización que se visualiza en la laguna.

La relación de fósforo en la laguna de oxidación está entre 3,55% - 3,92%, mientras que en el geotubo el fósforo tiene una concentración entre 4,07% - 5,41%. Los resultados de fósforo comparados con valores de diferentes autores citados por (Owen, 2011) son elevados, debido a que en su guía de fertilización de palma africana los valores críticos de fósforo en suelo están entre 0,15% y 0,23%.

La alta concentración de fósforo en los lodos se debe a la acumulación y descomposición de

la materia orgánica, provocando el exceso de nutrientes en la laguna de oxidación, entre estos el fósforo. La evidencia de esto es la eutrofización que se visualiza en la laguna de oxidación y como no se ha encontrado ningún cambio en su composición, el momento del traspaso del lodo hacia el geotubo, tendrá la misma tendencia de concentración de fósforo que en la laguna.

Las concentraciones de potasio en los lodos para la laguna de oxidación están entre 1,64% y 2,12%, en cambio, en el geotubo oscila entre 1,18% y 1,67%, con una diferencia mínima tanto para la laguna como para el geotubo. De los datos encontrados según investigaciones citadas por (Owen, 2011), los porcentajes adecuados para una fertilización deben estar entre 1% y 1,8% de potasio.

El potasio es el elemento que más absorbe la planta, por ende, se encuentra en todos los tejidos de la palma africana, en consecuencia, es factible deducir que los residuos que vienen de la extractora y van tanto a la laguna de oxidación como al geotubo tienen alta concentración de potasio.

La relación de NPK de los lodos es aproximadamente de 3:3:1, siendo así más factible usarlo como fertilizante cuando las plantaciones de palma tengan déficit de nitrógeno y fósforo.

Potencial hidrógeno (corrosividad)

En los tres muestreos realizados tanto en la laguna de oxidación como en el geotubo, el pH estuvo entre 7,43 y 7,68 indicando que los lodos tienen un pH ligeramente neutro. Estos valores van de acuerdo con las normativas ambientales nacionales (Resolución Nacional 0002-SA-2014) e internacionales (NOM-052-SEMARNAT-2005) donde se indica que el rango para que este material sea corrosivo debe ser menor o igual a 2 y mayor o igual a 12, corroborado según los estudios realizados por Soler (2011) "el pH es relativamente neutro debido a que en el proceso de extracción no se utilizan productos químicos que modifiquen las propiedades físico químicas de los lodos, por tanto, no se altera el pH natural del agua" y en el tratamiento de las aguas no se introduce ningún tipo de agente químico, resultando un lodo con pH neutro.

Análisis de reactividad de los lodos

En el análisis de reactividad en base a la concentración de cianuros se obtuvo valores bastante despreciables, como, 0,02 mg CN/kg en la laguna de oxidación N°4 y en el geotubo valores entre 0,09-0,19 mg CN/kg. Si comparamos estos resultados con los valores establecidos por la norma oficial mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, la concentración de cianuro no debe sobrepasar los 250 mg CN/kg. Además, en el A.M. 097 de criterios para uso y remediación de suelo, se establece que el límite permisible para usos agrícolas debe ser de 0,9 mg CN/Kg. No existen investigaciones similares de este caso de estudio para reactividad en lodos, pero se tiene evidencias de reportes de dicho análisis realizados en los lodos del sistema de tratamiento

de aguas residuales de la industria OLEOCASTILLO, confirmando que no hubo reacción visible de reactividad en sus lodos (GRUNTEC, 2012).

Análisis tóxico por metales pesados

La concentración de níquel encontrada en los lodos de la laguna de oxidación N°4, a partir de los tres días de muestreo, está en un rango de 13,06-29,75mg/kg y la concentración en el lodo del geotubo está en el rango de 14,53-21,91mg/kg, si comparamos con los límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos de la normativa NOM-004-SMART-2002, la concentración de 420 mg/kg de níquel es catalogada como excelente, lo que indica que el lodo analizado tanto en la laguna de oxidación como en el geotubo tiene una concentración mínima en relación a la norma. También, según los criterios del A.M. 097, para uso y remediación de suelo, el níquel tiene que estar hasta un nivel de 50 mg/kg para uso agrícola y los lodos analizados se encuentran bajo el nivel mencionado.

Respecto al cromo, para la laguna de oxidación N°4, se encuentra entre 43,54-52,32mg/kg y en el geotubo entre 50,12-63,42 mg/kg, no hay una diferencia tan apreciable entre los valores de la laguna y del geotubo. Asimismo, comparando los datos establecidos de la normativa NOM-004-SMART-2002, nos da un valor de 1200 mg/kg de cromo catalogado como un nivel excelente para lodos, con los resultados de cromo analizado podemos decir que tiene una concentración mínima. De la misma manera, comparando con los valores del A.M. 097 en criterios para uso y remediación de suelo, el cromo puede ser catalogado para uso agrícola ya que su concentración no sobrepasa los 65 mg/kg recomendados.

En los dos primeros muestreos del lodo realizados no se detectó presencia de plomo tanto en la laguna de oxidación N°4 como en el geotubo. Sin embargo, el tercer muestreo presentó un valor de 2,18 mg/kg para la laguna de oxidación y valores entre 2,42-4,50 mg/kg para el geotubo. De acuerdo con la normativa NOM-004-SMART-2002 el plomo debe estar bajo los límites de 300 mg/kg y según el A.M. 097 para uso agrícola y para remediación de suelo el plomo debe estar en un nivel de 100 mg/kg.

Una de las causas por las que no se detectó plomo en los dos primeros muestreos fue debido a las interferencias que se pueden presentar, ya que en el análisis del tercer muestreo la cantidad de plomo es bastante despreciable y por la heterogeneidad de la muestra y la dificultad de homogeneizar el lodo en la laguna de oxidación y en el geotubo.

No se evidenció la presencia de cadmio en los tres muestreos realizados tanto en la laguna de oxidación N°4 y en el geotubo. Las concentraciones son mínimas en el lodo, ya que el límite de detección del espectrofotómetro es hasta 0,03mg/l.

Análisis de inflamabilidad de los lodos

En este análisis, método cualitativo para los lodos de la laguna de oxidación N°4 y del geotubo, no presentó

ningún indicio de reacción inflamable, confirmando que no existen vapores inflamables capaces de causar un incendio en el lodo. Según estudios realizados por (Esparza, 2019) “ningún cuerpo arde en su masa o volumen, sino que lo que se quema son los vapores que se desprenden al alcanzar las temperaturas de inflamación”, en este caso solo se desprendió vapores de agua por la humedad que presenta el suelo siendo estos inertes a causar alguna reacción inflamable corroborando los resultados obtenidos de la investigación. Por otro lado, tomando en cuenta estudios del parámetro de inflamabilidad que se han realizado con anterioridad en lodos del sistema de tratamiento de aguas residuales de la industria OLEOCASTILLO, no se han presentado vapores inflamables de los mismos. (GRUNTEC, 2012).

Análisis microbiológico de los lodos

Es difícil hacer el análisis microbiológico de lodos ya que se necesita una sustancia libre de material suspendido para realizar la siembra de microorganismos, este material suspendido causa interferencia en la visualización de los microorganismos plantados. Sin embargo, se realizó el análisis evitando al máximo estas interferencias, pero en sí, son valores que están por debajo de los límites permitidos que dicta la Resolución nacional No. 0002-SA-2014, 2014 y la normativa internacional NOM-004-SEMA-2002, 2002. Ahora, tomando en consideración investigaciones sobre análisis microbiológicos, los valores obtenidos son similares con el estudio realizado por Malacatus, Paredes y Chisaguano (2017) en “Análisis de generación – características tóxicas y biológico infecciosas de lodos de la Potabilizadora los Álamos, observando que sus resultados obtenidos de criterios microbiológicos se encuentran bajo los límites permisibles”, mientras que en análisis de laboratorio realizado por GRUNTEC (2012) en el sistema de tratamiento de aguas industriales de la industria OLEOCASTILLO, se apreció resultados de parámetros microbiológicos bajo los límites permisibles.

CONCLUSIONES

Con respecto al nitrógeno y fósforo total del lodo tanto en la laguna de oxidación como en el geotubo, sobrepasan los límites críticos óptimos de la guía de fertilización que se cita: para nitrógeno 2,5 % – 3% y para fósforo de 0,15 % - 0,23%. Por otro lado, las concentraciones de potasio se encuentran entre los niveles críticos de 1 % - 1,8%, es decir tiene una concentración óptima. Por este motivo se determinó que el lodo es rico en nutrientes, ideal para utilizarlo como fertilizante de la plantación de palma; los datos obtenidos en el laboratorio nos dan una relación N, P, K de 3:3:1 para el lodo.

El lodo tanto en la laguna de oxidación N°4 como en el geotubo tienen un pH que varía de 7,43 - 7,68 lo que significa que el lodo no es corrosivo, pues se encuentra fuera del rango de corrosividad.

Para la reactividad, la concentración de cianuro

en el lodo de la laguna de oxidación N°4 es de 0,02 mg CN/kg y en el geotubo es de 0,09-0,19 mg CN/kg, por tanto, no son un material reactivo, ya que es menor a 250 mg CN/Kg, mucho menos del límite permisible. De igual manera, puede ser empleado para uso agrícola según el A.M. 097 debido a que no supera los límites de 0,9 mg CN/Kg.

En la toxicidad por metales pesados de los lodos tanto en la laguna de oxidación N° 4 como en el geotubo, los resultados de los metales níquel, cromo, plomo y cadmio, están bajo los límites permisibles según las normativas vigentes; es decir, el lodo no es tóxico.

En la inflamabilidad de los lodos de la laguna de oxidación N°4 y del geotubo, no se registra la presencia de gases volátiles inflamables ni inductores de explosión, por lo tanto se determinó que no es inflamable.

Los análisis microbiológicos en base a unidades formadoras de coliformes totales, indican valores por debajo de los límites establecidos por las normativas nacionales e internacionales, con lo cual se concluye que los lodos analizados son catalogados como desechos biológicos no peligrosos.

Por los resultados de los análisis CRETIB obtenidos, comparando con la Legislación Ambiental vigente nacional e internacional se comprueba que el lodo no es peligroso.

Como no existe una diferencia significativa entre los valores de la caracterización de los lodos de la laguna de oxidación y del geotubo, se puede establecer que el polímero no causa ningún tipo de cambios en los componentes fisicoquímicos, biológicos y agrícolas.

Los lodos son considerados no peligrosos por lo que su destino final puede ser un relleno sanitario sin causar afectación ambiental.

RECOMENDACIONES

Realizar un análisis de metales pesados cada determinado tiempo, ya que, la concentración de cromo se encuentra muy cerca del límite permisible según el A.M. 097 y no puede ser recomendable directamente para uso agrícola.

Emplear un procedimiento para disminuir la concentración de metales pesados si la situación lo requiere.

Realizar un análisis del procedimiento para una buena dosificación del lodo en cantidades necesarias hacia utilizarlo como fertilizante. El procedimiento debe contar con un tratamiento para los lodos que dependerá mucho de las características requeridas por la plantación de palma a fin de que cumplan con los requisitos y parámetros necesarios.

Se puede mezclar este lodo con otros materiales para disminuir las concentraciones de nitrógeno y fósforo, si se requiere, después del análisis que se realice para distribuir el lodo y según las necesidades de la plantación.

Una vez que los lodos son considerados como no peligrosos, se puede también trasladarlos a rellenos

sanitarios autorizados, pues el impacto ambiental será mínimo y puede formar parte del relleno sanitario.

Mantener la limpieza de la membrana del geotubo, tratando de que no crezca maleza en las paredes del geotubo para que sea más eficiente la deshidratación de los lodos.

REFERENCIAS

- ASTM Internaciona HACH, (2013). Manual de análisis de agua.
- Acuerdo Ministerial 097 (2015). "Anexo 2 del libro VI del texto unificado de legislación secundaria del misterio del ambiente: Normas de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados" en Ministerio del Ambiente. [En línea]. Ecuador, disponible en: http://gis.uazuay.edu.ec/ierse/links_doc_contaminantes/REGISTRO%20OFICIAL%20387%20-%20AM%20140.pdf. Revisado: 10/10/2018.
- Chisaguano, W., Malacatus, P., y Paredes, Y. (2017). Análisis de generación características tóxicas y biológico infecciosas de lodos de la potabilizadora los Álamos. FIGEMPA Investigación y desarrollo, 7.
- Cogollo, J. (2010). Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclورو de aluminio. Revista DYNA, vol. 78, No. 165, 20.
- Esparza, F., (s.f.) "Combustibles Sólidos, Líquidos y Gaseosos" en BS. España, Bomberos de Navarra Nafarroako Suhiltzaileak.
- GRUNtek Environmental Services, (2012), Reporte de análisis. Ecuador, GRUNtek Environmental Services.
- HACH., (2000). "Manual de análisis de agua" en HACH COMPANY. [En línea]. EE. UU., Disponible en: <https://www.hach.com/asset-get.download.jsa?id=7639984469>. Revisado: 19/09/2018.
- Instituto Mexicano de tecnología del agua. (2000). Tratabilidad de los lodos producidos en la potabilización del agua en coordinación de tratamiento y calidad de Agua. México.
- Malacatus, P., Paredes, Y., y Chisaguano, W., (2017). "Análisis de generación – características tóxicas y biológico infecciosas de lodos de la Potabilizadora los Álamos" en FIGEMPA: INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO. Año II, vol. I, No. 1. Enero-marzo 2017, pp. 5-6.
- NOM-004-SEMARNAT-2002, (s.f.). "Protección ambiental. - Lodos y biosólidos. - Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. México.
- Norma Oficial Mexicana. NOM-052-SEMARNAT-2005. "Características, procedimiento de identificación, clasificación y los listados de residuos peligrosos" en Diario oficial de la Federación. [En línea]. México, disponible en: http://www.inb.unam.mx/stecnica/nom052_semarnat.pdf. Revisado: 05/07/2018.
- Norma Oficial Mexicana. NOM-004-SEMARNAT-2002. "Protección ambiental. - Lodos y biosólidos. - Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final" en Diario oficial de la Federación. [En línea]. México, disponible en: <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/ecol/semarnat004.pdf>. Revisado: 18/07/2018.
- Owen, E. (2011). Fertilización de la palma africana (*ElaeisGuineensis*Jacq.) en Colombia. Revista Palmas. Volumen 13, número 21992., 40-49.
- Pérez, M. (2016). Tratamiento de lodos residuales procedentes de planatas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de metales. Tesis de ingeniería. Ecuador, Carrera de ingeniería ambiental, Universidad Politécnica Salesiana., 150.
- Secretaría de Ambiente del Municipio de Quito, (2014). Resolución Nacional 0002-SA-2014. Quito.
- Soler, F., (2018). "Aceite de Palma: Cultivo, Procesos de Obtención, Refinación y Transformación" en LIPSA [En línea]. Ecuador, disponible en: <http://www.aiqs.es/uploads/manager/article/7/2018/03/16/20180316120421-0559.pdf>
- TENCATE Gotube (2017) "La solución de deshidratación de alto volumen y bajo costo" en Soluciones de desagüe ambiental. [En línea]. Georgia, disponible en: <https://www.tencategeotube.com/en/solutions/environmental-dewatering>
- TENCATE Geotube (2007) "textiles industriales Sistemas de filtración" en Tecnología de filtración Geotube. [En línea]. Georgia, disponible en: <https://es.slideshare.net/slideshare/gp/geotubos-tencate-secado-de-lodos>
- UNASAM – FCAM. (2009). Procedimiento de muestreo de agua superficial. Sistema de gestión de calidad – NTP ISO/IEC 17025.

Desarrollo y evaluación preliminar de un índice climático simple para detección estacional de incendios forestales para Victoria, Australia

ARTÍCULO ORIGINAL

Recibido:

04/12/2018

Aprobado:

31/10/2019

Development and preliminary testing of a simple seasonal fire weather index for Victoria, Australia

Pazmiño Daniel

Escuela de Ciencias de la Tierra, Universidad de Melbourne, Parkville, VIC, Australia
daniel.pazmino.v@gmail.com

Pezza Alexandre Bernardes

Consejo Regional de Wellington, Universidad de Wellington
alex.pezza@gw.govt.nz

Karoly David

<https://orcid.org/0000-0002-8671-2994>
Escuela de Ciencias de la Tierra, Universidad de Melbourne, Parkville, VIC, Australia.
dkaroly@unimelb.edu.au

RESUMEN

El Índice de Incendios Forestales de McArthur (FFDI, por sus siglas en inglés), es la herramienta más utilizada para investigar el clima de incendios forestales en Australia. Sin embargo, son escasos los avances en este campo en Australia desde el desarrollo del FFDI en 1967. El presente estudio tiene como objetivo desarrollar un índice simple para el análisis del clima de incendios forestales en Victoria, Australia. El índice propuesto "Índice Estacional Victoriano de Incendios Forestales" (VSBI por sus siglas en inglés) incorpora conocimiento local y de precursores remotos del clima de incendios forestales en esta región. Este índice fue diseñado para Victoria debido a que esta es una de las regiones más propensas a la ocurrencia de incendios forestales en el mundo. La formulación del VSBI se basó en datos locales de clima de incendios e indicadores de "El Niño Oscilación del Sur". Este índice es una alternativa al FFDI que se basa en una compilación simple. Usando observaciones de estaciones meteorológicas, el VSBI y métricas estacionales del FFDI, se demostró un incremento en la tendencia al peligro de incendios forestales en Victoria durante el período 1974-2010. Adicionalmente, el VSBI demuestra capacidad para predecir el clima en temporadas extremas de incendios forestales. No obstante, la capacidad del VSBI para predecir incendios forestales per se es moderada. Estos resultados demuestran que un índice simple como el VSBI puede ser una alternativa útil a métricas tradicionales que miden el clima de incendios forestales en Australia.

Palabras Clave:

Peligro de incendios; variabilidad climática; riesgo; historia de incendios; prevención

ABSTRACT

The McArthur Forest Fire Danger Index (FFDI) is

the most common tool to investigate fire weather in Australia. However, there have been scarce advances in the creation of fire weather metrics in this country since the FFDI development in 1967. This study aims to test a simple fire weather index for Victoria, Australia. The proposed index "Victorian Seasonal Bushfire Index" (VSBI) incorporates knowledge of local and remote fire weather drivers for this region. The index was designed for Victoria since it is one of the most bushfire prone regions in the world. The VSBI formulation is based on local fire weather data and El Niño-Southern Oscillation indicators. The index is a seasonal alternative to the FFDI with a simple compilation. Using weather stations observations, the VSBI and seasonal metrics of the FFDI show an increasing trend in fire danger in Victoria during the period 1974-2010. Additionally, VSBI and FFDI show strong correlations during the antecedent (September-October-November) and concurrent (December-January-February) bushfire seasons. Moreover, the VSBI shows a strong fire weather seasonal forecasting skill. The VSBI fire activity forecasting skill is moderate. These results show that a simple index like the VSBI can be a useful alternative to traditional fire weather metrics in Australia.

Keywords:

Fire danger; climate variability; risk; fire history; prevention

INTRODUCCIÓN

Los índices de clima de incendios cuantifican el riesgo que las condiciones climáticas suponen en la ocurrencia y el comportamiento de estos. También son métricas útiles para evaluar los cambios en el peligro de incendios durante largos períodos de tiempo. El uso del Índice de Peligro de Incendios Forestales de McArthur ("FFDI" por sus siglas en

Inglés) (McArthur, 1966, 1967) ha sido común en Australia. Esta sección describe el uso del FFDI y sus deficiencias.

El FFDI ha sido la base para entender el clima de incendios en Australia. Williams y Karoly (1999) encontraron que los eventos de "El Niño" aumentan el peligro de incendios en la mayor parte del centro y este de Australia. Long (2006) descubrió que el clima de incendios extremos (incluso catastróficos) en Victoria ocurrió con un viento que circulaba desde el norte o noroeste. Blanchi et al. (2010) demostraron que la mayoría de las pérdidas de viviendas durante incendios forestales en Australia ocurrieron en los días con condiciones climáticas extremas que favorecen la ocurrencia de incendios. Lucas (2010) desarrolló una base de datos histórica del clima de incendios para Australia utilizando datos de estaciones meteorológicas. Clarke et al. (2013) demostraron que el modelo de investigación y pronóstico del clima (WRF) (Skamarock et al., 2008) fue útil para simular la distribución espacial del peligro de incendios en el sureste de Australia. Engel et al. (2013) examinaron la variabilidad espacial y temporal del peligro de incendio durante los incendios extremos del "Sábado Negro". Estos estudios utilizaron el FFDI para representar el clima de incendios en Australia. A nuestro entender, el FFDI no ha sido utilizado internacionalmente. Sin embargo, Field et al. (2015) sugieren que se utilice el FFDI para contrastar sus resultados en el desarrollo de un conjunto de datos meteorológicos globales de incendios utilizando el índice canadiense de clima de incendios (FWI por sus siglas en Inglés) (Van Wagner, 1974).

El FFDI también se ha utilizado para analizar las tendencias climáticas asociadas a incendios. El clima que promueve incendios en el sureste de Australia se ha vuelto más peligroso. Lucas et al. (2007) investigaron las tendencias del clima de incendios durante el período 1973-2007 en el sureste de Australia. Encontraron que había tendencias positivas significativas en varias métricas del FFDI. Clarke et al. (2013) concuerdan con las conclusiones de Lucas et al. (2007). Clarke et al. (2013) se basaron en el trabajo de Lucas (2010) calculando el FFDI en más estaciones, extendiendo el período de análisis y homogeneizando los datos de velocidad del viento para los cálculos. Clarke et al. (2013) analizaron tendencias con métricas del FFDI y encontraron que hay un aumento significativo en el peligro de incendios en Australia, especialmente en el sureste del continente.

Por otro lado, la investigación acerca de proyecciones climáticas del futuro clima de incendios ha recibido más atención. Las proyecciones climáticas que utilizan el FFDI sugieren que el peligro de incendio continuará su tendencia creciente en el sureste de Australia. Lucas et al. (2007) determinaron que la cantidad de días con clima extremo que promueven incendios podrían experimentar un aumento en el rango de 15% a 65% para 2020 en

relación con 1990. Hasson et al. (2009) mostraron que la frecuencia de los eventos extremos de incendios forestales aumentará a 1 o 2 por año a finales del siglo XXI. Clarke et al. (2011) argumentan que se espera un mayor riesgo de incendio en el siglo XXI. Este estudio también muestra evidencia de que las futuras temporadas de incendios forestales podrían comenzar antes y ser más prolongadas.

La mayoría de los estudios utilizan el FFDI para describir el clima con el que ocurren incendios en Australia. A pesar de su aceptación por parte de la comunidad científica, el FFDI tiene importantes deficiencias. En primer lugar, la investigación empírica es la base de este índice. Por lo tanto, su ecuación puede no representar la relación física real entre sus variables. El índice no considera la influencia de la topografía en el clima del incendio. Además, la calibración del FFDI consideró las características de la vegetación del sureste de Australia. En consecuencia, puede no representar condiciones de incendio en otras regiones del continente. Incluso el lenguaje de las clasificaciones de riesgo de incendios del FFDI también han sido cuestionadas (VBRC, 2009). Después de los incendios del "Sábado Negro", las calificaciones de FFDI se actualizaron para representar eventos catastróficos como este.

Las críticas al FFDI se han equilibrado con estudios que demuestran su eficiencia. Por ejemplo, Dowdy et al. (2009) presentaron un estudio comparativo del FFDI y el ampliamente utilizado FWI canadiense. La investigación matemáticamente deconstruyó los dos índices para establecer comparaciones. El estudio encontró que ofrecen resultados comparables en el contexto australiano. A pesar de sus limitaciones, el FFDI sigue siendo la base de la investigación del clima de incendios en Australia.

El FFDI estima el riesgo de incendios forestales en función de las condiciones meteorológicas actuales (diarias) y las precipitaciones antecedentes. Aunque, adaptar este índice para pronosticar el clima estacional que promueve incendios es una tarea más compleja. Un nuevo índice meteorológico de incendios podría aprovechar las investigaciones que vinculan la actividad de incendios con los impulsores climáticos remotos.

El clima de Victoria tiene fuertes influencias remotas. El Niño Oscilación del Sur (ENOS) y el Dipolo del Océano Índico (IOD por sus siglas en Inglés) son importantes impulsores de la variabilidad climática interanual en Victoria (Verdon, Kiem and Franks, 2004) y sus referencias. Estos controladores pueden producir condiciones más húmedas o secas en esta región. Esta influencia depende de la fase de cada modo de clima. Por ejemplo, los eventos fuertes de "El Niño" pueden traer condiciones cálidas y secas a Victoria (BoM, 2016). Lo contrario es cierto para los eventos de "La Niña". Estas variaciones climáticas pueden fomentar eventos catastróficos de incendios forestales en esta región.

Tasmania y Victoria ofrecen habilidades de pronóstico de actividad de incendios utilizando los

índices de El Niño de Oscilación del Sur (ENOS) (Nicholls and Lucas, 2007; Harris, Nicholls and Tapper, 2013). Nicholls y Lucas (2007) correlacionaron los datos sobre el área quemada en Tasmania con las variables climáticas y los indicadores ENOS. Su análisis abarcó el período de 1952 a 2004. El estudio encontró que la precipitación de invierno es la principal variable de la actividad de incendios en el verano. Esta investigación también estableció que los valores de temperaturas superficiales del mar (SST por sus siglas en inglés) en invierno están fuertemente correlacionados con el área quemada en verano. Por otro lado, Harris et al. (2013) realizaron un enfoque similar para Victoria. En este estudio, los autores también correlacionaron los datos de área quemada con los índices ENOS y las variables climáticas. El estudio abarcó desde 1972 hasta 2010 y determinó que la presión de vapor a las 15:00 horas durante la temporada de septiembre a octubre y noviembre proporcionan la mejor habilidad de pronóstico. También encontró que los índices ENOS ofrecen una habilidad moderada para pronosticar incendios en Victoria.

Los incendios forestales en Victoria han producido impactos masivos. Por ejemplo, la mitad de las pérdidas económicas en Australia debido a incendios forestales ocurrió en esta región (Luke and McArthur, 1978). La mayoría de estos impactos corresponden a eventos catastróficos mayores (Blanchi et al., 2012). Tres de las catástrofes más graves fueron "Black Friday" (1939), "Ash Wednesday" (1983) y "Black Saturday" (2009) (DEPI, 2014). Las condiciones climáticas estacionales han desempeñado un papel clave en el desarrollo de estos eventos.

Este estudio tiene como objetivo desarrollar y probar un índice alternativo del clima que promueve incendios forestales en Victoria, Australia. Este nuevo índice combina linealmente tres variables climáticas del fuego (temperatura, humedad relativa y precipitación), que tienen una influencia estacional en la sequedad de la vegetación que potencialmente se convierte en combustible para incendios. El índice también incorpora en su formulación lineal

un parámetro de "El Niño" para probar si este factor agrega la habilidad de pronóstico estacional al nuevo índice. Esta investigación es importante porque Victoria, Australia, es una de las regiones más propensas a incendios forestales en el mundo (2009 VBRC, 2010). Por lo tanto, sería beneficioso probar alternativas a las métricas actuales del clima de incendios, especialmente si aportan habilidades de pronóstico estacional con el fin de prepararse mejor para las temporadas de incendios extremos.

El artículo está estructurado de la siguiente manera: Se describe el área de estudio, los registros de incendios utilizados, métodos aplicados para desarrollar el "Índice Estacional Victoriano de Incendios Forestales" (VSBI, por sus siglas en inglés), así como detalles adicionales sobre el FFDI. A continuación describe los resultados del estudio, incluye estadísticas que vinculan incendios forestales en Victoria con los eventos ENOS, series de tiempo que comparan las métricas estacionales del FFDI con el VSBI y las correlaciones que utilizan el nuevo índice para investigar las relaciones estacionales del clima con los incendios forestales en Victoria. Finalmente se discuten los resultados y presentan comentarios finales.

MÉTODO

Área de estudio

El estado de Victoria en el sureste de Australia en la figura 1, es una región propensa a incendios forestales. Las condiciones climáticas inducen largas temporadas de incendios en Victoria. Su régimen de incendios comprende la temporada de verano austral de diciembre a febrero, según el Australian Bureau of Meteorology (BoM) (BoM 2009). Durante estos meses la actividad del fuego es más intensa. Aunque, los incendios forestales severos también pueden ocurrir en noviembre y marzo.

Fuentes de datos de incendios forestales

Este estudio utilizó dos conjuntos de datos de incendios forestales. La primera base de datos pertenece al Department of Environment, Land,

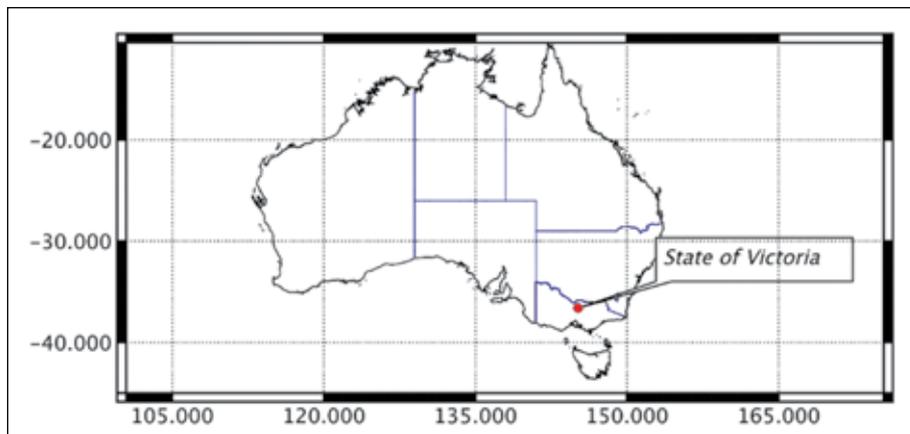


Figura 1. Ubicación de Victoria, Australia

Water and Planning (DELWP) del Gobierno del Estado de Victoria. Este conjunto de datos emite una compilación de incendios forestales desde 1900 hasta el presente. Además, proporciona el área quemada por cada evento de incendio forestal. La base de datos de DELWP difunde información oficial. Por lo tanto, se seleccionó como la principal fuente de datos de incendios forestales para los análisis. Sin embargo, la metodología para su compilación no ha sido publicada o revisada por pares. Por lo tanto, el uso de un conjunto de datos alternativo de incendios forestales que cubra el mismo período fue necesario para validar esta información.

Los investigadores en Risk Frontiers (Macquarie University) desarrollaron una base de datos de ocurrencia de peligros naturales ("PerilAUS"). Este conjunto de datos comprende eventos como ciclones tropicales, inundaciones e incendios forestales en Australia. La información abarca más de doscientos años hasta el presente (Haynes et al., 2010). La información se validó con periódicos locales e información oficial cuando fue necesario (Crompton et al., 2010). Según Coates (1996), el subconjunto de incendios forestales de esta base de datos se desarrolló inicialmente en 1991 con información de la Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO).

Las dos bases de datos utilizadas tienen información a partir de principios del siglo XX. No obstante, sus definiciones de incendios forestales son diferentes. El conjunto de datos de DELWP incorpora eventos de incendio, incluida la zona

quemada. Por otro lado, el conjunto de datos de Risk Frontiers no incluye esta información y solo informa la ocurrencia de eventos "importantes" (informados en los periódicos). En consecuencia, fue necesario investigar los umbrales de área quemada en el conjunto de datos de DELWP. Este proceso permitió comparaciones con la base de datos de Risk Frontiers (RF). Según este análisis preliminar, ambas bases de datos arrojan resultados similares desde 1961 hasta 2010 (último año de información disponible). Los resultados fueron comparables al establecer un umbral de área quemada de 10,000 hectáreas o más para definir un evento de incendio forestal extremo en el conjunto de datos DELWP. Consecuentemente, este umbral arbitrario se usó en esta investigación porque los conjuntos de datos "coinciden mejor" con esta definición (incendios forestales > 10,000 Ha). La información permitió investigar patrones a gran escala relacionados con la ocurrencia de incendios forestales, así como las relaciones estacionales entre el clima y los incendios forestales. El archivo de Material suplementario proporciona detalles de las fechas de incendio forestal utilizadas en esta investigación.

Anomalías climáticas vinculadas a los eventos de incendios forestales

Se realizó un análisis compuesto para describir las condiciones generales (promedio) prevalecientes de Victoria durante los incendios forestales. Anomalías estacionales compuestas se calcularon para la primavera y el verano austral. Estos compuestos

Regiones del Índice Victoriano de Incendios Forestales Estacionales (VSBI). La gráfica muestra estas áreas sobre los compuestos estacionales de anomalías de la temperatura de la superficie (T) y la temperatura de la superficie del mar (SST) durante los incendios forestales en Victoria. Los materiales compuestos muestran anomalías para la temporada diciembre - enero - febrero durante el período 1961 - 2010.

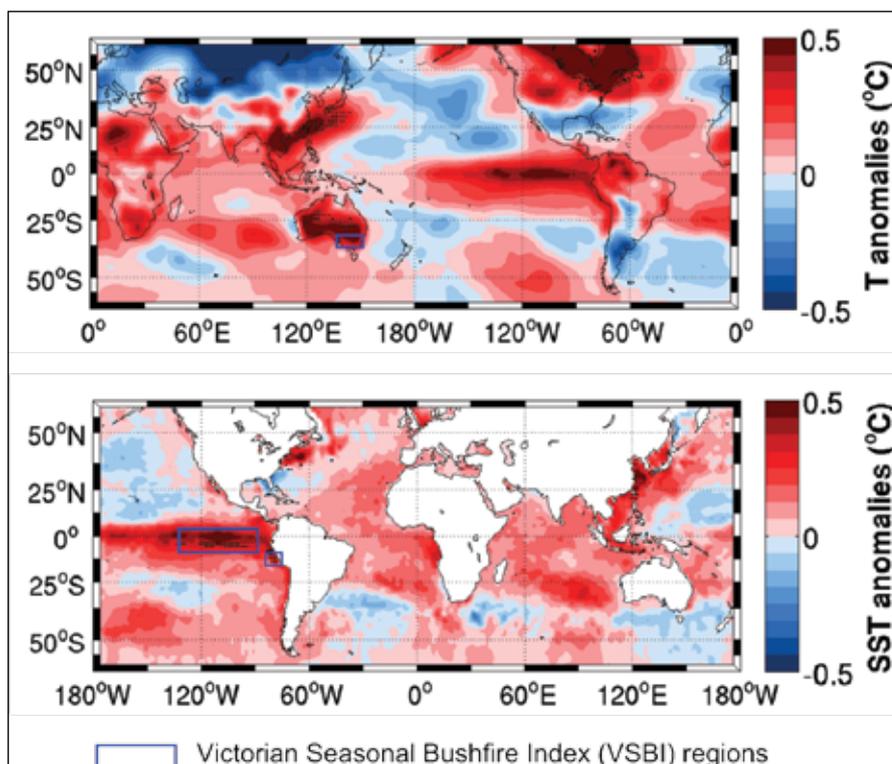


Figura 2. Anomalías de la temperatura en la superficie

representan los patrones a gran escala en las temporadas de incendios forestales anteriores (septiembre - octubre - noviembre) y concurrentes (diciembre - enero - febrero). Las variables calculadas fueron la temperatura del aire de la superficie, humedad relativa, precipitación y temperatura de la superficie del mar.

Estos análisis utilizaron datos del Proyecto de Reanálisis del Siglo XX (versión 2) (20CRV2) (Compo et al., 2011) y el conjunto de datos de Hadley Center Sea Ice and Sea Surface Temperature (HadISST) (Rayner et al., 2003). Este conjunto de datos, se seleccionaron porque proporcionan datos espaciales durante un período de tiempo prolongado (100 años). El cálculo de una prueba de "t de Student" utilizando las anomalías calculadas probó la trascendencia estadística de los resultados con un nivel del 5%. El análisis identificó regiones anómalas relacionadas con la ocurrencia de incendios forestales en Victoria para desarrollar un nuevo índice de clima de incendios en esta región.

Índice victoriano de incendios forestales estacionales

El diseño de este índice utilizó los resultados de la investigación de patrones a gran escala relacionados con la ocurrencia de incendios forestales en esta región. El VSBI representa una relación simplificada entre las variables climáticas del fuego: temperatura (T), humedad relativa (HR) y precipitación (P). El VSBI asume una relación lineal entre estas variables. El índice también incorpora SST en las regiones de El Niño como otra variable. Las regiones de El Niño son áreas sobre el Océano Pacífico tropical donde se monitorea el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) (BoM, 2016). Los patrones de anomalías

estacionales revelaron que esta variable es un importante predictor de la actividad de incendios forestales en Victoria. El patrón de SST era fuerte y estaba vinculado a temporadas de fuego extremo. Esta relación vincula los procesos climáticos locales y de gran escala que producen condiciones severas de incendios forestales. Las variables climáticas del fuego tienen el efecto de precondicionar los sucesos de incendios forestales al secar las cargas de combustible (BoM, 2009). Este fue el criterio principal para su selección.

La Figura 2, muestra las regiones seleccionadas para calcular el VSBI. La gráfica ilustra las anomalías de la superficie T y SST durante eventos extremos de incendios forestales en Victoria. El análisis abarcó el período 1961-2010. Las regiones representan áreas con fuertes anomalías. La región El Niño 3.4 (0N-5 oS; 170 oW-120 oW), la región El Niño 1 + 2 (0-10 oS, 90 oW-80 oW) y Victoria (33 oS-36 oS; 145 oE-150 oE) mostró las anomalías más fuertes. Algunas de estas áreas son estadísticamente significativas al nivel del 5% (áreas punteadas en cajas azules) usando una prueba de "Student-t", que sugiere una conexión entre este controlador de clima remoto (SST) y el clima de incendios en Victoria. Las anomalías en el cálculo de la superficie T confirmaron las regiones anómalas encontradas para HR y P (no mostradas). Estas anomalías son una manifestación de la dinámica climática regional y global. Estas dinámicas están vinculadas a la ocurrencia de incendios forestales en Victoria.

El cálculo del VSBI utilizó las anomalías de las regiones seleccionadas para calcular los promedios espaciales. Posteriormente, las medias diarias se promediaron para las temporadas SON y DEF

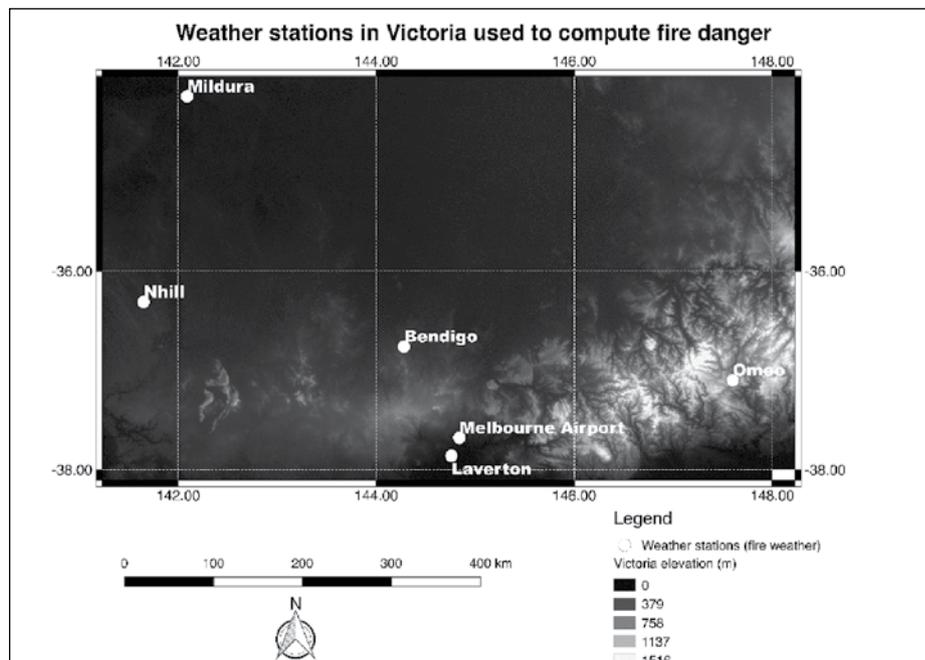


Figura 3. Ubicación estaciones metereológicas

Ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas para los cálculos de climas que promueven incendios en Victoria

respectivamente. Aunque los datos de 20CRV2 fueron útiles para identificar las regiones anómalas, el resultado final que se muestra en este estudio computó los promedios espaciales en la región victoriana utilizando seis estaciones meteorológicas (WS). Estas estaciones son representativas de áreas propensas a incendios forestales y se han utilizado en estudios anteriores (Lucas, 2010).

La figura 3, muestra la ubicación de estas estaciones. Además, el Anexo muestra sus detalles. Los cálculos que utilizaron observaciones arrojaron los subíndices VSBI. El período disponible de datos de WS fue 1974-2010, que es el período de análisis utilizado para los análisis de correlaciones. Las series temporales generadas se dividieron por su desviación estándar para normalizarlas. La formulación del VSBI comprende la agregación de los subíndices basados en las variables meteorológicas.

En la figura 4, el VSBI es representado en la Ecuación 1.

$$VSBI = \frac{T}{\sigma_T} + \frac{HR}{\sigma_{HR}} - \frac{P}{\sigma_P} + \frac{SST}{\sigma_{SST}} \quad \text{Ec. (1)}$$

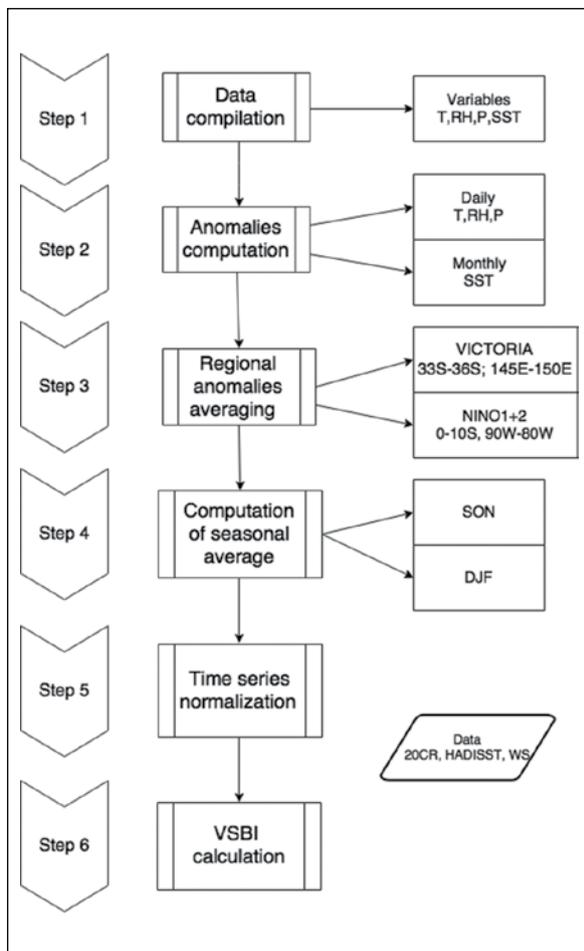


Figura 4. Procedimiento de cálculo de índice victoriano de incendios forestales estacionales (VSBI)

Índice de Peligro de Incendios Forestales

La validación del VSBI requirió el cálculo de un índice alternativo de clima que promueve incendios. El índice seleccionado fue el Índice de peligro de incendio forestal de McArthur (FFDI). Las autoridades australianas contra incendios utilizan el FFDI para la gestión del riesgo de incendios forestales (Luke y McArthur, 1978). El FFDI fue formulado como ecuaciones por Noble et al. (Noble, Gill and Bary, 1980). La ecuación 2 representa el índice:

$$FFDI = 2e^{(-0.45+0.987 \ln(DF)-0.0345HR+0.0338T+0.0234v)} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

T: Temperatura del Aire (oC)

HR: Humedad relativa

v: Velocidad del viento (Km/h)

DF: Factor de Sequía

El cálculo del índice requiere el uso de valores en el momento específico del día en el que es probable que se produzca el FFDI máximo. Los valores del índice usualmente alcanzan su pico en la tarde, a las 3 pm. Este es el tiempo estándar para calcular el FFDI en Australia (Lucas, 2010). El índice también requiere del cálculo de un factor de sequía que represente el efecto de la precipitación acumulada en la sequedad de las cargas de combustible. Griffiths (Griffiths, 1999) desarrolló la ecuación del Factor de Sequía (DF) y los procedimientos de cálculo.

Esta investigación tiene como objetivo desarrollar una nueva métrica meteorológica de incendios estacionales. Por lo tanto, el estudio utilizó dos métricas estacionales de la FFDI (en lugar de la métrica diaria tradicional) para realizar las validaciones. La primera métrica fue un FFDI acumulativo (FFDIcum) la cual agrega los valores FFDI diarios de la temporada. La segunda métrica fue el número de días en la temporada con valores FFDI mayores que 25 (FFDI > 25). Este umbral representa los días con al menos peligro de incendio "muy alto".

Relaciones estacionales entre clima e incendios forestales

La investigación usó correlaciones lineales para analizar las relaciones entre cuatro grupos de datos: incendios forestales (datos obtenidos de las bases de datos DEWLP y Risk Frontiers), índices de clima de incendios forestales por temporadas (VSBI, FFDIcum, FFDI > 25), variables meteorológicas (T, HR, P) e índices de modos de variabilidad climática (NINO 3.4, NINO1+2, SOI, DMI). Los primeros tres grupos de datos ya se describieron en este artículo. Esta sección describe los índices climáticos que se usaron.

El Niño Oscilación del Sur (ENOS) y el Dipolo del Océano Índico (IOD por su siglas en Inglés) son importantes moduladores del clima en esta región (Williams, Karoly and Tapper, 2001; Cai, Cowan and Raupach, 2009; Risbey et al., 2009; White, Hudson and Alves, 2013). Por esta razón, el análisis usó tres

índices ENSO y un índice IOD. Los índices ENSO que se usaron fueron: Índice de Oscilación del Sur (SOI por sus siglas en inglés), NINO3.4 y NINO1+2. El índice del Modo Dipolo (DMI por sus siglas en Inglés) se usó para investigar las relaciones con IOD. Los índices NINO3.4 y NINO1+2 se seleccionaron puesto que muestran una relación con el clima de incendios forestales en Victoria. Debido a que NINO3.4 y NINO1+2 son indicadores oceánicos, el SOI se seleccionó como indicador alternativo asociado a la presión con el fin de establecer comparaciones. El DMI se escogió porque es el índice más usado para medir la intensidad del fenómeno Dipolo del Océano Índico.

La relación entre los eventos “El Niño” y “La Niña” y los incendios forestales en Victoria se investigó calculando correlaciones lineales entre los valores del índice NINO 3.4 y el número de incendios forestales registrados en las dos bases de datos descritas en este artículo. Se definió a los eventos “El Niño” y “La Niña” como todo período de 3 meses con un valor promedio de +0.5 oC o -0.5 oC respectivamente. Una fase neutral se definió como todo valor dentro del rango +0.5 oC o -0.5 oC. En este caso, el indicador NINO 3.4 se seleccionó debido a que los patrones climáticos de gran escala revelaron anomalías fuertes de temperatura superficial del mar asociadas a incendios forestales en Victoria. La relación entre el IOD y los incendios forestales en Victoria no se analizó ya que los patrones climáticos evidenciaron una relación más fuerte con el fenómeno ENOS.

El análisis usó datos de índices climáticos de varias

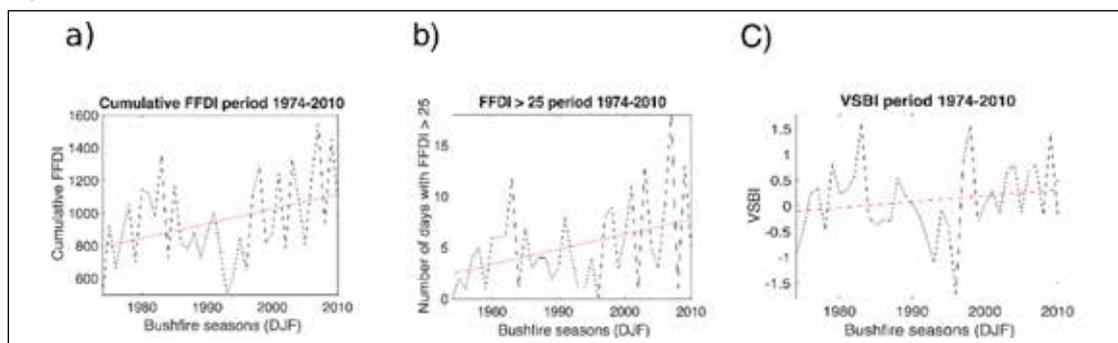
instituciones: “Australian Bureau of Meteorology” (SOI), “National Oceanic and Atmospheric Administration” (NINO3.4), “Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology” (DMI). Las climatologías que estas agencias utilizaron en los cálculos de estos índices fueron 1951-2000 (NINO3.4.) y 1958-2010 (DMI). El índice NINO1+2 se calculó usando los datos “HadISST”. La climatología de este índice fue 1911-2011.

Las correlaciones se calcularon para primavera (SON-SON), verano (DJF-DJF), y de primavera a verano (SON-DJF). Los análisis abarcaron el período 1974-2010. Las figuras resaltan los resultados estadísticamente significativos al 5 % usando la prueba “Student-t test”.

RESULTADOS

Los patrones espaciales que se muestran en la Figura 2, sugieren que los eventos de “El Niño” provocan incendios forestales en Victoria. Las estadísticas básicas refuerzan esta idea. La Tabla 1, muestra el porcentaje de ocurrencia de incendios forestales en esta región. Estos porcentajes están vinculados a diferentes fases ENOS. Los análisis comprendieron el período 1961-2010. Las dos bases de datos de incendios forestales acuerdan mostrar que los incendios extremos ocurren predominantemente durante los eventos de “El Niño”. Los resultados establecen que 48.8% a 59.3% de los incendios forestales extremos ocurrieron durante una fase de “El Niño”. Estos resultados justificaron la incorporación de un indicador de “El Niño” en el VSBI.

Figura 5. Variables y series de tiempo



Series de tiempos de a) Índice acumulativo de peligro de incendio forestal, b) Número de días con valores de Índice de peligro de incendio forestal superiores a 25 (peligro de incendio “muy alto”) y c) Índice Victoriano de Incendios Forestales Estacionales (VSBI) para Victoria, Australia durante la temporada diciembre - enero - febrero (DEF) para el período 1974-2010. Las tres series temporales coinciden al mostrar una tendencia creciente en el peligro de incendio en esta región.

Tabla 1. El acontecimiento de incendios forestales (porcentaje) durante diferentes fases de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) en Victoria, Australia, para la temporada diciembre - enero - febrero durante el período 1961-2010.

Fase de El Niño Oscilación Sur	Ocurrencia de Incendios Forestales (%)	
	Department of Environment, Land, Water and Planning of Victoria bushfire database	Base de Datos de Incendios Forestales de Risk Frontiers
El Niño	59.3	48.8
La Niña	29.6	34.1
Neutral	11.1	17.1

Esta investigación definió una fase de El Niño y La Niña como cualquier período de 3 meses con un valor promedio del indicador NINO 3.4 de +0.5 °C o -0.5 °C respectivamente (umbrales arbitrarios). Una fase neutral se definió como cualquier valor entre el rango de +0.5 °C y -0.5 °C. Fuente de datos ENSO: base de datos de El Niño-Oscilación del Sur de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) de los Estados Unidos y registros de incendios forestales del Department of Environment, Land, Water and Planning of Victoria (DELWP) y Risk Frontiers.

En la Figura 5 se compara series cronológicas de métricas meteorológicas contra incendios calculadas para Victoria, Australia. El análisis comprende la temporada diciembre - enero - febrero (DEF) para el período 1974 - 2010. La figura muestra tres índices climáticos estacionales de incendios. Los paneles a), b) y c) muestran los resultados para FFDIcum, FFDI > 25 y VSBI respectivamente. Los tres indicadores acuerdan mostrar una tendencia creciente en el peligro de incendios forestales en esta región. La serie de tiempo FFDIcum evidencia la tendencia positiva más alta (pendiente = 9). La serie FFDI > 25 muestra la mayor varianza (varianza = 17.77).

La Figura 6 muestra los coeficientes de correlación lineal para las relaciones clima-incendio forestal en Victoria, Australia. El análisis comprende la temporada SON para el período 1973-2009. Los resultados demuestran que las métricas estacionales de VSBI y FFDI están altamente correlacionadas (como se esperaba). VSBI muestra relaciones sólidas

y estadísticamente significativas con las dos métricas FFDI. VSBI y FFDIcum tienen una correlación más fuerte que VSBI y FFDI > 25. Por otro lado, la HR tiene la correlación más fuerte con cada una de las tres métricas del clima de incendios. Además, el DMI tiene la influencia más fuerte con las tres métricas del clima de incendios. Las figuras resaltan los resultados estadísticamente significativos al 5 % usando la prueba "Student-t test".

La Figura 7, muestra la correlación lineal entre coeficientes para la relación clima-incendios forestales durante la temporada DEF. Los análisis comprendieron a Victoria, Australia para el período 1974-2010. La relación entre VSBI y FFDI disminuye en verano en comparación con la primavera. Por ejemplo, las correlaciones entre estas métricas en SON oscilaron entre 0,78 y 0,92. Sin embargo, las correlaciones disminuyen a 0,46 a 0,69 durante el verano.

La Figura 7, incorpora los datos de actividad de incendios en la correlación. Las métricas FFDI tienen una correlación más fuerte con la actividad de incendio que el VSBI. Las métricas de FFDI muestran correlaciones más altas con los registros de actividad de incendio utilizando la base de datos Risk Frontiers. La HR es el principal impulsor climático del clima de incendios y la actividad de incendios en verano. El resultado es consistente en primavera y verano.

Los modos climáticos de variabilidad tienen menos influencia sobre el clima del fuego en verano. Los índices de "El Niño" están correlacionados moderadamente con el clima del fuego. Además,

Coeficientes de correlación de Pearson para las relaciones clima-incendio forestal para septiembre - octubre - noviembre (SON) en Victoria durante el período 1973-2009. Las figuras resaltan los resultados estadísticamente significativos al 5 % usando la prueba "Student-t test". Fuente de datos: Datos de estaciones meteorológicas en Victoria, Australia (WS).

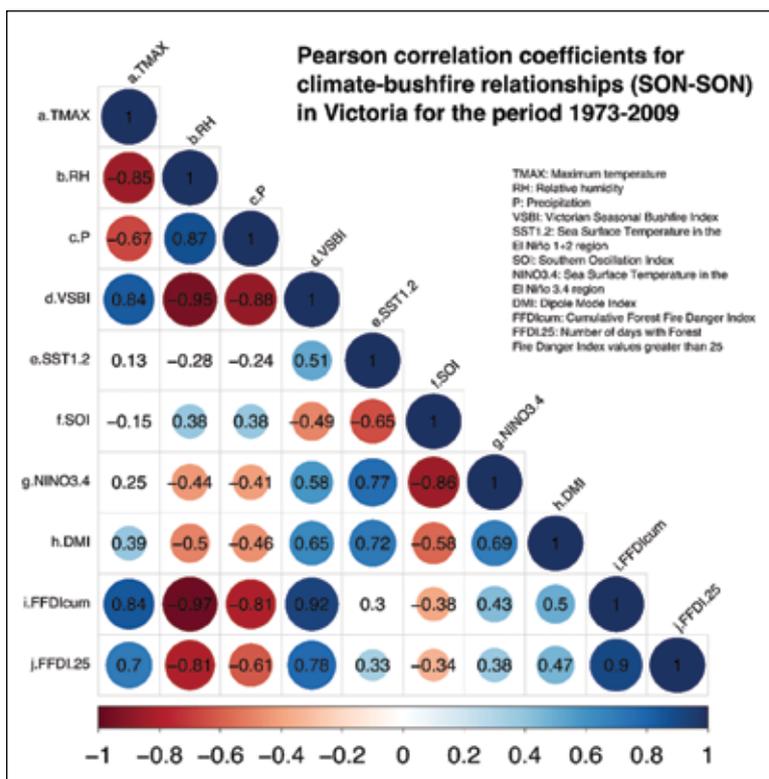


Figura 6. Coeficiente de correlación de pearson clima – incendio (son)

no hay correlación entre las métricas de incendios con el DMI. Esta falta de influencia es un resultado esperado, ya que la influencia del IOD se debilita después de la primavera.

La figura 8 ilustra las relaciones clima-incendio forestal desde la primavera hasta el verano. El período de análisis fue 1973-2010. Las correlaciones

incluyeron variables climáticas, clima del fuego y datos de actividad del fuego. El VSBI muestra una gran habilidad para pronosticar el clima de incendio representado por las métricas de FFDI. Las correlaciones van desde 0.71 a 0.74 con FFDI> 25 y FFDIcum respectivamente. Como se esperaba, la habilidad de pronóstico de VSBI es menor para la

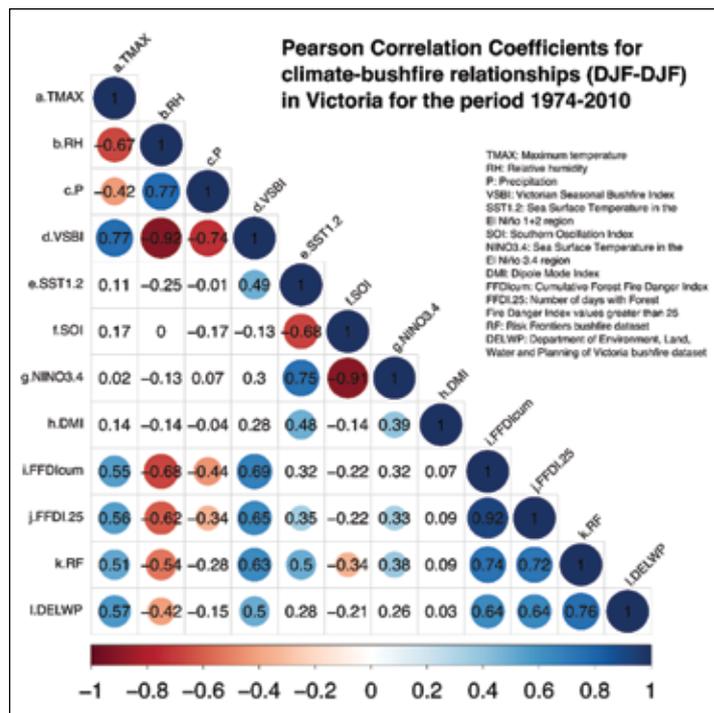


Figura 7. Coeficiente de correlación de pearson clima – incendio (def)

Coefficientes de correlación de Pearson para las relaciones clima-incendio forestal para diciembre - enero - febrero (DEF) en Victoria durante el período 1974-2010. Fuente de datos: Datos de estaciones meteorológicas en Victoria, Australia.

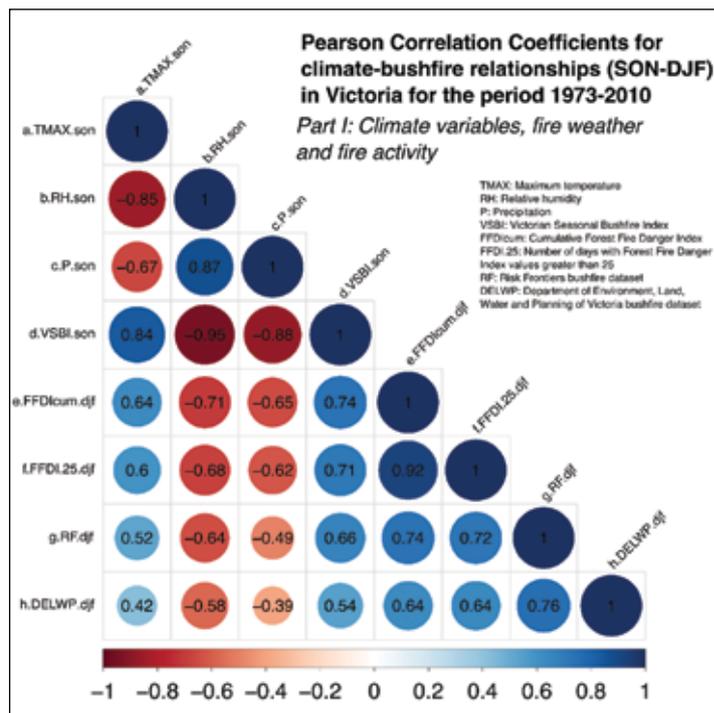


Figura 8. Coeficiente de correlación de pearson clima – incendio (son)

Coefficientes de correlación de Pearson para las relaciones clima-incendio forestal desde septiembre-octubre - noviembre (SON) hasta diciembre - enero - febrero (DEF) en Victoria, Australia, durante el período 1973-2010 (Parte I). Fuente de datos: conjunto de datos de Hadley Center Sea Ice and Sea Surface Temperature (HadISST) y estaciones meteorológicas en Victoria (WS).

actividad de incendio en comparación con el clima de incendio. Las correlaciones de VSBI con registros de fuego van desde 0.54 a 0.66. Los resultados sugieren que la HR tiene la habilidad de pronóstico más fuerte. Las correlaciones entre la HR de primavera y las métricas de FFDI de verano varían de -0.71 a -0.68. Además, la HR tiene una correlación de -0.64 y -0.58 con las bases de datos de RF y DELWP, respectivamente.

La figura 9, también muestra las relaciones clima-incendio forestal desde la primavera hasta el verano. Esta figura evidencia las correlaciones entre los índices climáticos, el clima del incendio y los datos de actividad del incendio. Curiosamente, el DMI muestra la correlación más fuerte con el VSBI. Por otro lado, los indicadores oceánicos de "El Niño" demuestran una relación moderada con las métricas de FFDI. El SOI y el DMI tienen correlaciones débiles con el FFDI. Estas correlaciones no fueron estadísticamente significativas. Finalmente, los indicadores oceánicos de "El Niño" están moderadamente correlacionados con la actividad del fuego. Estas correlaciones son estadísticamente significativas.

DISCUSIÓN

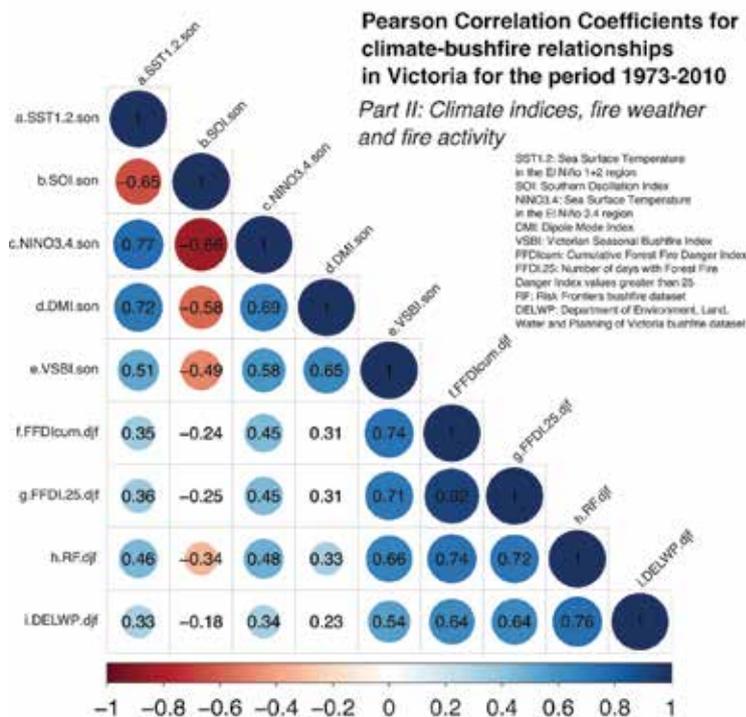
Esta investigación está de acuerdo con investigaciones anteriores (Lucas et al., 2007, Lucas, 2010, Clarke et al., 2013) que muestran una tendencia creciente de peligro de incendio en Victoria durante el periodo 1974-2010. No es sorprendente que las métricas FFDI muestren una mayor tendencia positiva en el peligro de incendio que el VSBI. La diferencia se produce porque el FFDI es más sensible

a la temperatura. Esta variable demuestra tendencias crecientes claras. Además, la tendencia es más fuerte teniendo en cuenta todos los días en la temporada de incendios. La métrica FFDIcum indica un aumento mayor en el peligro de incendio que FFDI > 25 y VSBI. Esta sección también analiza la relación entre ENSO y la variabilidad del clima de incendios.

El VSBI muestra que puede representar el clima del incendio y su relación con los incendios forestales. Por ejemplo, el índice demostró ser una métrica equivalente en comparación con el FFDI. Los resultados señalan que están altamente correlacionados durante la primavera y el verano. También, VSBI y FFDI muestran correlaciones similares con la actividad de incendio. El índice también demostró ser una herramienta de pronóstico útil (como se explica más adelante en esta sección).

Además de su precisión, el VSBI tiene la ventaja de ser más fácil de calcular que el FFDI. Representa el peligro de incendio basado en una relación simple entre las variables climáticas y ENOS. Razón por la que, podría ser útil en estudios que requieren grandes recursos informáticos. En contraste, los FFDI incorporan factores y subíndices que aumentan la complejidad del cálculo.

Por otro lado, el VSBI también tiene advertencias específicas a considerarse. En primer lugar, no representa la relación física "verdadera" entre sus variables. De hecho, la formulación lineal de VSBI oculta la contribución real al peligro de incendio. Por ejemplo, la influencia de la SST es menor en comparación con las variables del clima local. En consecuencia, la ecuación de VSBI podría



Coefficientes de correlación de Pearson para las relaciones clima-incendio forestal desde septiembre - octubre - noviembre (SON) hasta diciembre - enero - febrero (DEF) en Victoria, Australia, durante el período 1973 - 2010. La figura muestra los resultados de los índices climáticos, el clima de incendio y la actividad utilizando los análisis de reanálisis y los datos de la estación meteorológica respectivamente (Parte II). Fuente de datos: Conjunto de datos de Hadley Center Sea Ice and Sea Surface Temperature (HadISST) y estaciones meteorológicas en Victoria (WS).

Figura 9. Coeficiente de correlación de pearson clima – incendio (def)

sobreestimar el efecto de SST en el clima de fuego. La formulación lineal del VSBI tampoco refleja la naturaleza real no lineal de ENOS. Además, algunas de las variables de VSBI están directamente correlacionadas (por ejemplo, temperatura y humedad relativa).

A pesar de sus limitaciones, el VSBI fue útil para comprender las relaciones fundamentales entre el clima y los incendios forestales. Las correlaciones mostraron que las condiciones climáticas regionales impulsan el clima de incendios en Victoria. En contraste, los controladores remotos tienen menos influencia que las variables climáticas (como se esperaba). Estos hallazgos concuerdan con Harris et al. (2013). No obstante, los modos de variabilidad climáticos desempeñan un papel en la conducción del clima de incendios. Por ejemplo, ENOS y IOD influyen moderadamente en la humedad relativa. Esta variable demostró ser el componente principal que impulsa el fuego. Asimismo, estos controladores remotos también demostraron tener una influencia moderada en la actividad de incendio. Sin embargo, la influencia de ENOS e IOD no es constante.

La influencia de los conductores climáticos remotos sobre el clima de incendio decae desde la primavera hasta el verano. Durante la primavera, el IOD ejerce un nivel de control ligeramente más alto que ENOS (según las observaciones). De hecho, este estudio no encontró pruebas sólidas que demuestren que el IOD tenga una influencia significativamente mayor que ENOS durante esta temporada. En efectos, los dos modos de clima están altamente correlacionados. Estos hallazgos contrastan con Cai et al. (Cai, Cowan and Raupach, 2009) quienes argumentan que el IOD es el conductor principal que pre-condiciona las cargas de combustible para los incendios. Por otro lado, durante el verano, el IOD no ejerce influencia sobre el clima del fuego. Este comportamiento se esperaba de su dinámica estacional. Inesperadamente, la influencia de ENOS se debilita durante esta temporada. Por lo tanto, el efecto de los factores climáticos remotos es mayor en primavera que en verano.

El VSBI presenta una fuerte habilidad de pronóstico. De hecho, el índice tiene mayor poder predictivo que las variables e índices climáticos (NINO3.4, SOI, IOD, etc.) por sí mismos. Además, las correlaciones muestran una mayor habilidad para predecir el clima de incendios que los incendios forestales en sí. Este resultado demuestra una consistencia física, ya que los incendios forestales también ocurren debido a factores no climáticos (por ejemplo, número de incendios). Estos hallazgos se basan en el análisis de las observaciones.

CONCLUSIONES

Los aspectos para resaltar de este estudio son:

Victoria experimentó un aumento en el peligro de incendio durante el periodo 1974-2010. Las observaciones confirmaron este hallazgo utilizando tres métricas estacionales del clima de incendios.

Los eventos positivos de Dipolo del Océano Índico (IOD) y "El Niño" condicionan la actividad de incendios en Victoria. El principal efecto de estos dos controladores es reducir la humedad relativa en la primavera. Esta reducción genera condiciones secas que preparan la vegetación para las igniciones. La influencia de los eventos positivos de IOD sobre el clima que promueve incendios es mayor que las fases de "El Niño" en la primavera. Sin embargo, los dos modos de variabilidad climática están fuertemente vinculados. En verano, los eventos de "El Niño" se convierten en el conductor remoto más importante del clima de incendios.

Un índice simple (VSBI) basado en conductores locales y remotos del clima muestra habilidad para pronosticar el clima de incendios en Victoria. Esta métrica demuestra la capacidad predictiva estacional desde la primavera hasta el verano. Asimismo, el VSBI demuestra una precisión comparable para representar el clima de incendios a la que tiene el Índice de peligro de incendios forestales de McArthur.

RECOMENDACIONES

Además, dos aspectos requieren mayor investigación:

Las investigaciones futuras podrían expandir el área de investigación al sureste de Australia. Este enfoque podría facilitar el uso de los datos de reanálisis para investigar los cambios climáticos del incendio antes de 1974.

La investigación adicional podría utilizar los Coupled Model Intercomparison Project phase 6 (CMIP6) para proyectar el VSBI. Esta investigación podría proporcionar información sobre futuros cambios climáticos de incendios en Victoria o el sureste de Australia.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación del Ecuador, SENESCYT, institución que brindó apoyo financiero al autor durante sus estudios de doctorado. Se reconoce a Risk Frontiers por proporcionar uno de los conjuntos de datos de incendios forestales utilizados en este estudio. A. Pezza quisiera reconocer el financiamiento del ARC a través del número de Proyecto de Descubrimiento 120103950.

Los autores no tienen conflictos de intereses que declarar.

REFERENCIAS

- 2009 VBRC (2010) Final report.
- Blanchi, R. et al. (2010) 'Meteorological conditions and wildfire-related house loss in Australia', International Journal of Wildland Fire, 19, pp. 914-926.
- Blanchi, R. et al. (2012) Life and house loss database description and analysis Final report.
- BoM (2009) Bushfire Weather. Available at: <http://>

www.bom.gov.au/weather-services (Accessed: 4 December 2015).

- BoM (2016) What is El Niño and what might it mean for Australia? Available at: <http://www.bom.gov.au/climate/updates/articles/a008-el-nino-and-australia.shtml> (Accessed: 27 January 2016).
- Cai, W., Cowan, T. and Raupach, M. (2009) 'Positive Indian Ocean Dipole events precondition southeast Australia bushfires', *Geophysical Research Letters*, 36(19), p. L19710. doi: 10.1029/2009GL039902.
- Clarke, H., Evans, J. P. and Pitman, A. J. (2013) 'Fire weather simulation skill by the Weather Research and Forecasting (WRF) model over south-east Australia from 1985 to 2009', *International Journal of Wildland Fire*, 22(6), pp. 739–756. doi: 10.1071/WF12048.
- Clarke, H. G., Smith, P. L. and Pitman, A. J. (2011) 'Regional signatures of future fire weather over eastern Australia from global climate models', *International Journal of Wildland Fire*, 20(4), pp. 550–562.
- Clarke, H., Lucas, C. and Smith, P. (2013) 'Changes in Australian fire weather between 1973 and 2010', *International Journal of Climatology*, 33(4), pp. 931–944. doi: 10.1002/joc.3480.
- Coates, L. (1996) 'An Overview of Fatalities from some Natural Hazards in Australia', in *Conference on Natural Disaster Reduction 1996: Conference Proceedings*. Institution of Engineers, Australia, p. 49.
- Compo, G. P. et al. (2011) 'The Twentieth Century Reanalysis Project', *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137(654), pp. 1–28. doi: 10.1002/qj.776.
- Crompton, R. P. et al. (2010) 'Influence of Location, Population, and Climate on Building Damage and Fatalities due to Australian Bushfire: 1925–2009', *Weather, Climate, and Society*, 2(4), pp. 300–310. doi: 10.1175/2010WCAS1063.1.
- DEPI (2014) *Bushfire History*. Available at: <http://www.depi.vic.gov.au/fire-and-emergencies/managing-risk-and-learning-about-managing-fire/bushfire-history> (Accessed: 17 December 2015).
- Dowdy, A. J. et al. (2009) 'Index sensitivity analysis applied to the Canadian Forest Fire Weather Index and the McArthur Forest Fire Danger Index', *Meteorological Applications*, 312(December 2009), p. n/a-n/a. doi: 10.1002/met.170.
- Engel, C. B. et al. (2013) 'The meteorology of Black Saturday', *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 139(672), pp. 585–599. doi: 10.1002/qj.1986.
- Field, R. D. et al. (2015) 'Development of a Global Fire Weather Database', *Natural Hazards and Earth System Science*, 15(6), pp. 1407–1423. doi: 10.5194/nhess-15-1407-2015.
- Griffiths, D. (1999) 'Improved Formula for the Drought Factor in McArthur's Forest Fire Danger Meter', *Australian Forestry*, 62(2), pp. 202–206. doi: 10.1080/00049158.1999.10674783.
- Harris, S., Nicholls, N. and Tapper, N. (2013) 'Forecasting fire activity in Victoria, Australia, using antecedent climate variables and ENSO indices', *International Journal of Wildland Fire*. doi: <http://dx.doi.org/10.1071/WF13024>.
- Hasson, A. et al. (2009) 'Assessing the impact of climate change on extreme fire weather events over southeastern Australia', *Climate Research*, 39(August), pp. 159–172. doi: 10.3354/cr00817.
- Haynes, K. et al. (2010) 'Australian bushfire fatalities 1900–2008: exploring trends in relation to the 'Prepare, stay and defend or leave early' policy', *Environmental Science & Policy*. Elsevier Ltd, 13(3), pp. 185–194. doi: 10.1016/j.envsci.2010.03.002.
- Long, M. (2006) 'A climatology of extreme fire weather days in Victoria', 55, pp. 3–18.
- Lucas, C. et al. (2007) *Bushfire Weather in Southeast Australia: Recent Trends and Projected Climate Change Impacts* CSIRO Marine and Atmospheric Research September 2007 Consultancy Report prepared for The Climate Institute of.
- Lucas, C. (2010) 'On developing a historical fire weather data-set for Australia', *Australian meteorological and Oceanographic Journal*, 60, pp. 1–14.
- Luke, R. and McArthur, A. (1978) *Bushfires in Australia*. Edited by A. G. P. Services. Canberra.
- McArthur, A. G. (1966) *Weather and grassland fire behaviour*.
- McArthur, A. G. (1967) *Fire behaviour in eucalypt forests*.
- Nicholls, N. and Lucas, C. (2007) 'Interannual variations of area burnt in Tasmanian bushfires: Relationships with climate and predictability', *International Journal of Wildland Fire*, 16(5), pp. 540–546. doi: 10.1071/WF06125.
- Noble, I. R., Gill, a. M. and Bary, G. a. V. (1980) 'McArthur's fire-danger meters expressed as equations', *Austral Ecology*, 5(2), pp. 201–203. doi: 10.1111/j.1442-9993.1980.tb01243.x.
- Rayner, N. et al. (2003) 'Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century', *Journal of Geophysical Research*, 108(D14), p. 4407. doi: 10.1029/2002JD002670.
- Risbey, J. S. et al. (2009) 'On the Remote Drivers of Rainfall Variability in Australia', *Monthly Weather Review*, 137(10), pp. 3233–3253. doi: 10.1175/2009MWR2861.1.
- Skamarock, W. C. et al. (2008) 'A Description of the Advanced Research WRF Version 3', *Technical Re-*

port, (June), p. 113. doi: 10.5065/D6DZ069T.

- VBRC (2009) Interim Report. Melbourne. doi: 10.1037/e530172011-002.
- Verdon, D. C., Kiem, a. S. and Franks, S. W. (2004) 'Multi-decadal variability of forest fire risk-eastern Australia', International Journal of Wildland Fire, 13, pp. 165–171. doi: 10.1071/WF03034.
- Van Wagner, C. E. (1974) Structure of the Canadian Forest FireWeather Index System. Ottawa.
- White, C. J., Hudson, D. and Alves, O. (2013) 'ENSO, the IOD and the intraseasonal prediction of heat extremes across Australia using POAMA-2', Climate Dynamics, pp. 1–20. doi: 10.1007/s00382-013-2007-2.
- Williams, A. A. J. and Karoly, D. J. (1999) 'Extreme fire weather in Australia and the impact of the El Niño-Southern Oscillation', Australian Meteorological Magazine, 48(1), pp. 15–22.
- Williams, A. A. J., Karoly, D. J. and Tapper, N. (2001) 'The sensitivity of australian fire danger to climate change', Climatic Change, 49, pp. 171–191.

EL INSTITUTO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIONES HIDROCARBURÍFERAS

Es un centro multidisciplinario para la generación de conocimiento, investigación y transferencia de tecnología, que contribuye al desarrollo sostenible de los sectores de Geociencias, Energía, Petróleo y Gas a nivel nacional e internacional. Cuenta con laboratorios especializados propios y en alianzas estratégicas para estudios de simulación matemática y recuperación mejorada de petróleo, calidad de combustibles, transporte de fluidos y remediación de pasivos ambientales, además se continúa con el fortalecimiento de los centros de energías renovables y del observatorio económico y de políticas en temas energéticos.

El objetivo del Instituto es fortalecer las redes de investigación, publicaciones y generación de patentes, poniendo a disposición de las instituciones del Estado, empresas y sociedad civil todo el acervo de conocimiento que se desarrolla bajo la rigurosidad académica y científica para así contribuir a la sostenibilidad de los sectores estratégicos del Ecuador.

OFERTA ACADÉMICA DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS

La FIGEMPA cuenta con un grupo de profesionales y técnicos altamente calificados, un adecuado soporte de infraestructura para el desarrollo de estudios, proyectos, programas de investigación y prestación de servicios de calidad en las áreas de geología, minas, petróleos y ambiente.

GEOLOGÍA

- Geología de campo
- Elaboración de mapas geológicos
- Estudios geotécnicos de estabilidad de taludes
- Levantamientos cartográficos
- Geología ambiental y riesgos geológicos
- Riesgos geológicos y geodinámicos
- Monitoreo de zonas inestables
- Geología para obras civiles
- Evaluación sobre yacimientos minerales
- Sistemas de información geográfica (GIS)

MINAS

- Diseño y planificación de minas
- Explotación de minas a cielo abierto, placeres auríferos y canteras
- Explotación de minas subterráneas

- Asistencia técnica para excavación de túneles y obras civiles
- Asistencia técnica en perforación y voladura
- Asistencia técnica en diseño de escombreras
- Auditorías mineras
- Topografía y modelación 3D
- Salud y seguridad minera
- Diseño y planificación de minas
- Tratamiento y beneficio de minerales
- Diseño y disposición de relaves

PETRÓLEOS

- Asistencia técnica y/o evaluación de proyectos de recuperación mejorada de petróleo
- Evaluación económica de proyectos petroleros

- Estudios fisicoquímicos de fluidos (agua, formación y petróleo)
- Pruebas de rendimiento de fluidos de perforación
- Optimización de sistemas de producción
- Gerenciamiento de yacimientos
- Evaluación de formaciones
- Optimización de procesos de perforación
- Control de pozos
- Análisis de datos de producción
- Análisis nodal
- Simulación matemática de yacimientos
- Seguridad salud y ambiente enfocado en la industria petrolera

AMBIENTAL

- Estudios de impacto ambiental y planes de manejo ambiental para proyectos hidrocarbúricos, mineros e industriales

- Asesoría en sistemas de gestión
- Auditorías ambientales
- Monitoreo ambiental (agua, aire, suelos, ruido y sedimentos)
- Elaboración de reglamento de seguridad
- Estudios de riesgos laborales
- Gestión integral de desechos sólidos
- Tratamiento de aguas residuales
- Diseño de plantas de tratamiento
- Metodología para evaluación de impactos ambientales y auditorías ambientales
- Sistemas de gestión integrados
- Técnicas para prevención y control de la contaminación
- Legislación ambiental
- Salud y seguridad ocupacional
- Buenas prácticas ambientales

ARTÍCULO ORIGINAL

Recibido:
19/05/2019

Aprobado:
29/11/2019

Determinación de factores que afectan la medición de los niveles de ruido y aislamiento acústico en una cabina insonorizada para autopartes

Determination of factors that affect the measurement of noise levels and sound insulation in a soundproof cabin for auto parts

Fuentes Jorge Mauricio

<https://orcid.org/0000-0003-0342-643X>
Universidad Central del Ecuador
jmfuentes@uce.edu.ec

RESUMEN

En el proceso de pruebas finales de vehículos, las ensambladoras de autos realizan verificaciones de ruidos internos no deseados, para luego eliminarlos, con el objeto de garantizar la satisfacción del cliente. Estas pruebas se realizan al cien por ciento de las unidades. Las mediciones de ruidos que desarrollan las ensambladoras son subjetivas y dependen de la capacidad auditiva del operario que hace la prueba. Todas las unidades que son detectadas por el cliente son segregadas y rechazadas. En el caso de que el porcentaje de unidades que tengan niveles de ruido sobre el estándar del cliente se puede llegar a embarques controlados, que implican inspecciones adicionales, a costo del proveedor, en sus instalaciones. Mediante el uso de una cabina insonorizada, se realiza la detección de los productos que no cumplen el estándar del cliente, en la propia planta del proveedor, sin ser necesario montar la parte con ruido en el vehículo. Sin embargo, para poder simular un proceso similar al que se tiene en un vehículo, se deben determinar los factores que tienen impacto en la medición del ruido. En este proyecto, no se construyó la cabina insonorizada, sino que se la simuló con un programa informático y cálculos con un modelo matemático validado de aislamiento acústico para paredes dobles, y mediante el uso de la metodología del diseño de experimentos, se simularon en el software cada uno de los factores. A fin de determinar la combinación de variables, se usó un diseño matricial, con la ayuda del software estadístico. Se usaron en la simulación materiales que por su costo pueden encontrarse fácilmente en el mercado ecuatoriano, para que luego este dispositivo pueda usarse en todas las plantas de producción de autopartes, permitiendo así que se valide el nivel de ruido. Los resultados de la simulación se compararon con resultados de varios autores que han estudiado el aislamiento de acústico de paneles sándwich con

y sin absorbente en el medio. Finalmente, con esta metodología se llegaron a determinar los factores que influyen en la medición de ruidos en una cabina insonorizada de bajo costo con el objeto de reducir el ruido aéreo del ambiente de medición.

Palabras Clave:

Vibración; cabina a prueba de ruido; niveles de ruidos; aislamiento acústico.

ABSTRACT

At the final vehicle testing process, car assemblers perform checks of unwanted internal noise, and then eliminate them, in order to guarantee customer satisfaction. These tests are carried out at one hundred percent of the units. The noise measurements made by the assemblers are subjective and depend on hearing ability of the injector performing the test. All the units that are detected by the client are segregated and rejected. In the event that the percentage of units that have noise levels over the customer's standard, controlled shipments can be reached, which imply additional inspections, at the supplier's expense, at their facilities. Through the use of a soundproof chamber, the detection of products that do not meet the customer's standard is performed in the supplier's own plant, without the need to mount the part with noise in the vehicle. However, in order to simulate a process similar to that in a vehicle, factors that have an impact on noise measurement must be determined. In this project, the soundproof chamber was not built, but it was simulated with a computer program and calculations with a validated mathematical model of acoustic insulation for double walls, and by using the methodology of the design of experiments, they were simulated in the software each of the factors. To determine the combination of variables, a matrix design was used, with the help of statistical software. Materials were used in the simulation, which, due to their cost, can easily be found in the Ecuadorian

market, so that this device can then be used in all the production plants of auto parts, so that the noise level is validated. The results of simulation were compared with the results from several authors than have studied the transmission loss in sandwich panel with and without absorbent in the middle. Finally, this methodology was used to determine the factors that influence the measurement of noise in a low-cost soundproof booth in chamber to reduce airborne noise in the measurement environment

Keywords:

Vibration; soundproof cabin; noise level; vehicle; acoustic isolation.

INTRODUCCIÓN

El objeto de este estudio es analizar los factores que intervienen en la medición de ruido mediante una cabina insonorizada. Esta cabina insonorizada permite simular las condiciones de vibración en el vehículo, de tal forma que las pruebas de detección del ruido se las haga en las instalaciones del productor de la autoparte, sin la necesidad de tener un vehículo, proporcionando el aislamiento acústico adecuado.

Actualmente, el mercado automotriz tiene una alta competitividad, por tanto la calidad del producto es primordial para la satisfacción del cliente. Una característica que aprecia mucho el cliente en un vehículo es la ausencia de ruidos molestos.

Normalmente este tipo de ruidos sólo se los puede detectar una vez que el producto está instalado en el vehículo, con el criterio subjetivo inspector humano, lo cual en la práctica hace difícil la detección de ruidos molestos.

Para realizar la detección de niveles de ruido no conformes en autopartes, se requiere colocar el sistema de medición de ruido como parte del proceso productivo, a manera de una estación de prueba.

Existen varios diseños de cabinas a prueba de ruido, están han sido patentadas. (Ivey, 2018) ha diseñado una cabina recubierta de una lámina de plástico corrugado con un material acústicamente eficaz con líneas de plegado como líneas centrales de ranuras en forma de V plegable para instalación en autos. También se ha propuesto una cabina de insonorización con una estructura con una caja insonorizada que es robusta y ligera, la cual puede absorber el sonido sobre una banda ancha, y ha mejorado el rendimiento de absorción de sonido, el diseño incluye estructura con pequeños hexágonos, tipo panal de abeja (Yamazoe, et al., 2019). La cabina propuesta por (Shiming, et al., 2015) proporciona una mini habitación modular de uso doméstico, en el cual cuerpo de la pared está constituida por una placa acústica de celotex® (fibra de madera aglomerada) y una puerta insonorizada en el cuerpo de la pared.

Para realizar pruebas de test de audición, (Jingyang & Wanli, 2018) han diseñado una especie de sala insonorizada de prueba auditiva inteligente en la que incluyen los accesorios básicos como una puerta insonorizada controlada automáticamente y una ventana insonorizada, un ventilador y un asiento

plegable, para el sistema de inteligencia dispone de una cámara y un intercomunicador, además, una cortina electrónica y un transpondedor que automáticamente realiza la prueba de audición.

En la industria automotriz se ha diseñado por ejemplo una especie de cabina insonorizada adecuada para la prueba del túnel de viento del automóvil, para medir el ruido generado por la escotilla de la ventana de la cabina y el conjunto del parabrisas, esta cabina sirve para validar los niveles de ruido generados por las irregularidades aerodinámicas del vehículo (Hai, 2019).

En el mercado se pueden encontrar cabinas insonorizadas, las cuales sirven para validación, pero no para producción en serie. (iac acoustics, 2019) cámaras insonorizadas de varios tamaños, las cuales por su tamaño no pueden implementarse en una producción en serie de productos electrónicos.

Ninguno de estos diseños es personalizado, de bajo precio y enfocado a una línea de producción.

El sistema de medición de ruido se instalará en el proceso de producción y debe cumplir todos los tiempos del ciclo, a fin de que el tiempo de prueba de niveles de ruido este balanceado con el resto de procesos, debe tener las medidas ergonómicas necesarias para que sea manejado por un inspector, y el sistema debe tener las dimensiones necesarias

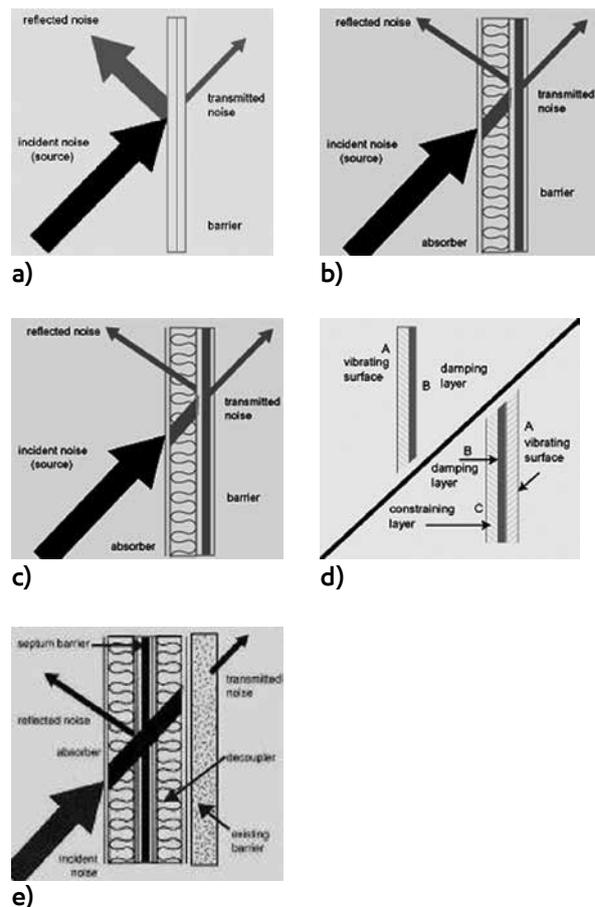


Figura 1 a) Absorbedor b) Barrera c) Composite d) Amortiguador e) Composite desacoplado

para que ocupe un espacio similar a una estación de prueba, por lo que este sistema no puede colocarse en un sitio apartado del proceso productivo, pues el tiempo de transporte eleva los tiempos de ciclo del proceso.

Dentro de las configuraciones de paredes hacia aislar el ruido externo se pueden encontrar barreras para bloquear la transmisión del sonido, composites que permiten bloquear la transmisión del sonido y reducir las reflexiones de la barrera, absorbedores para reducir la reflexión de sonido y disipar la energía del ruido, amortiguadores para reducir el sonido irradiado de las superficies en vibración y amortiguadores desacoplados que permiten mejorar el rendimiento del material compuesto cuando se aplica al interior de una barrera existente. El desacoplamiento crea un espacio de aire entre la barrera existente y la barrera compuesta del tabique aumentando la pérdida de transmisión más allá de lo que cabría esperar con la conexión directa (Rossing, 2007), ver la Figura 2.

Fu, et al., (2018) realizan el estudio de la pérdida de sonido por transmisión de placas tipo sandwich de estructura de material compuesto laminado sometido a excitación de onda sonora plana, donde las placas de material compuestos laminado se componen de nanotubos de carbono.

El diseño de la cabina sobre el cual se van a analizar los factores que influyen en el nivel de aislamiento se muestran en la Figura 1, dentro de esta cabina se coloca la parte sobre la cual se va a determinar el ruido que genera por vibración. El objetivo es evaluar el nivel de aislamiento acústico de la cabina de tal forma que los ruidos ambientales de una planta de producción no interfieran en la evaluación del nivel de ruido y evaluar sobre esta los factores que influyen en su nivel de aislamiento acústico.

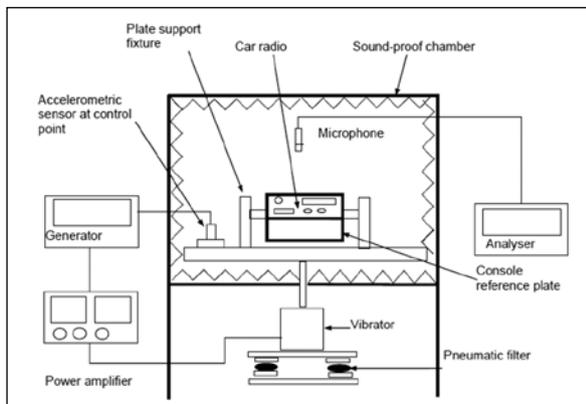


Figura 2. Equipo para generación de vibración y medición de ruido para autopartes electrónicas. Se muestra la cabina (soundproof chamber) como parte del diseño. (Renault, 2004)

El diseño propuesto del sistema de medición, modelado en un software de CAD, montado en una estación de prueba, se muestra en la Figura 2.

La cabina tiene una esponja interna con pirámides o cuñas, las cuales minimizan el efecto

de reverberación del sonido (no se muestra en la Figura 2). Esta cabina tiene también las medidas ergonómicas necesarias para un inspector de pie que realice la prueba de 300 unidades al día.

La cabina está configurada por doble pared aislante y un absorbedor de ruido en el medio de las paredes o aire, esta configuración tiene mejores características de aislamiento acústico que una configuración simple (Recuero López, 2000).

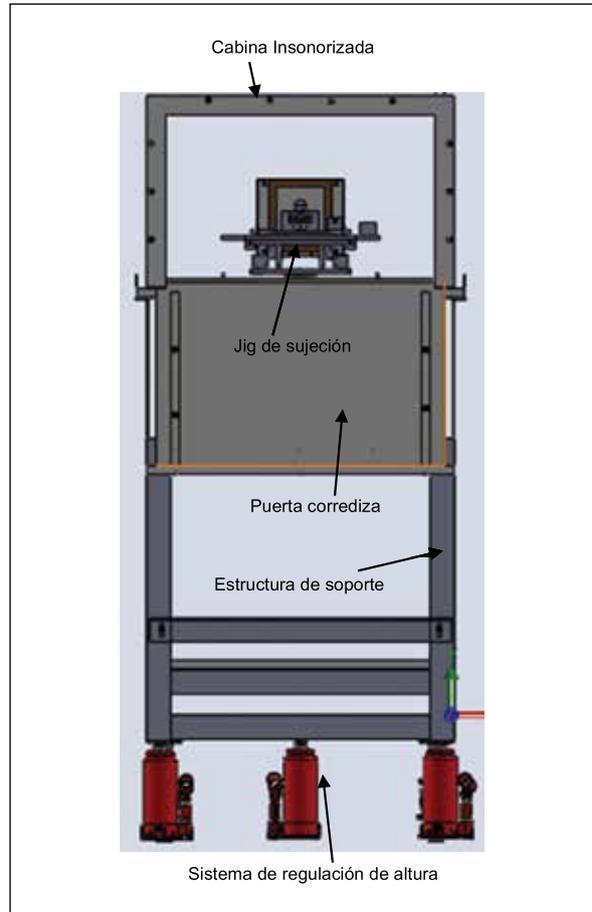


Figura 3. Sistema de medición de ruido de autopartes. Se muestra la cabina y su sistema de soporte y regulación de altura. No se muestra el sistema de generación de vibración. El jig de sujeción se une al sistema de vibración inferior (no se muestra) y sujeta firmemente la parte a prueba. El sistema de regulación permite regular la altura de forma ergonómica. El ancho de la estación de prueba es de 1m y su altura máxima de es 180 cm. La puerta corredera se abre automáticamente para permitir el ingreso de la parte y se cierra herméticamente para evitar el ingreso de ruido.

El diseño y construcción de particiones eficaces es un elemento central en la práctica del control de ruido por parte de ingenieros y arquitectos. Un conocimiento de principios físicos básicos y de buenas prácticas de diseño es importante para un grupo más amplio, incluidos los planificadores de autoridades locales, funcionarios de salud ambiental, funcionarios de edificios y obras, y la gestión industrial. Rao, et al., (2006) estudian los principios básicos mediante análisis de la transmisión de sonido

a través de algunos modelos idealizados simple de construcciones uniformes de partición de una y dos placas.

Las principales variables para el estudio del aislamiento acústico en una cabina de bajo costo son los materiales, configuraciones de las capas del material, espesor, acople y ruido ambiental del entorno, entre otras que se definen luego.

Con los resultados del estudio se espera diseñar el aislamiento acústico y validar una cabina insonorizada para que proporcione un aislamiento acústico ponderado de mínimo 35dBs, según especifica el requerimiento (Renault, 2004).

Existen diferentes modelos de predicción del índice de reducción acústica. Los principales mecanismos de aumento del aislamiento acústico son el tránsito a través de elementos porosos de ondas acústicas y por cambio de impedancia acústica en la banda de transmisión en el caso de elementos impermeables al sonido.

Los modelos de predicción, en la mayoría de los casos, consideran las frecuencias de resonancia y la frecuencia crítica, las cuales indican las transiciones de aislamiento y los tramos en donde existe posible decaimiento del sonido (Mondaca y González, 2010).

Se puede evaluar los niveles de atenuación acústica a través de análisis numérico y programas de elementos finitos como ANSYS Workbench, por ejemplo, Jie & Huann, (2017) estudian la pérdida de sonido por transmisión a través de varios tipos de paredes, los resultados de este estudio muestran que se tiene mayor aislamiento acústico configurando paneles o paredes multicapa. Los resultados de este estudio indican que materiales con alta densidad, baja rigidez y alta amortiguación interna son los mejores para construir una barrera al ruido.

Arunkumar, (2018) presenta los estudios realizados para mejorar el comportamiento acústico del panel sandwich de núcleo de celosía, que se utiliza principalmente en aplicaciones estructurales aeroespaciales. El espacio vacío del núcleo de celosía está lleno de espuma de poliuretano (PUF) para lograr mejores características de pérdida de transmisión de sonido. Inicialmente se calculan las propiedades elásticas equivalentes del panel sandwich de núcleo de celosía rellena de espuma. Los resultados revelaron que el llenado con PUF del espacio vacío del núcleo de la viga de celosía reduce significativamente las amplitudes resonantes tanto de las respuestas de vibración como de las acústicas. También se observa que el llenado de espuma reduce significativamente el nivel de potencia sonora general. Del mismo modo, los estudios de pérdida de transmisión sonora revelaron que, las caídas repentinas en las frecuencias de resonancia se reducen significativamente.

Modelos de Predicción del aislamiento acústico

La ley de masas se usa cuando el aislamiento acústico consta de una sola capa o cuando se tienen

varios aislamientos acústicos unidos rígidamente, e indica que las paredes simples se oponen a la energía acústica incidente por medio de su inercia mecánica lo que dificulta la vibración y por tanto la transmisión del sonido, la inercia mecánica está muy ligada al propio peso de la pared.

Algoritmo de Cálculo del nivel de Aislamiento Acústico

Índice de Aislamiento Acústico Ponderado

Para tener un solo número que indique el nivel de aislamiento acústico o pérdida por transmisión, se usa el índice ponderado de reducción sonora *Rw* para cada configuración de las variables a partir de la curva de aislamiento acústico en cada frecuencia.

Esta pérdida por transmisión, también se representa en una curva en función de la frecuencia, esta curva se la compara con una curva de referencia normalizada, la cual está en bandas de tercios de octava. Esta curva de referencia se muestra en la Figura 4. Para la obtención de *Rw* se aplica la metodología definida en ISO 717 (ISO, 2013).

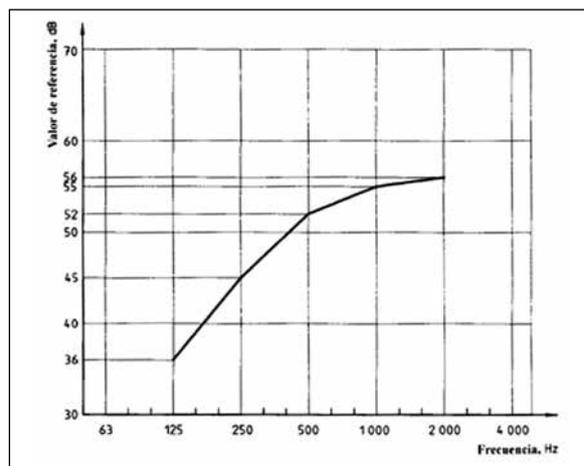


Figura 4. Valores de la curva de referencia para aislamiento a ruido aéreo, en bandas de octava, según ISO 717.

El valor de índice *Rw*, es el valor correspondiente a la banda de 500Hz de la curva de referencia ara aislamiento acústico.

Este número único no toma en consideración la frecuencia, por lo tanto no es muy exacto. Sin embargo, otorga un valor estimado de la configuración de las capas de aislamiento para poder comparar entre ellas.

Ondas de Pliegue

Las ondas de pliegue son aquellas que se propagan en una placa delgada cuando se la somete a fuerzas perpendiculares al plano de la placa (Lehman Fernández, 2007).

La velocidad de propagación de las ondas de pliegue es:

$$C_p = \sqrt{\frac{\omega^2 B}{\rho_s}}, \text{ (m/s)} \quad \text{Ec. (1)}$$

La rigidez al pliegue en placas sólidas está dada por:

$$B = \frac{Eh^3}{12}, (Nm) \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

E: módulo de Young [N/m²]
h: espesor de la placa [m].

Cuando $c_p = c$, ocurre el efecto de coincidencia,

$$\sqrt{\frac{\omega^2 B}{\rho_s}} = c \quad (m/s), \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

ω es la frecuencia angular [rad/s]
 ρ_s es densidad superficial de la pared [kg/m²]
B es rigidez a la flexión [Nm].
 ρ es densidad de la pared [kg/m³]
s es el área de la pared [m²]

De esta ecuación se deduce la frecuencia crítica f_c , que es la frecuencia a la cual la velocidad de propagación de la onda de pliegue iguala a la velocidad del sonido en el aire (Lehman Fernández, 2007), esta frecuencia está dada por:

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho_s}{B}} \quad (Hz) \quad \text{Ec. (4)}$$

Dónde:

c es la velocidad del sonido en el aire.

A esta frecuencia el nivel de aislamiento acústico se reduce debido al fenómeno de resonancia. Cada pared tiene su propia frecuencia crítica. Este fenómeno se muestra en la Figura 5.

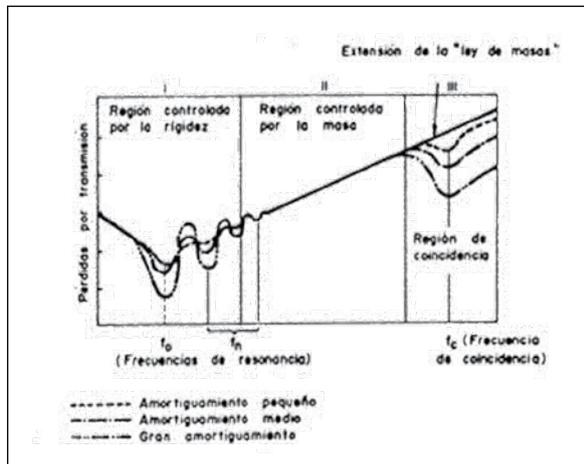


Figura 5. Aislamiento en función de la frecuencia: zona 1 gobernada por la rigidez y la resonancia; zona 2 gobernada por la ley de la masa; zona 3 gobernada por la coincidencia de las ondas. Tomado de (Recuero López, 2000)

Por otro lado, la velocidad del sonido en sólidos está dada por (Thomas D. Rossing, 2007) :

$$c_p = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad \text{Ec. (5)}$$

Aislamiento Acústico para una pared simple

La pérdida por transmisión de una pared sencilla, TL, puede calcularse a través de la ecuación de la masa (Recuero López, 2000), para cada frecuencia, según:

$$TL = 20 \log \left(\frac{Mw}{2Z} \right) = 20 \log f + 20 \log M - 42 \quad \text{Ec. (6)}$$

Dónde:

w es la frecuencia angular;
M es la masa por unidad de superficie
Z la impedancia acústica del aire

Este valor de TL indica la pérdida de sonido en dBs entre la fuente y el sitio de medición.

En la ecuación 6, se considera que la onda incide de forma perpendicular a la pared, en el caso de incidencia aleatoria se cambia el valor de 42 por 47.

Aislamiento acústico para paredes dobles

Existen diversos métodos para el aislamiento acústico con paredes dobles, entre los cuales se pueden mencionar:

- Ley de masa de una pared doble a incidencia normal
- Ley de masa a Incidencia aleatoria
- Ley de Masa a Incidencia Normal intuitiva
- Método aproximado de Robert Jones
- Corrección de Sharp a la ley de Masa incidencia aleatoria
- Método práctico de Iwashige & Ohta
- Aproximación de Brekke al Método SEA
- Método de Impedancia Progresiva de Fringuellino & Guglielmo

Se ha escogido para este estudio el método de Sharp que da los resultados más exactos. Este método es una corrección a ley de la masa de incidencia aleatoria (Lehman Fernández, 2007).

Un sistema de aislamiento acústico de pared doble consiste en dos paredes simples separadas por un material elástico o aire.

El nivel de aislamiento acústico depende de las características acústicas de las paredes, el tipo de acoplamiento entre ellas, y la absorción acústica del componente en la cavidad entre las dos paredes. Las dos posibles configuraciones para la cabina de este estudio se muestran en la Figura 4 y en la Figura 5.

La ley de las masas, que se usa típicamente para el cálculo del aislamiento acústico, divide el panel doble en tres regiones, bajo la frecuencia de resonancia, entre la frecuencia de resonancia y la frecuencia de transición y sobre la frecuencia de transición (Thomas D. Rossing, 2007).

En el modelo corregido de Sharp, la pérdida

de transmisión del sistema de pared doble ya no está determinada por 2 frecuencias, sino por 5 frecuencias: la resonancia menor del sistema, la frecuencia de coincidencia de cada uno de los paneles, la resonancia más baja del sistema acústico, una frecuencia de puente (fp, calculada a partir de las 2 rectas interceptadas por ella) y la frecuencia límite, que tiene que ver con la separación entre paneles (Lehman, 2007).

La resonancia de la cavidad f₀ está dada por:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1.8\gamma P \cdot (m_1 + m_2)}{d \cdot m_1 \cdot m_2} \right)^{\frac{1}{2}} \text{ (Hz)} \quad \text{Ec. (7)}$$

Donde:

m₁, m₂ son las densidades superficiales de los paneles 1 y 2, respectivamente (kg/m²)

d, la distancia entre los paneles (m)

γ, es la relación de calores específicos del aire,

γ: =1.41

P es la presión estática del aire, P =101.3 kPa

La frecuencia límite, f_l, que está relacionada con el espesor de la cavidad, se calcula:

$$f_l = \frac{c}{2 \cdot \pi \cdot d} \text{ (Hz)} \quad \text{Ec. (8)}$$

Las frecuencias críticas f_c de cada panel están definidas por:

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho_s}{B}} \cdot \text{ (Hz)} \quad \text{Ec. (9)}$$

Dónde:

ρ_s: densidad superficial del sólido [kg/m²]

B: rigidez a la flexión del sólido, [Nm].

c: velocidad del sonido en el aire.

Esta frecuencia crítica es la frecuencia a la cual la velocidad de propagación de la onda de pliegue iguala a la velocidad del sonido en el aire.

f_p es la frecuencia de puente y está relacionada con la frecuencia a la cual se tienen un aumento en la pérdida por transmisión debida a la unión estructural de los paneles con una viga, tal como se indica en la Figura 8.

En resumen, para este método existen frecuencias de importancia f₀, f_p, f_{C1} y 0.5f_{C2}, que definen 5 regiones, con cada una de estas frecuencias se forma el par ordenado (fi, TLi), para el cálculo de la pérdida por transmisión.

La pérdida por transmisión TL en dB para la configuración de paredes dobles está dada por:

$$\left. \begin{aligned} TL &= 20 \cdot \log((m_1 + m_2) \cdot f) - 48 \quad \text{(dB)} & f(f_0) \\ TL &= TL_1 + TL_2 + 20 \cdot \log(f \cdot d) \quad \text{(dB)} & f_0 \langle f \langle f_p \\ TL &= 10 \cdot \log \left(m_1^2 \cdot f_{c1} \cdot b \cdot \left(f \cdot \frac{(1+m_2 \cdot \sqrt{f_{c1}})^2}{(1+m_1 \cdot \sqrt{f_{c1}})} \right) \right) - 77 \quad \text{(dB)} & f_p \langle f \langle 0.5 \cdot f_{c1} \\ TL &= \log \left(\frac{f}{(0.5 \cdot f_{c1})} \right) \cdot \left(\frac{TL_c - TL_p}{\log \left(\frac{f_{c2}}{(0.5 \cdot f_{c1})} \right)} \right) + TL_p \quad \text{(dB)} & 0.5 \cdot f_{c1} \langle f_{c2} \\ TL &= 50 \cdot \log \left(\frac{f_c}{f_{c2}} \cdot f \right) \quad \text{(dB)} & f \rangle f_{c2} \end{aligned} \right\} \text{Ec. (10)}$$

Dónde:

TL es la pérdida por transmisión

TL₁ es la pérdida por transmisión en la pared 1

TL₂ es la pérdida por transmisión en la pared 2

f_p es la frecuencia de puente

De (Sharp, 1973) se tiene que:

$$TL_{B1} = TL_A + 20 \cdot \log \left(\frac{f_{c1}}{f_0} \right) - 6 \text{ (dB)} \quad \text{Ec. (11)}$$

Dónde:

$$TL_A = 20 \cdot \log((m_1 + m_2) f_0) - 48 \text{ (dB)}; \quad \text{Ec. (12)}$$

b es el espaciamiento entre vigas

f_{c1} es la frecuencia crítica de la pared 1

f_{c2} es la frecuencia crítica de la pared 2

TLC corresponde a la pérdida por transmisión para 0.5f_{C1}

TLB corresponde a la pérdida por transmisión para f_{C2}

$$TL_{B2} = 10 \cdot \log \left(m_1^2 \cdot b \cdot f_{c2}^3 \cdot \left(1 + \frac{m_2 \sqrt{f_{c1}}}{m_1 \sqrt{f_{c2}}} \right)^2 \right) - 77 \text{ (dB)} \quad \text{Ec. (13)}$$

TL_B corresponde al mayor entre TL_{B1} y TL_{B2}

Si las paredes son iguales fc1=fc2, de donde:

$$TL_C = TL_B + 6 + 10 \cdot \log(\eta_2) + 5 \cdot \log(\eta_1) \text{ (dB)} \quad \text{Ec. (14)}$$

Si las paredes son diferentes:

$$TL_C = TL_B + 6 + 10 \cdot \log(\eta_2) \quad \text{Ec. (15)}$$

Dónde η₁, η₂ son los factores de pérdidas del material de la pared 1 y 2, respectivamente.

Propiedades de los materiales:

En la tabla 1 se muestran los valores de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales aislantes usadas en este estudio.

Tabla 1. Propiedades mecánicas y físicas de los materiales para los cálculos de los índices de aislamiento acústico

Propiedad	Unidades	MDF	OSB
Módulo de Young E	[Gpa]	2.5	2.55
Densidad r	[kg/m3]	616.51	691.03
Factor de Pérdida h	-	0.038	0.031
Coefficiente de Poisson m	-	0.25	0.25
Velocidad de propagación longitudinal del sonido	m/s	2098.25	2098.25

El coeficiente de absorción acústica medio a_w , se lo calcula mediante el método usado en ISO 11654. Para este caso se usa el valor de 0.5 para poliuretano de 40kg/m³ de densidad (ATEPA, 2016).

Un método simplificado para el cálculo del aislamiento acústico (TL) se da en las ecuación 15,16 y 17, dependiendo de la frecuencia (Jones, 1981):

$$R = 20 \log(f(m_1 + m_2)) - 47 \quad f < f_0 \quad \text{Ec. (16)}$$

$$R = R_1 + R_2 + 20 \log(fd) - 29 \quad f_0 < f < f_i \quad \text{Ec. (17)}$$

$$R = R_1 + R_2 + 6 \quad \text{Ec. (18)}$$

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta es una investigación aplicada, ya que se usará la teoría de aislamiento acústico y se la aplicará al caso concreto de una cabina insonorizada con aislamiento tipo sandwich previamente diseñada.

Se realizó la búsqueda bibliográfica en la base de datos Science Direct, el objetivo principal de la revisión fue encontrar metodologías de la evaluación del aislamiento acústico de paneles dobles con absorbente en el medio, porque este diseño tiene la cabina en estudio. Se seleccionaron los métodos de cálculo con más citas, que acercan más los resultados del estudio a mediciones reales, y métodos que no impliquen gran complejidad matemática.

Definición de factores de aislamiento acústico

Se definieron, mediante el uso de un diagrama de causa – efecto y lluvia de ideas, los principales factores que podrían afectar a la medición del nivel de ruido y el aislamiento acústico de la cabina son:

- Número de paredes
- Número de capas de cada pared
- Espesor de cada pared*

- Material del aislante de cada pared*
- Separación entre paredes*
- Material del absorbente*
- Espesor del material del absorbente*
- Tipo de acople entre paredes*
- Dimensiones de las paredes*

De estos factores que afectan la medición del ruido, se clasificaron en factores controlables y factores no controlables, se escogieron 7 factores, los cuales en el listado anterior se marcan con asterisco, y se consideran que más influyen en los resultados de la medición. Estos factores son:

- Espesor del aislante de cabina insonorizada, los espesores corresponden a materiales estándar encontrados en el mercado ecuatoriano.
- Coefficiente de absorción sonora del material, en este caso se usan los valores del MDF (Medium Density Fiber Board) y OSB (Oriented Strand Board). Ver la Tabla 1.



Figura 6. Tableros de bajo costo usados para el análisis del aislamiento acústico

- Área superficial de la cabina, se realiza el análisis en dos cabinas de medidas ergonómicas para realización de inspección en serie. El volumen de la cabina permite conocer el largo y ancho, el cual influye en el nivel de aislamiento (Recuerdo López, 2000).
- Configuración de capas de material aislante, se usan la configuración tipo sánduche con variantes de una barrera acústica y aire en el medio. La barrera acústica evita la transmisión de ruido aéreo a través de la estructura de la cabina, tal como se muestra en la Figura 7.

La barrera o absorbente acústico usado para el estudio es de poliuretano de 40 kg/m³ de densidad.

- La separación entre paredes está dada por el espesor de absorbente acústico, se realizó el análisis con el poliuretano y con aire en el medio. Esta distancia d se muestra en la Figura 8.
- El acople o unión entre las paredes es importante ya que esta unión permite la transmisión de la vibración ocasionada por las ondas de sonido. Se usó un acople con madera separada a la altura del tablero y otra configuración sin acople como se muestra en la Figura 8.

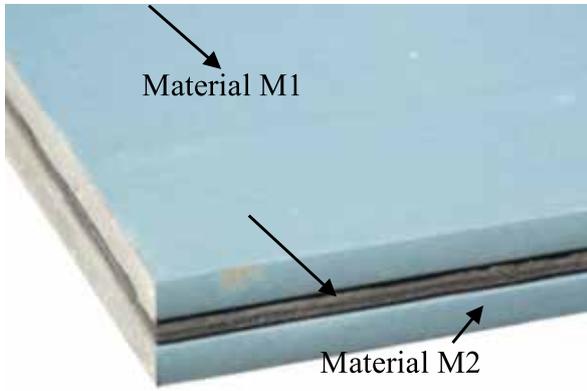


Figura 7. Configuración tipo sánduche para el análisis del aislamiento acústico. Adaptado de (Systems, 2017)

Los factores no controlables, a los cuales se fijó en el cálculo, son los siguientes:

- Punto de ubicación de micrófono, de modo que no afecte la medición.
- Sujeción de cabina a estructura, para que no transmita vibración a la cabina.
- Sensibilidad del micrófono, para que detecte los mínimos cambios de niveles de ruido.
- Nivel de reverberación.
- Número de capas de cada pared se mantendrá en una.
- Se usará un análisis con paredes dobles.

Tabla 2. Niveles de Variables Controlables en diseño factorial 2K

Factor	Nivel Bajo	Nivel Alto
Espesor de pared aislante 1 [mm]	20	30
Espesor pared aislante 2 [cm]	20	30
Material Aislante pared 1	MDF	OSB
Material Aislante de la pared 2	MDF	OSB
Separación entre paredes* [mm]	10	20
Tipo de acople	Sin acople	Madera
Alto y ancho de la pared	60cmx60cm	80cmx80cm

Se usó un diseño factorial 2K, para lo cual se definieron los niveles de los factores mostrados en la Tabla 2.

Se utilizó el software Minitab versión 17 para crear un diseño cribado de 7 factores, con el fin de facilitar la combinación de estos. En la Tabla 3. Se muestra la combinación de factores para determinar el nivel de aislamiento.

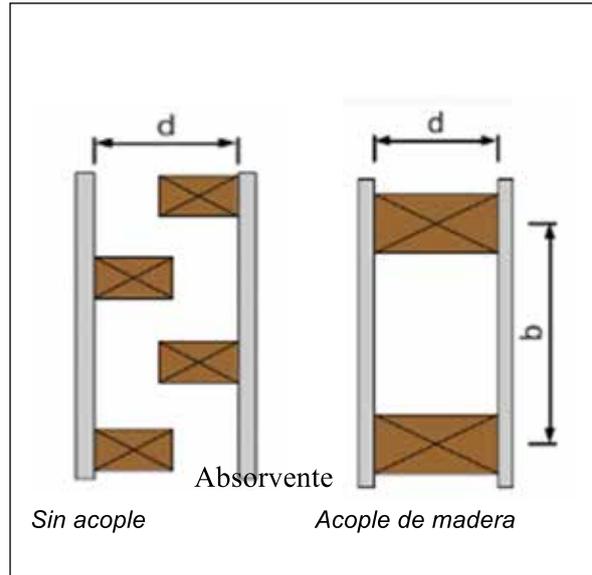


Figura 8. Configuración de las paredes de la cabina. d es la distancia entre las paredes, b es la distancia entre acoples.

Tabla 3. Combinación de factores para determinar el nivel de aislamiento acústico

Trat.	Espesor pared 1 (mm)	Espesor pared 2 (mm)	Separación Entre paredes (mm)	Material 1	Material 2	Alto-Ancho (mmxmm)	Acople	Absorbente
1	20	30	20	MDF	OSB	60x60	Sin acople	Poliuretano
2	20	30	20	OSB	MDF	80x80	Madera	Poliuretano
3	20	30	10	MDF	MDF	80x80	Madera	Aire
4	30	30	10	OSB	MDF	60x60	Sin acople	Aire
5	30	20	20	OSB	MDF	80x80	Sin acople	Poliuretano
6	20	20	20	OSB	OSB	60x60	Madera	Aire
7	20	20	10	MDF	MDF	60x60	Sin acople	Poliuretano
8	30	30	10	OSB	OSB	60x60	Madera	Poliuretano
9	20	20	10	OSB	OSB	80x80	Sin acople	Aire
10	30	30	20	MDF	OSB	80x80	Sin acople	Aire
11	30	20	20	MDF	MDF	60x60	Madera	Aire
12	30	20	10	MDF	OSB	80x80	Madera	Poliuretano

*El espesor del absorbente coincide con la separación de las paredes

Con los niveles definidos de cada factor, se ingresaron los valores de estas variables en la hoja de cálculo, para definir el nivel de aislamiento acústico, aplicando el algoritmo de cálculo del nivel de aislamiento acústico del método Sharp.

La distancia b , referente a la distancia entre acoples se igualó al valor de la altura de la pared en cada caso.

MÉTODO PARA ANÁLISIS DE RESULTADOS

Finalmente, para validar los resultados se compararon los resultados de la simulación con los cálculos aplicando el método de Sharp y Jones y se evaluó el error entre los dos métodos. Se realizaron

gráficos del aislamiento en función de la frecuencia incidente para la simulación con el programa dBwave y los cálculos con los métodos revisados en la bibliografía.

RESULTADOS

Los resultados de cada combinación de factores, luego de aplicar la ecuación 16 se ingresaron en la columna "Índice de Aislamiento Acústico Ponderado R_w ".

Se muestran los resultados del índice de aislamiento acústico para los 12 tratamientos o combinaciones, desde la Figura 9 hasta la Figura 20, para distintas frecuencias, en bandas de tercio de octava. En cada una de las figuras se muestra en verde la curva de referencia según ISO 717.

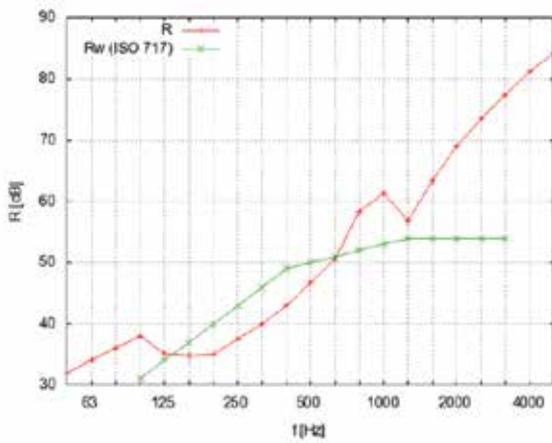


Figura 9. Resultados del índice de aislamiento acústico para el rango de frecuencia de 0-5000 Hz para el tratamiento 1. La curva verde representa el aislamiento acústico según ISO 177.

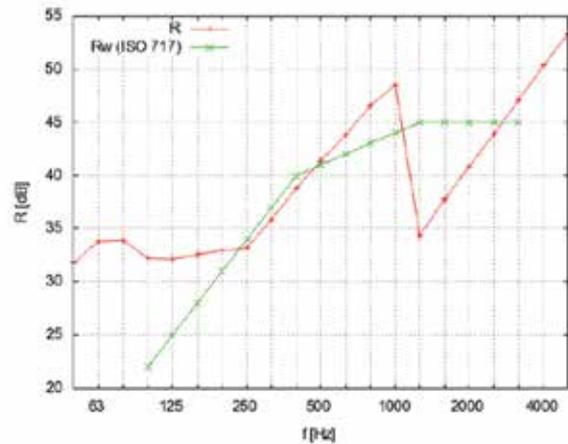


Figura 11. Resultados del índice de aislamiento acústico para el rango de frecuencia de 0-5000 Hz para el tratamiento 3.

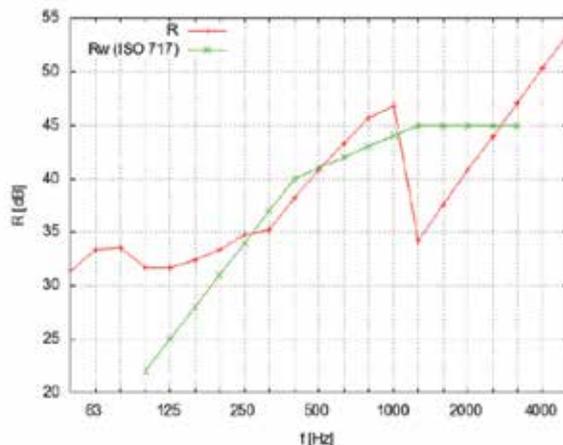


Figura 10. Resultados del índice de aislamiento acústico para el rango de frecuencia de 0-5000 Hz para el tratamiento 2.

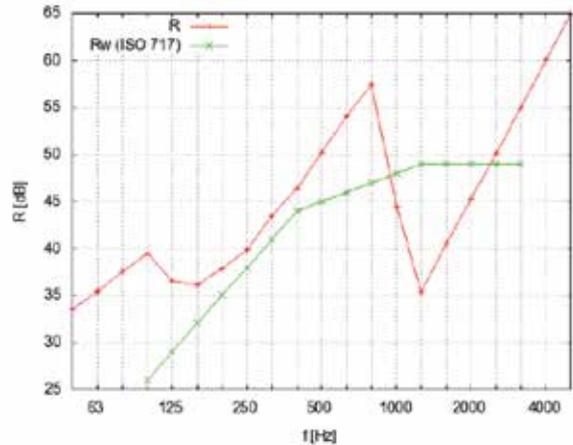


Figura 12. Resultados del índice de aislamiento acústico para el rango de frecuencia de 0-5000 Hz para el tratamiento 4.

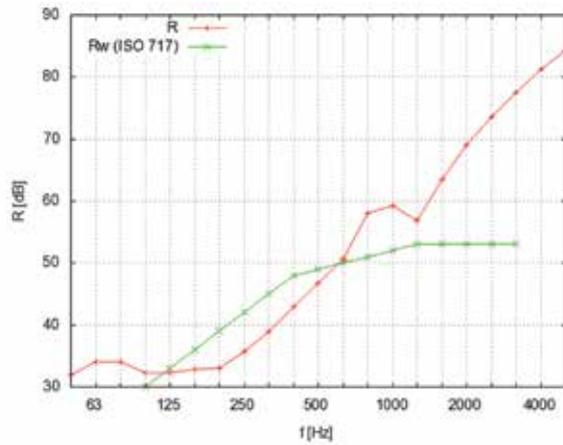


Figura 13. Resultados del índice de aislamiento acústico para el rango de frecuencia de 0-5000 Hz para el tratamiento 5.

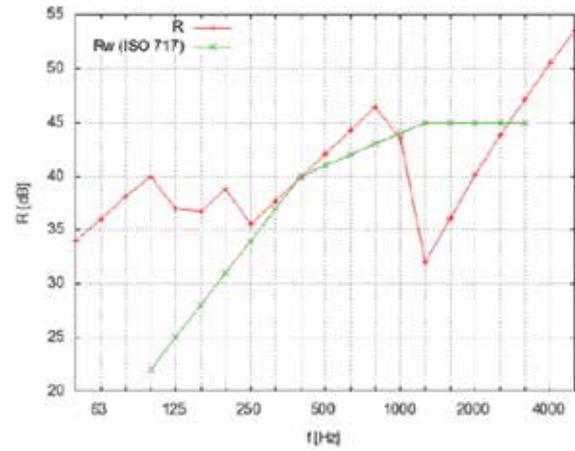


Figura 16. Resultados del índice de aislamiento acústico para el rango de frecuencia de 0-5000 Hz para el tratamiento 8.

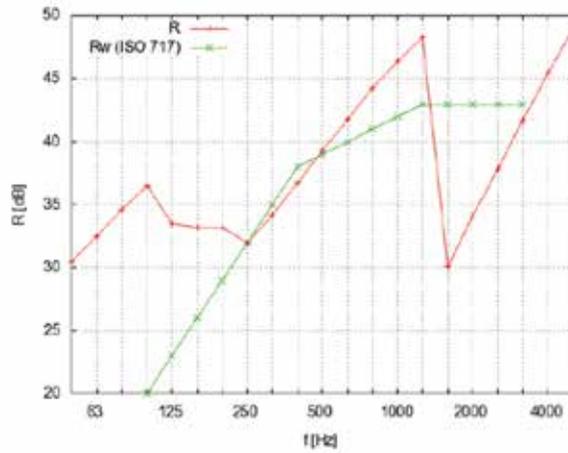


Figura 14. Resultados del índice de aislamiento acústico para el rango de frecuencia de 0-5000 Hz para el tratamiento 6.

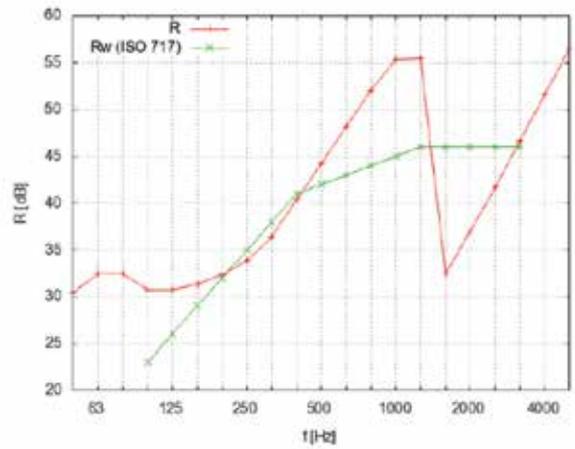


Figura 17. Resultados del índice de aislamiento acústico para el rango de frecuencia de 0-5000 Hz para el tratamiento 9.

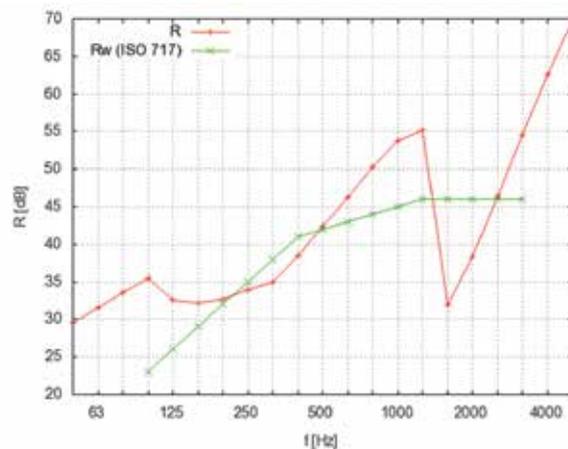


Figura 15. Resultados del índice de aislamiento acústico para el rango de frecuencia de 0-5000 Hz para el tratamiento 7.

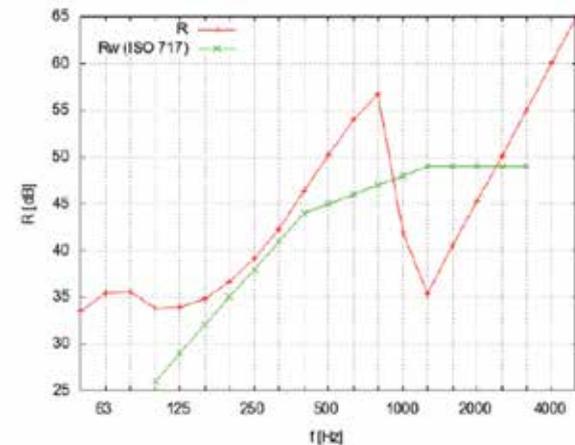


Figura 18. Resultados del índice de aislamiento acústico para el rango de frecuencia de 0-5000 Hz para el tratamiento 10.

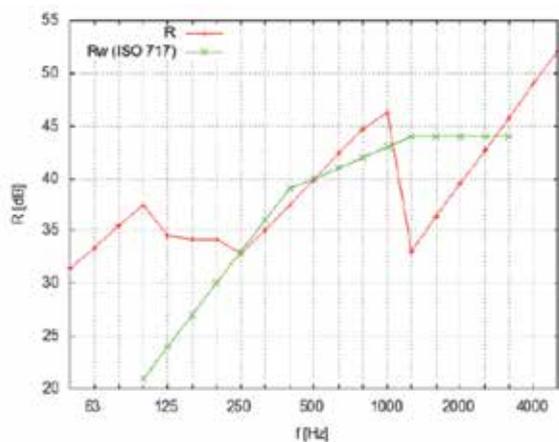


Figura 19. Resultados del índice de aislamiento acústico para el rango de frecuencia de 0-5000 Hz para el tratamiento 11.

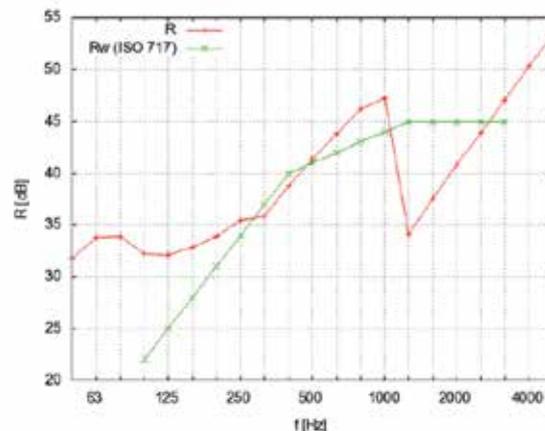


Figura 20. Resultados del índice de aislamiento acústico para el rango de frecuencia de 0-5000 Hz para el tratamiento 12.

En la Tabla 4, se muestran el índice de aislamiento acústico LT para cada tratamiento y para cada

frecuencia en bandas de tercio de octava para cada combinación de variables o tratamientos.

Tabla 4. Resultado del cálculo del aislamiento acústico para cada tratamiento o combinación de factores con el método de Sharp para cada frecuencia

Tratamiento												
Frecuencia [Hz]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
50	32.0	31.8	31.4	33.5	32.0	30.5	29.5	34.0	30.5	33.5	31.4	31.8
63	34.0	33.8	33.4	35.5	34.0	32.5	31.5	36.0	32.5	35.5	33.4	33.8
80	36.1	33.9	33.5	37.6	34.1	34.6	33.6	38.1	32.5	35.6	35.5	33.9
100	38.0	32.2	31.7	39.5	32.3	36.5	35.5	40.0	30.8	33.8	37.4	32.2
125	35.1	32.1	31.7	36.6	32.3	33.5	32.5	37.0	30.8	33.9	34.5	32.1
160	34.8	32.6	32.4	36.2	32.8	33.2	32.2	36.7	31.4	34.8	34.2	32.8
200	35.0	32.9	33.4	37.9	33.0	33.2	32.7	38.8	32.4	36.7	34.2	33.9
250	37.5	33.2	34.8	39.9	35.7	32.0	33.9	35.6	33.9	39.2	32.8	35.5
315	40.0	35.8	35.2	43.5	38.9	34.2	35.0	37.7	36.4	42.3	35.0	35.8
400	42.9	38.8	38.2	46.4	42.9	36.7	38.5	39.9	40.4	46.4	37.4	38.8
500	46.8	41.4	40.8	50.2	46.7	39.3	42.3	42.1	44.2	50.2	39.9	41.4
630	50.7	43.8	43.3	54.1	50.6	41.8	46.2	44.3	48.2	54.0	42.4	43.8
800	58.3	46.6	45.7	57.5	58.0	44.3	50.3	46.5	52.1	56.8	44.7	46.2
1000	61.3	48.5	46.8	44.5	59.3	46.4	53.8	43.5	55.4	41.9	46.3	47.3
1250	56.8	34.3	34.2	35.4	56.8	48.3	55.2	32.0	55.5	35.4	33.0	34.1
1600	63.5	37.8	37.6	40.6	63.5	30.1	31.9	36.1	32.5	40.6	36.4	37.6
2000	69.0	40.8	40.8	45.3	69.0	34.1	38.3	40.1	37.0	45.3	39.5	40.8
2500	73.5	43.9	43.9	50.1	73.5	37.9	46.4	43.8	41.7	50.1	42.7	43.9
3150	77.5	47.1	47.1	55.0	77.5	41.7	54.5	47.2	46.6	55.0	45.8	47.1
4000	81.2	50.3	50.3	60.1	81.2	45.5	62.6	50.5	51.7	60.1	49.1	50.3
5000	84.3	53.3	53.3	64.9	84.3	48.9	69.7	53.5	56.5	64.9	52.1	53.3

En la Tabla 5 se muestra el índice de aislamiento acústico ponderado para cada tratamiento.

Tratamiento	Índice de Aislamiento Acústico Ponderado R_w (dB)
1	50
2	41
3	41
4	45
5	49
6	39
7	42
8	41
9	42
10	45
11	40
12	41

Tabla 5. Resultado del índice de aislamiento acústico ponderado para cada tratamiento.

La Figura 21, muestra el análisis de Pareto de las variables que influyen en el aislamiento acústico, a partir del diseño factorial 2K.

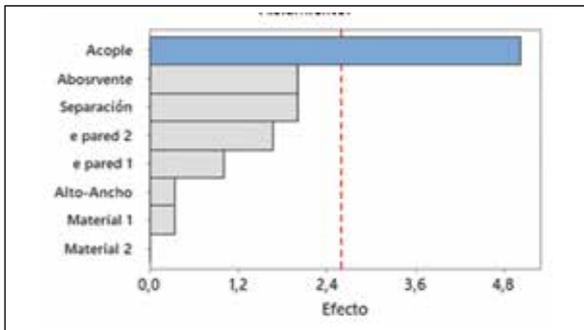


Figura 21. Diagrama de Pareto de efectos. Los factores con barras más largas tienen más influencia sobre el aislamiento, en este caso el acople entre paneles. La línea punteada es el tamaño del efecto en el nivel de significancia 0,10. Las barras grises representan términos no significativos que podrían ser eliminados del modelo.

La Figura 21, indica como cada factor o variable influye en la respuesta, es decir en el nivel de aislamiento acústico ponderado.

En la figura 23, se hace una comparación de los niveles de aislamiento obtenidos con las dos 12 combinaciones de material, espesor y aislamiento, se puede observar que el mayor nivel de aislamiento acústico se obtienen con la combinación 5, en la cual se tienen un panel de 30mm de OSB, 20mm de MDF, un espacio de 20mm, sin acople con absorbente de poliuretano.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Tal como lo indican varios autores (Sharp, 1973), (Lehman Fernández, 2007) (Rao, et al., 2006) el mayor aislamiento se tiene cuando existe una variación de impedancias acústicas entre paneles, esto se obtiene cuando los materiales de los paneles son diferentes, se tiene una mayor separación entre paneles y en la cavidad resultante se pone un material con gran absorción, en este caso poliuretano. No se han realizado estudios de cámaras de aislamiento acústico con las combinaciones de parámetros que se muestran en este estudio.

De acuerdo a la literatura, no se han hecho estudios similares con la combinación de materiales y tamaños de la cabina sujeta al presente análisis, análisis. Sin embargo, el uso de la simulación y la aproximación con modelos propuesto y validados por la experimentación, permite una comparación entre los resultados de la simulación y los cálculos con las metodologías definidas por los autores.

COMPARACIÓN CONTRA VARIOS MÉTODOS

Se realizó la comparación de los resultados usando la ley de Masa de una pared doble a incidencia Normal, el método de Jones y dBwave para el tratamiento 1, se observa que el método de Jones en promedio da el nivel mayor de aislamiento.

Los resultados indican que se pueden variar los niveles de aislamiento, usando materiales comunes, el cálculo con dBwave se ajusta en ciertas frecuencias a los resultados de los métodos de cálculo, los cuales a veces son complicados, el uso del programa facilita

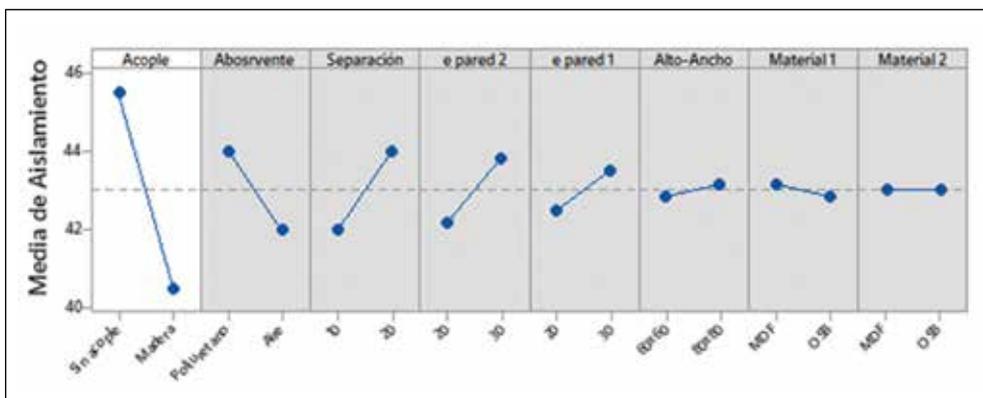


Figura 22. Gráfica de efectos principales para el aislamiento acústico. Describe cómo afectan los cambios en un solo factor a la media de aislamiento. El fondo gris representa los factores que podrían eliminarse del modelo porque no son estadísticamente significativos.

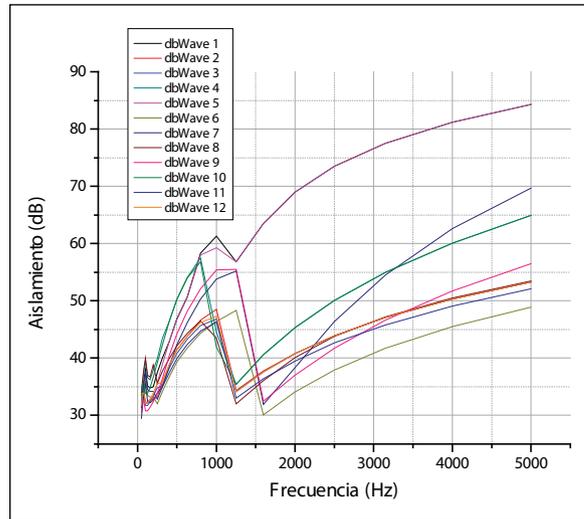


Figura 23. Resultados de la simulación en el programa dBwave para las 12 combinaciones de espesor, material y absorbente definidos en la tabla 4.

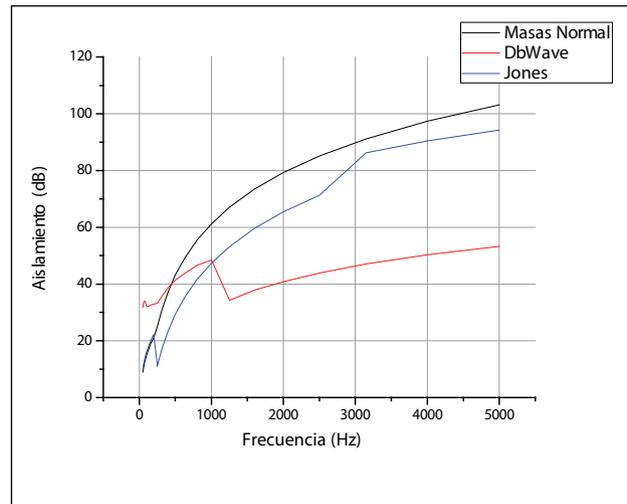
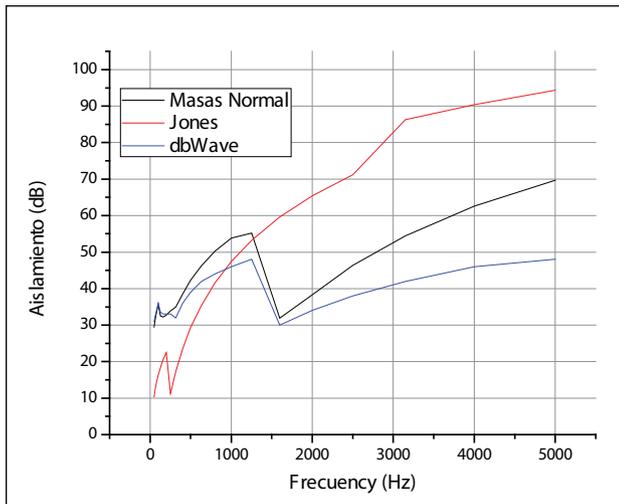


Figura 24 Comparación de los niveles de aislamiento acústico (TL) con el método de Jones, Ley de Masa de una pared doble a incidencia Normal y la simulación con dBwave para el tratamiento 1 y tratamiento 2.

la configuración de paneles y la obtención de un resultado adecuado.

La figura 24 muestra la diferencia en el nivel de aislamiento (TL) mediante la simulación realizada en dBwave y el método de Jones. Se puede observar que el nivel de aislamiento sólo coincide a los 2800Hz y que bajo ese valor la simulación da un valor mayor, en promedio el valor adicional de aislamiento es de 22dB, esto puede deberse a que en el cálculo con el método de Jones no se considera el material aislante que va entre las 2 láminas.

En un estudio futuro se debe realizar la medición de los niveles de aislamiento (TL) construyendo una cabina de insonorización que cumpla los parámetros de mayor aislamiento, para validar los resultados teóricos de y de la simulación.

CONCLUSIONES

El principal factor que incide en el aislamiento acústico con los tratamientos definidos es el tipo de

acople, por lo que en el diseño final de la cabina se deberá emplear el diseño sin acople, que maximiza a más de 45dB el índice.

El material usado en el diseño no afecta el índice de aislamiento acústico. Se tienen niveles de aislamiento acústico similares con ambos materiales.

La combinación que sugiere se maximice el índice de aislamiento acústico es sin acople, con absorbente de poliuretano, separación de 20mm, espesor de las paredes de 30mm.

Ninguno de los tratamientos realizados cumple la combinación de parámetros que maximizaría el aislamiento acústico. Al realizar esta combinación se obtiene la siguiente curva de aislamiento. Sin embargo, el tratamiento 1 es el que da el mayor aislamiento.

El alto y ancho de las paredes no influyen en el aislamiento acústico, por lo que se tiene libertad en definir las medidas necesarias para cumplir los requisitos ergonómicos de la prueba de medición de

ruido.

En la mayoría de los casos se produce una disminución del aislamiento acústico entre 1200 y 1800 Hz, debido al fenómeno de coincidencia. Esta disminución en las combinaciones 1 y 5 es baja, por lo que se recomienda el tratamiento 1 para el diseño de la cabina.

De acuerdo a la literatura, no se han hecho estudios similares con la combinación de materiales y tamaños de la cabina sujeta al presente análisis, sin embargo el uso de la simulación y la aproximación con modelos propuestos y validados por la experimentación, permite una comparación entre los resultados de la simulación y los cálculos con las metodologías definidas por los autores.

REFERENCIAS

- AATEPA. (2016). "Libro blanco del poliuretano proyectado e inyectado". Madrid: AISLA, Asociación de Instaladores de Aislamiento.
- Arunkumar, M.P., J. P., K. G., M. L. (2018). "Vibro-acoustic response and sound transmission loss characteristics of truss core sandwich panel filled with foam". *Aerospace Science and Technology*, pp. 1-11.
- Barrionuevo, D. y Gonzales, J. (2012). "Criterios Generales para el diseño de cámaras anecoicas." Córdoba: Universidad Tecnológica Nacional.
- Dekustic (2017). Dekustik. [En línea] Available at: http://www.decustik.com/arxiu/docs/1467280372_cast_Catalogo_decustik_2016_ES.pdf
- Fu, T. y otros. (2018). "An analytical study of sound transmission through stiffened double laminated composite sandwich plates". *Aerospace Science and Technology*, pp. 92-104.
- Hai, Z. (2019). "A kind of soundproofed cabin suitable for automobile wind tunnel test". China, Patente nº CN209166834U.
- Iac acoustics. (2019). <https://www.industrialnoisecontrol.com>. [En línea] Available at: <https://www.industrialnoisecontrol.com/products/acoustical-test-measurement-chambers> [Último acceso: 20 nov 2019].
- ISO. (1997). "Acoustics -- Sound absorbers for use in buildings -- Rating of sound absorption." s.l.: International Organization for Standardization.
- ISO. (2013). "UNE 717-1 Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción". Madrid: AENOR.
- Ivey, J. (2018). "Covered plastic acoustic enclosure." United States, Patente nº US20180124486A1.
- Jie, K. L. & Huann, T. C. Y. K. Y. H. G. Y. (2017). "Numerical analysis of transmission loss through various noise barrier". *Proceedings of the International Conference on Vibration, Sound and System Dynamics*, pp. 60-64.
- Jingyang, C. y Wanli (2018). A kind of intelligent hearing test soundproof room. China, Patente nº CN208073037U.
- Jones, R. (1981). "Field sound insulation of load-bearing sandwich panels for housing". *Noise Control Engineering*, pp. 90-105.
- Lehman Fernández, C. S. (2007). "Revisión de los Algoritmos de Predicción del Aislamiento Proporcionado por Paredes Dobles: un Análisis". Valdivia: s.n.
- Llopis Reyna, A., Uris Martínez, A. y Guillen Guillamón, I. (2010). "Cálculo del índice de reducción sonora de ventanas con ruido laminar". Valencia: Dept. Física Aplicada. Universidad Politécnica de Valencia.
- Rao, G., Frank, F. y Gardonio, P. (2006). "Transmission of Sound through Partitions". En: A. Press, ed. *Sound and Structural Vibration: Radiation, Transmission and Response*, 2nd Edition. s.l.: s.n., pp. 277-373.
- Recuero López, M. (2000). "Ingeniería Acústica". Madrid: Paraninfo.
- Renault (2004). s.l.: Normalisation Renault Automobiles.
- Rossing, T. D. (2007). *Handbook of Acoustics*. Second ed. Standford: Springer.
- Sharp, B. H. (1973). "A study of techniques to increase the sound insulation of building elements". Wyle Laboratory Report No. WR 73-5.
- Shiming, B. y otros (2015). "Modular home – use mini soundproof room". China, Patente nº CN204676935U.
- Supacoustic. (2006). <https://supawood.com.au/supawood-products/supacoustic>. [En línea] Available at: <https://supawood.com.au/technical-information/acoustics> [Último acceso: 21 10 2017].
- Systems, N. S. (2017). <http://www.noisestopsystems.co.uk>. [En línea] Available at: <http://www.noisestopsystems.co.uk/wall-soundproofing/nssw2-plus-soundproofing-wall-board?zenid=2d24d42dc-946c51a22cbac554e901f03>
- Yamazoe, S. y otros. (2019). "Soundproof construction, soundproof enclosure and soundproof box". Japan, Patente nº JP6550523B1.

ARTÍCULO ORIGINAL

Recibido:

17/03/2018

Aprobado:

31/10/2019

Problemáticas en la función docente desde la perspectiva del profesorado novel universitario

Problems in the teaching function from the perspective of the university novel teacher

Guerrero Gallardo Héctor Iván

<https://orcid.org/0000-0002-3026-3720>

Universidad Central del Ecuador

Email: higuerrero@uce.edu.ec

RESUMEN

Actualmente, la indagación de las dificultades que atraviesa el profesorado novel universitario es imprescindible para la generación de alternativas que permitan apoyar a su desarrollo profesional. El objetivo propuesto, logró establecer las problemáticas del profesorado novel universitario en su función docente. Este estudio, responde a un enfoque cualitativo. Los sujetos investigados, fueron 68 docentes nuevos de la Universidad Central del Ecuador. En la metodología, se empleó la entrevista mediante una guía de base estructurada con la finalidad de comprender el significado de las narrativas de los participantes. Los resultados obtenidos, permitieron develar que; del total de protagonistas, se demostró que un 34,10% de profesores noveles, señaló que sus problemáticas en la función docente, responden a la falta de conocimientos básicos de los estudiantes respecto a las asignaturas que imparten. Mientras un 56,65% de participantes, afirmó que sus limitaciones responden a condicionantes institucionales. Finalmente, un 9,25% de noveles, mencionó que sus inconvenientes, se deben a la poca experiencia que tienen en asignaturas nuevas, las cuales son asignadas en sus unidades académicas. Se concluyó, que los problemas del profesorado novel universitario en sus funciones docentes, son: la falta de apoyo de las autoridades para atender sus requerimientos a nivel de aula, bajos niveles de dominio de conocimiento de los estudiantes y la poca experiencia profesional del profesorado en asignaturas nuevas que les son establecidas conforme necesidades de las carreras profesionales.

Palabras clave:

Problemas del profesorado novel; desarrollo profesional universitario.

ABSTRACT

Currently, the investigation of the difficulties that the new university faculty is going through is essential for the generation of alternatives that allow to support their professional development.

The proposed objective allowed to establish the problems of the new university teaching staff in their teaching function. This study responds to a qualitative approach. The subjects investigated were 68 new teachers from the Central University of Ecuador. In the methodology, the interview was used through a structured base guide in order to understand the meaning of the narratives of the participants. The results achieved, allowed to reveal that, of the total of protagonists, it was demonstrated that a 34.10% of novice teachers, pointed out that their problems in the teaching function, respond to the lack of basic knowledge of the students regarding the subjects taught. While 56.65% of participants said that their limitations respond to institutional constraints. Finally, a 9.25% of beginners, mentioned that their drawbacks, are due to the little experience they have in new subjects, which are assigned in their academic units. It was concluded that the problems of the new university teaching staff in their teaching functions are: the lack of support from the authorities to meet their requirements at the classroom level, low levels of knowledge mastery of the students and the little professional experience of the teaching staff. new subjects that are established according to the needs of professional careers.

Keywords:

Novel teacher problems; university professional development.

INTRODUCCIÓN

El nuevo milenio se está caracterizando, por los constantes cambios que se están originando en el mundo en cuanto a sociedad, política, educación, economía, tecnología y trabajo. Por ende, las instituciones educativas de nivel superior establecen su contribución para vincularse adecuadamente a las necesidades de la sociedad a través de la generación de ciencia, tecnología e investigación. En ese sentido, la situación social, política y económica en la que se desenvuelve la función del docente universitario, en concordancia con la propia cultura universitaria en cada entorno, influirán en gran medida sus percepciones e identidad para que el docente

fortaleza su profesión (Caballero y Bolívar, 2015). Los países carentes de los aspectos mencionados anteriormente evidencian una educación de baja calidad y con ello difícilmente pueden sobresalir en un mundo globalizado y cada vez más competitivo. Asimismo, los cambios del entorno donde el profesorado universitario, generan transformaciones en sus funciones, tareas y roles que se les asignan (Mas Torelló, 2012). Dentro del marco de ideas, se percibe la necesidad de que el profesorado universitario sea desarrollado profesionalmente en las mejores condiciones a fin de cumplir adecuadamente las funciones que cumplen en las comunidades universitarias para el mejoramiento de la calidad educativa a nivel superior y coadyuvar con el desarrollo sostenible y sustentable de la sociedad.

La Universidad Central del Ecuador conforme el informe de evaluación emitido por el Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior, está ubicada en la categoría "B" (Resolución No. 001-073-CEAACES-2013-292013); enfatizando, que en este proceso se consideraron metodologías de análisis multicriterio y el análisis de conglomerados, mediante cinco criterios: academia, eficiencia académica, investigación, organización e infraestructura. En este sentido, conviene acentuar que como subcriterio del criterio academia, está la calidad docente, que evalúa la experiencia en el ejercicio profesional, en producción científica/ académica; así como también, la formación académica del cuerpo docente de la carrera (CEAACES, 2013). Dentro de este marco, resulta indispensable comprender el papel que juegan los procesos de desarrollo profesional del profesorado universitario. Precisamente, el análisis de los datos que preceden, motivo a indagar mediante las narrativas del profesorado novel universitario, las dificultades que enfrentan en su función docente conforme sus vivencias. Recalcando, que en la institución objeto de estudio no existen estudios relacionadas con esta temática, por lo que la presente investigación, resulta de interés para los distintos actores de la comunidad universitaria.

Villacís (2014), señala "la Universidad ha tenido que enfrentar una escasez de profesores debido a la salida de unos 300 profesores en febrero de 2014. La edad, la jubilación complementaria y los requisitos académicos para poder dar clases son los factores que motivaron la masiva renuncia". Al respecto, se puede vislumbrar que, en forma progresiva, muchos docentes antiguos con gran trayectoria y experiencia profesional decidieron retirarse de la carrera profesional universitaria. Significa entonces, que esa gran experiencia profesional debe ser igualada o superada por los nuevos docentes para completar la planta docente conforme las necesidades institucionales. Consecuentemente, el profesorado principiante debe ser formado permanentemente para posibilitar su desarrollo profesional conforme las demandas de la sociedad.

El desarrollo profesional del profesorado novel universitario, es un proceso complejo, que a pesar de existir algunas investigaciones, sigue planteando grandes retos a los distintos actores educativos (Castañeda y Adell, 2011). Asimismo, debe ser un proceso sistémico que permita mejorar la calidad educativa de las organizaciones, fortaleciendo distintas competencias profesionales con el propósito de incrementar el nivel de desempeño del profesorado acorde a las distintas funciones que cumplen en su entorno (González, Vicent, García, e Inglés, 2014). Por este motivo, en las comunidades universitarias, se deben facilitar procesos de formación profesional continuos para que los docentes nuevos y experimentados fortalezcan sus funciones básicas, como son: la docencia, la investigación y la gestión para vincular a la universidad con la comunidad (Díaz y del Toro, 2013). Por consiguiente, el desarrollo profesional comprende procesos de crecimiento, progreso, adecuación, en relación con las competencias profesionales requeridas para incrementar su desempeño profesional conforme las necesidades de desarrollo institucional y social del contexto (Antoli, 2016). Sobre la base de las ideas expuestas, el desarrollo profesional del profesorado universitario puede ser vislumbrado como una concepción compleja y polisémica que pretende englobar distintos significados a fin de encaminar mayores niveles de actuación profesional conforme nuevos desafíos y tendencias que requiere la educación superior acorde al nuevo milenio.

Por otro lado, el profesorado principiante requiere de una etapa de inducción y para ello demanda de procesos de formación profesional (Bozu, 2010). Dicho de otra manera, el profesorado novel puede ser comprendido como un profesional, que se inicia en sus actividades y posee poca experiencia en las funciones que debe cumplir (Bozu, 2009). Consecuentemente, el docente novel universitario, es considerado como un inexperto en los procesos institucionales (Lledó et al., 2015). Significa entonces, que el profesor novel, es una persona que se encuentra en un momento de transición entre los conocimientos, habilidades y actitudes aprendidas en sus procesos de formación académica, y la puesta en acción de lo aprendido en el marco real de la intervención pedagógica conforme los requerimientos de la comunidad universitaria, es decir, se caracteriza por que comienza a ejercer sus actividades laborales y posee escasa experiencia en la dinámica organizacional lo que justifica plenamente de procesos de formación y acompañamiento para desarrollarse profesionalmente.

El desarrollo profesional de los docentes noveles universitarios resulta ser un proceso complejo en las que pueden intervenir una serie de factores. Al respecto, Cardona (2008), asevera "buscamos constatar el pensamiento de los profesores acerca de aquellas medidas que es necesario adoptar para evitar, o paliar, las situaciones difíciles a las que ha de responder el docente en la escuela actual para lograr la calidad deseada" (p. 31). Por consiguiente,

conviene valorar la preocupación por la formación de los profesores noveles, ya que resulta relevante para el sistema educativo universitario, porque en los primeros años de haberse incorporado a una institución educativa de nivel superior se forman y se consolidan la mayor parte de los conocimientos, habilidades y actitudes que utilizarán en el ejercicio de la profesión docente. Asimismo, (Nogueira, Cubillas, González, 2018), plantean “proceso de construcción y reconstrucción social, donde todos aprenden con alto grado de autonomía y creatividad, con las mejores vivencias y experiencias” (p. 183). Significa entonces que el desarrollo profesional demanda de un proceso complicado, donde intervienen varios factores, como: formación profesional, la recategorización, remuneraciones percibidas, entre otros aspectos. Por consiguiente, conviene aplicar distintos modelos de desarrollo profesional que han logrado buenos resultados e invertir para la permanencia del profesorado en la universidad y asegurar que la enseñanza superior sea de calidad con el profesorado formado profesionalmente en las mejores condiciones.

Por su parte, (Cortés, Leite y Rivas, 2014) defienden “una perspectiva narrativa nos puede ofrecer la posibilidad, como se ha puesto de manifiesto en esta experiencia, de integrar estos elementos de discusión y análisis como base de la comprensión y reconstrucción del significado de la práctica educativa y/o docente” (p. 212). Evidentemente entonces, se puede dilucidar que resulta fundamental recurrir a los relatos de las vivencias de los participantes, como instrumentos de investigación que permiten visualizar e interpretar cómo se construye la idea del desarrollo profesional de un colectivo expuesto sistemáticamente a cambios. Es fundamental recalcar que una perspectiva narrativa puede ofrecer la posibilidad de integrar elementos de discusión y análisis como base de la comprensión y reconstrucción del significado de la práctica educativa y/o docente. A fin de cuentas, comprender la construcción de la identidad docente, es una forma de repensar nuevas vías de desarrollo profesional, desde su experiencia en las propias aulas.

Precisamente, investigaciones y trabajos como el de Dunkin (citado en Bozu, 2009) sostiene “uno de los pocos estudiosos de este tema, los problemas que padecen los profesores universitarios principiantes están fundamentalmente referidos a docencia, recursos, investigación y a los compañeros” (p. 324). En esta perspectiva, se puede determinar que las dificultades que se manifiestan en el desarrollo profesional del profesorado novel tienen relación con las funciones básicas que cumple con su gestión en la comunidad universitaria.

El objetivo de estudio se encaminó para establecer las problemáticas del profesorado novel universitario en su función docente, desde sus propias narrativas. Al ser una investigación con enfoque cualitativo, se desarrolló una pregunta directriz para su comprensión y significación, más que para la verificación o refutación de una hipótesis. Significa entonces, que

la cuestión de investigación se constituyó en el eje transversal de la investigación y se la formuló, de la siguiente manera:

¿Qué problemáticas existen en la función docente desde las narrativas del profesorado novel de la Universidad Central del Ecuador durante el año 2014?

MÉTODOS

Población de estudio

Se seleccionaron 68 profesores que empezaban sus funciones como docentes en la Universidad Central del Ecuador. La distribución por género fue de 37 hombres y 31 mujeres. En ambos grupos la participación fue voluntaria, brindaron su consentimiento para que se grabaran sus entrevistas. Los participantes fueron saludables y fluctuaban en edades desde 25 años hasta 45 años mayoritariamente.

Metodología

Se realizó un estudio investigativo con enfoque cualitativo con el criterio de comprender e interpretar el significado de las narrativas de los protagonistas. En este sentido, se aplicaron tres fases fundamentales: En primer lugar, la fase preparatoria o inicial, que contempló dos etapas esenciales: la reflexión teórica referencial y el diseño del trabajo en el campo. En segundo lugar, la fase de desarrollo, donde se aplicaron tres etapas: acceso al campo, recopilación de datos y análisis de los datos. En tercer lugar, la fase del informe de presentación de resultados para su difusión en la comunidad científica.

La institución objeto de estudio fue la Universidad Central del Ecuador, se planteó una cuestión específica sobre las problemáticas que cumple en su función docente con la intención de provocar respuestas de los protagonistas desde sus vivencias en busca de obtener una perspectiva general del problema investigado, el proceso de recopilación de la información fue desarrollado durante los meses de julio y agosto del 2014 como un componente esencial de la tesis doctoral del autor en investigación educativa desarrollado mediante convenio específico de colaboración académica y científica internacional en el área de educación entre la Universidad de Alicante de España y la Universidad Central del Ecuador suscrita el 28 de noviembre de 2013.

El muestreo fue no probabilístico, de tipo intencional, dirigida a 68 profesores nuevos provenientes de 17 Facultades, distribuidas en 4 áreas del conocimiento: Humanidades, Ciencias de la Vida, Ciencias Sociales, Físico Matemática con la finalidad de que la muestra sea representativa en función de las características de la realidad institucional conforme a su estructura y dinámica organizacional. Con relación a los datos sociodemográficos de la muestra, la mayoría tenía hasta 4 años de experiencia laboral en la institución (86,71%), laborando a tiempo completo (82,35%) y ubicados en la categoría Auxiliar (86,76%).

La técnica empleada para la recopilación de información, fue la entrevista mediante una guía estructurada que permitió profundizar sobre la cuestión investigada, fue validada mediante la triangulación de expertos en investigación cualitativa.

Para el proceso de tratamiento y análisis de los datos cualitativos fue necesario recurrir al software informático Aquad 6, Huber y Gürtler (citado en Fombona, Iglesias y Lozano, 2016) herramienta que facilita la interpretación de las narrativas de los participantes en una serie de temáticas emergentes. Para lo cual, preliminarmente se elaboró una matriz de coherencia (objetivos, cuestiones de investigación, marco conceptual, preguntas de entrevista, categorías, códigos y subcódigos) a partir de las unidades de texto de las narrativas de

los entrevistados. Enfatizando, que dicha matriz fue validada mediante la triangulación de investigadores expertos, lo que permitió el diseño conceptual y descripción de las temáticas a través de un sistema de códigos inferenciales generados para su interpretación.

RESULTADOS

Sobre las problemáticas en la función docente, se obtuvieron los siguientes hallazgos:

Como se observa en la figura 1 en el subcódigo 1.1.1, se aprecia que sobresale un 26,01% del total de los entrevistados, quienes afirman que los problemas en la docencia de sus asignaturas, se deben a que los estudiantes no dominan conocimientos básicos sobre los contenidos curriculares de las asignaturas que

Tabla 1. Frecuencias absolutas y porcentajes de las problemáticas en la función docente

CATEGORÍA			
1. Problemáticas en la investigación			
CÓDIGOS	SUBCÓDIGOS	FA	%
2.1 Problemáticas de condicionantes personales del participante	2.1.1 Falta de formación	35	21.74
	2.1.2 Poco dominio de TICs	2	1.24
	2.1.3 Poca experiencia	4	2.48
	2.1.4 Reducido tiempo	6	3.73
	TOTAL	47	29.19
2.2 Problemáticas de condicionantes institucionales	2.2.1 Gestión inadecuada	37	22.98
	2.2.2 Discriminación	5	3.11
	2.2.3 Soporte tecnológico deficiente	2	1.24
	2.2.4 Recarga de actividades	7	4.35
	2.2.5 Baja Cultura investigativa	55	34.16
	TOTAL	106	65.84
2.3 No detectan condicionantes	2.3.1 No detectan condicionantes	8	4.97
	TOTAL	8	4.97
TOTAL (FA) y (T %)		161	100.00

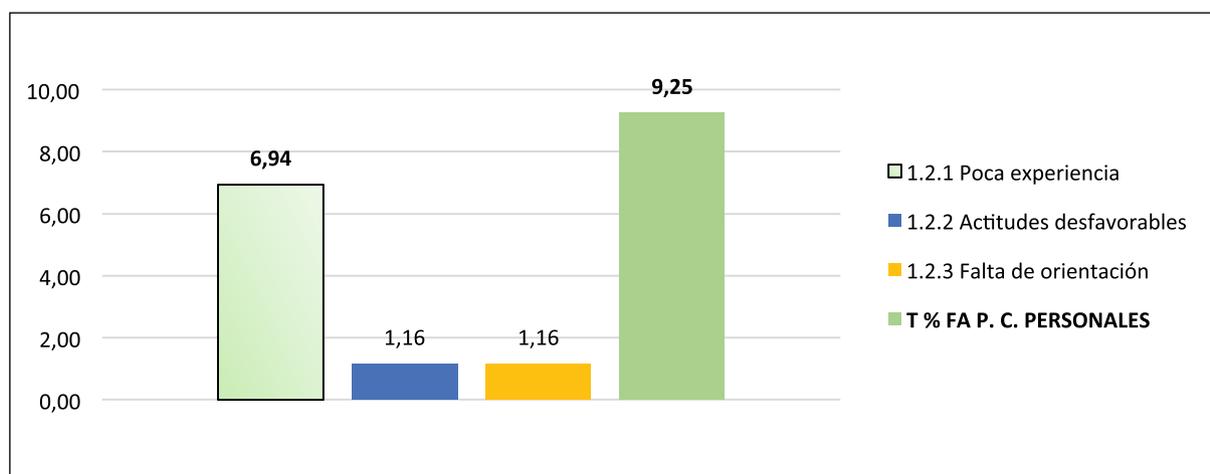


Figura 1. Porcentajes de las problemáticas que se deben a condicionantes estudiantiles.

cursum y dificultan su labor docente. Las siguientes narrativas confirman dichas aseveraciones:

En la docencia, el nivel básicamente. Es el nivel académico con el que vienen los alumnos. Yo manejo cursos de niveles inferiores. Entonces de los colegios no vienen con los conocimientos suficientes (Participante 024).

En la docencia se me han presentado dificultades cognitivas. Es decir, los estudiantes tienen un ritmo de aprendizaje bastante lento. Son bastantes reacios a las cosas nuevas. No tienen hábitos de estudio. En definitiva, he tenido problemas con el aprendizaje de los estudiantes (Participante 004).

Conforme la figura 2, se puede visualizar que en el subcódigo 1.2.1 un 6,94% del total de los participantes quienes aseveran que los problemas en la docencia de sus asignaturas, se deben a su poca experiencia en asignaturas nuevas que les fueron asignadas por sus autoridades, en razón, de que resultan complejas por su poco dominio. Los siguientes fragmentos, dan muestra de ello:

A veces la falta de un poquito de experiencia, la falta de cancha, porque muchas veces no podemos tener a la mano la experiencia para uno poder expresarse bien y para llegar a cierto punto (Participante 012).

Yo pienso que la principal es que me he

incorporado en la universidad como docente después de aproximadamente catorce años de laborar en otras actividades (Participante 041).

La figura 3, permite observar que en el subcódigo 1.3.1 se detalla que un 38,15% del total de los protagonistas afirman que los problemas en la docencia de sus asignaturas, se deben a la falta de apoyo de sus autoridades frente a diferentes requerimientos, como son: infraestructura para aulas y laboratorios, limitaciones en la programación de actividades de sus autoridades, haciendo sentir su malestar respecto a la gestión de sus autoridades considerada como deficiente para el desarrollo de la unidad académica donde laboran. Las siguientes narrativas, demuestran tales aseveraciones:

La falta de apoyo que hay de las autoridades para poder equipar los laboratorios con equipos adecuados de acuerdo a la carrera (Participante 019).

Yo pienso que aquí en la carrera no ha existido un proceso de seguimiento a una programación. Cada uno de los docentes que venían a trabajar en la carrera daba su materia, su cátedra, en dependencia de su experiencia y de lo que pensaban que era lo correcto. En cierta forma, no existía realmente, repito, una programación de las asignaturas (Participante 008).

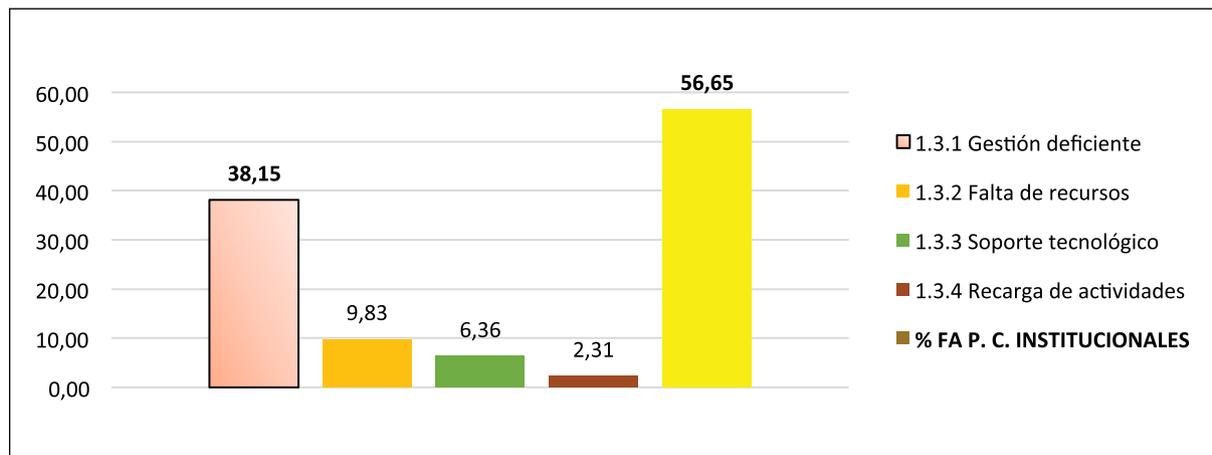


Figura 2. Porcentajes de las problemáticas que se deben a condicionantes personales.

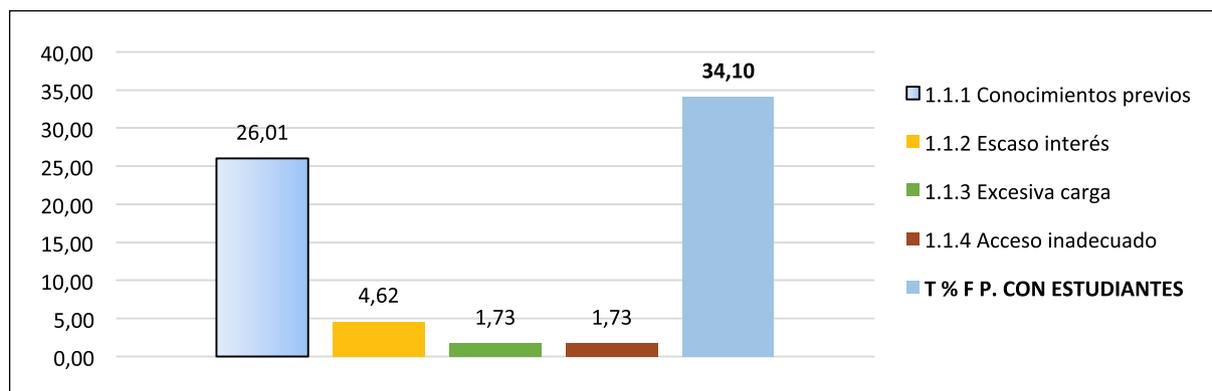


Figura 3. Porcentajes de las problemáticas que se deben a condicionantes institucionales.

Los principales problemas que se tiene referente a la infraestructura de las aulas, la falta de computadores, de proyectores, la falta de textos actualizados, principalmente eso en cuanto a infraestructura (Participante 042).

Tenemos un sistema de Universidad muy burocrática, digamos que se complica en procesos de adquisición de equipamiento, reactivos para laboratorios y también de pronto, el descuido de las autoridades (Participante 052).

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente estudio, permiten descubrir que un 56,65% de participantes afirma las condicionantes institucionales como la causa principal que repercute en la problemática de su función docente. En este sentido, las causas que más han reiterado los protagonistas y muestran sus dificultades, han sido: i) gestión deficiente de las autoridades; ii) falta de recursos para los procesos académicos; iii) deficiente soporte tecnológico para acceso a internet y falta de mantenimiento de equipos; iv) recarga de actividades emanadas por sus autoridades, de donde sobresale un 38,15% de noveles que aseveran en sus narrativas falta de apoyo de las autoridades para atender sus requerimientos de los laboratorios y de las aulas, evidenciadas en sus narrativas: por la falta de proyectores, falta de textos actualizados y situaciones burocráticas en la gestión administrativa que afectan su labor docente y que no permiten su participación para resolver las problemáticas. Consecuentemente, se puede desprender que no existe una mayoría en la diversidad de los docentes participantes, como para juzgar que la gestión de las autoridades sea deficiente. No obstante, es importante considerar que la falta de apoyo de las autoridades, se constituye en un factor clave el cual repercute en las problemáticas de las funciones docentes del profesorado novel.

Evidentemente los hallazgos de la presente investigación guardan relación con el estudio de Mas Torelló (2011), donde se afirma que el profesor universitario no tiene una adecuada preparación psicopedagógica que, sumada a la falta de apoyo, puede ser peligroso para los estudiantes y para el desarrollo profesional del profesorado. Ello es concordante con lo que en este estudio se devela. Ante estas aseveraciones, conviene enfatizar que los docentes noveles universitarios experimentan diferentes problemas en su función docente por la poca experiencia que tienen en sus funciones, de conformidad a la estructura y dinámica organizacional. En este sentido, se evidencia que la falta de apoyo por parte de las autoridades interfiere en el desarrollo de sus actividades docentes. Por consiguiente, resulta fundamental resaltar que el desarrollo profesional del profesorado novel universitario debe ser considerado por parte de las autoridades institucionales, como un eje transversal el cual contribuirá al mejoramiento del desempeño

docente e incrementará la calidad educativa que se oferta en la universidad.

Igualmente, los resultados conseguidos concuerdan con el estudio de Eirín, García y Montero (2009), donde se defiende que debería vislumbrarse un rol más activo de los profesores en el diseño y la implementación de iniciativas orientadas a su desarrollo profesional. Ello está relacionado con lo que en este estudio se devela. Es evidente entonces, que resulta esencial la participación del docente en la previsión de actividades enfocadas al desarrollo profesional del profesorado universitario. En este sentido, conviene destacar que en las comunidades universitarias es fundamental investigar mediante un diagnóstico situacional, qué tipo de necesidades y expectativas tienen los docentes universitarios en las distintas unidades académicas para poder comprender e interpretar sus necesidades acordes a las funciones que cumplen. Esta situación conlleva a la necesidad de implementar programas y proyectos que fortalezcan el desarrollo profesional del profesorado novel universitario.

Por otro lado, según los hallazgos derivados del presente estudio, se pudo evidenciar que un 34,10% del profesorado novel universitario entrevistado, asegura, como otra causa que trasciende en los problemas de su función docente en sus asignaturas se deben a condicionantes del estudiantado, dejando entrever que sus opiniones responden a: i) falta de conocimientos previos; ii) el escaso interés hacia los estudios; iii) excesiva carga de actividades académicas; iv) el acceso inadecuado de los estudiantes a las unidades académicas, de donde prevalece un 26,01% de entrevistados los cuales en sus relatos, aseguran que sus problemas en la tarea docente se deben a que sus estudiantes no dominan contenidos mínimos obligatorios de las asignaturas que cursan y sus condiciones demandan de la aplicación de otro tipo de metodologías.

En forma similar, estos resultados coinciden con los estudios (Antón y Pérez, 2015; Madero, Fondón y Sarmiento, 2010), ellos sostienen que es fundamental atender los problemas relacionados con el comportamiento y actitud de los estudiantes en clase y la necesidad de mejorar el modelo didáctico personal del docente novel. Estas evidencias son semejantes con lo que en este estudio se revela. Por consiguiente, se puede destacar, que resulta fundamental la necesidad de mejorar los procesos metodológicos del profesorado novel universitario para atender situaciones académicas a nivel de aula, diferenciando estilos y ritmos de aprendizaje, exaltando la atención que se debe dedicar al fortalecimiento del modelo didáctico personal del docente novel con el objetivo de garantizar su intervención en los procesos académicos. En esta perspectiva, se justifica la necesidad de un proceso de formación profesional continuo para el profesorado novel universitario a fin de incrementar su nivel de desempeño en su labor docente.

En cambio, conforme los hallazgos, un 9,25% de

los docentes noveles universitarios participantes asevera que sus problemáticas en la función docente se deben a condicionantes personales las cuales se evidencian por diferentes causales, que responden a: i) poca experiencia en la labor docente; ii) actitudes desfavorables en el ambiente laboral; iii) falta de orientación o malas vías de comunicación; de donde predomina, un 6,94% de participantes quienes afirman en sus relatos que su principal problema es la poca experiencia en su labor docente respecto a nuevas cátedras que les fueron asignadas para impartir sus clases.

Estos resultados logrados en la presente investigación, son afines al estudio de Bozu (2009) quien asegura, que el profesor novel se caracteriza por tener poca o ninguna experiencia en la labor docente. Significa entonces, que se debe exaltar, el profesorado novel en la comunidad universitaria, no reúne las suficientes competencias profesionales para desempeñar adecuadamente sus actividades pedagógicas. Sin embargo, si a esto se agrega que el docente principiante no se desenvuelve en un ambiente idóneo para su ejercicio profesional, su nivel de desempeño en la labor docente, no va ser la más adecuada.

Pretendiendo dar un significado a los resultados obtenidos en la presente investigación, desde el punto de vista de los protagonistas respecto a la cuestión investigada, se podría interpretar que los docentes noveles participantes, han destacado que existe falta de apoyo de sus autoridades para atender diferentes requerimientos necesarios en sus procesos académicos, lo que indica una tendencia de insatisfacción respecto a la gestión de las autoridades para la resolución de problemas en su función docente.

Conocidos los resultados del presente estudio, conviene prestar atención a los estudios (Ávalos, 2009; Gómez, 2010; Lledó et al., 2015; Mayor Ruiz y Sánchez Moreno, 2006) quienes acentúan que el desarrollo profesional del novel es fundamental para su identidad universitaria, ya que los sistemas educativos deben asumir el reto de la calidad. Estas afirmaciones, permiten destacar la importancia que tienen los profesores universitarios, los cuales deben ser competentes para la eficacia de la educación superior. Dentro de este marco, se puede acentuar que el profesorado nuevo universitario, tiene que estar preparado en las mejores condiciones para cumplir sus funciones docentes las cuales deben caracterizarse por responder a los grandes desafíos que enfrenta la educación superior en el nuevo milenio. Consecuentemente, el desarrollo profesional del profesorado novel universitario, debe estar empeñado constantemente hacia la excelencia académica. En este sentido, conviene reflexionar que el profesor novel es una persona nueva, que se encuentra en un proceso de transición y de puesta en acción de lo aprendido conforme su experiencia preliminar en la comunidad universitaria.

Con la finalidad de comprender el significado de

las opiniones del profesorado participante, se puede indicar que los participantes en sus relatos deslindan su responsabilidad en sus funciones docentes, enfatizando que sus dificultades responden a condicionantes institucionales y estudiantiles. Sin embargo, se puede apreciar que no consideran en sus narrativas, otros elementos que son fundamentales para su actividad docente, como es el dominio del tratamiento curricular que intervienen en los procesos de enseñanza - aprendizaje, es decir, el profesorado novel, no enfoca sus respuestas respecto al componente curricular que contempla: los objetivos, contenidos, secuenciación, tratamiento de contenidos, metodología, recursos y evaluación, que debe ser dominado por el profesorado para su intervención pedagógica en el acto educativo y ser concordante con un determinado modelo pedagógico que responda a un tipo de ser humano que demanda la sociedad. Significa entonces, que sus respuestas pueden estar basadas en ciertos criterios e indicadores los cuales han sido considerados por el Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la Calidad de Educación Superior que actualmente se están empleando en las evaluaciones de las distintas unidades académicas de las comunidades universitarias en el contexto ecuatoriano, y han permitido comprobar debilidades en situaciones de infraestructura y recursos que son necesarios para el proceso de aprendizaje.

Desde el punto de vista del autor, resulta imperante reflexionar sobre el hecho de que el profesorado novel universitario en el inicio de sus funciones interactúa con estudiantes con diversas expectativas, se relaciona con docentes más experimentados, enfrenta cambios de normativas establecidas para los escenarios educativos. Estas situaciones, representan grandes desafíos y retos que pueden motivar al profesorado principiante, a contribuir con el mejoramiento de la calidad educativa. No obstante, al sentir que no recibe apoyo de sus autoridades y de sus compañeros pueden repercutir desfavorablemente en su labor docente y su aspecto emocional. Consecuentemente, para profundizar en las problemáticas del profesorado novel universitario convendría indagar en futuras investigaciones si se imparten cursos de inducción a los docentes principiantes, si existen programas de actualización sobre procesos metodológicos, si existen talleres de apoyo emocional mediante tutorías, y si se brindan facilidades para la creación de obras didácticas, entre otros factores que pueden afectar la labor docente.

CONCLUSIONES

En definitiva, los resultados obtenidos en este estudio supondrían una importante contribución al campo del desarrollo profesional del profesorado universitario, porque se han develado tres factores esenciales que intervienen en las problemáticas de las funciones docentes del profesorado novel universitario: En primer lugar, la falta de apoyo de las autoridades para atender sus requerimientos

a nivel de aula y de laboratorios, que son necesarios para el fortalecimiento de sus procesos académicos. En segundo lugar, limitaciones en el dominio de conocimientos básicos de los estudiantes en asignaturas que cursan e interfieren desfavorablemente en los procesos didácticos. En tercer lugar, se evidencia que se constituye en un problema relevante, la poca experiencia que tienen en sus tareas docentes cuando tienen que impartir asignaturas nuevas conforme las necesidades institucionales y que les resultan complejas para el proceso de enseñanza.

RECOMENDACIONES

- En la comunidad universitaria investigada, se deben mejorar los procesos de formación profesional del profesorado novel universitario aplicando distintos modelos de formación profesional.
- Es imprescindible seguir emprendiendo investigaciones con enfoques cualitativos y cuantitativos para develar diversos factores que influyen en la función docente del profesorado novel y que pueden perjudicar su desarrollo profesional.
- Es fundamental, diferenciar distintas fases y procesos que contribuyan al desarrollo profesional del profesorado universitario a fin de perfeccionar las competencias profesionales de los docentes noveles y experimentados.
- Es indispensable, el mejoramiento de la gestión institucional mediante sistemas de gestión innovadores para consolidar la calidad educativa en las instituciones educativas de nivel superior.

REFERENCIAS

- Antoli, V. (2016). Desarrollo profesional del profesor universitario. *Campo Abierto. Revista de Educación*, 10 (1), 175-197. Recuperado de <http://mascvuex.unex.es/revistas/index.php/campoabierto/article/view/2622>
- Antón, D., y Pérez, M. (2015). La docencia universitaria novel como mejora metodológica. *Opción*, 31 (3), 104-124. Recuperado de <http://200.74.222.178/index.php/opcion/article/viewFile/20478/20389>
- Ávalos, B. (2009). La inserción profesional de los docentes. *Profesorado: Revista de currículum y formación del profesorado*, 13(1), 44-59. Recuperado de <http://www.ugr.es/~recfpro/rev131ART3.pdf>
- Bozu, Z. (2009). El profesorado universitario novel y su proceso de inducción profesional. *Magis. Revista Internacional de Investigación en Educación*, 1 (2), 317-328. Recuperado de <http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/MAGIS/article/view/3387/2576>
- Bozu, Z. (2010). El profesorado universitario novel: estudio teórico de su proceso de inducción o socialización profesional. *Revista Electrónica de Investigación y Docencia (REID)*, (3), 55-72. Recuperado de <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3186125>

- Caballero, K., y Bolívar, A. (2015). El profesorado universitario como docente: hacia una identidad profesional que integre docencia e investigación. *REDU: Revista de Docencia Universitaria*, 13(1), 57-77. Consultado el 3 de marzo de 2014. Recuperado de <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5027836>
- Cardona Andújar, José (2008). Problemática actual del profesorado: algunas soluciones. *Enseñanza: Revista interuniversitaria de didáctica*, (26), 29-56. Recuperado de http://campus.usal.es/~revistas_trabajo/index.php/0212-5374/article/viewFile/684/858
- Castañeda, L., y Adell, J. (2011). El desarrollo profesional de los docentes en entornos personales de aprendizaje (PLE). En Roig Vila, R. y Laneve, C. (Eds.) *La práctica educativa en la Sociedad de la Información: Innovación a través de la Investigación / La práctica educativa nella Società dell'innovazione: L'innovazione attraverso la ricerca*. Alcoy: Marfil. 83 – 95. Recuperado de <https://digitum.um.es/xmlui/bitstream/10201/24647/1/CastanedaAdell2011preprint.pdf>
- CEAACES (2013). Resolución No. 001-073-CEAACES-2013-29. El Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior. Consultado el 19 de febrero de 2018. Recuperado de <http://www.ceaaces.gob.ec/sitio/wp-content/uploads/2013/10/RESOLUCIO%CC%81N-No.-001-073-CEAACES-2013-29-UCE.pdf>
- CEAACES (2013). Informe General sobre la Evaluación, Acreditación y Categorización de las Universidades y Escuelas Politécnicas. Dirección de Acreditación de Universidades y Escuelas Politécnicas. Recuperado de <https://universidadsociedadec.files.wordpress.com/2014/04/ceaaces-informe-general-eval-accred-categn.pdf>
- Cortés González, P., Leite Méndez, A., y Rivas Flores, (2014). Un enfoque narrativo de la identidad profesional en profesorado novel. pp. 199-214. *Tendencias Pedagógicas*, (24), 199-214. Recuperado de <https://revistas.uam.es/tendenciaspedagogicas/article/download/2101/2199>
- Díaz, R. T., y del Toro, P. S. (2013). Estrategias de intervención para la formación de competencias profesionales en la educación superior. *Pedagogía Universitaria*, 15 (5), 39-53. Recuperado de <http://cvi.mes.edu.cu/peduniv/index.php/peduniv/article/view/554/553>
- Eirín Nemiña, R., García Ruso, H. M., y Montero Mesa, L. (2009). Desarrollo profesional y profesionalización docente. *Perspectivas y problemas. Profesorado Revista de currículum y formación del profesorado*. 13 (2), 1-13. Recuperado de <http://digibug.ugr.es/bitstream/10481/7378/1/rev132COL3.pdf>
- Fombona, J., Iglesias, M., y Lozano, I. (2016). El trabajo colaborativo en la educación superior: una competencia profesional para los futuros docentes. *Educação & Sociedade*, 37(135),

- 519-538. <https://dx.doi.org/10.1590/ES0101-73302016147914>
- Gómez, A. (2010). Nuevas exigencias y escenarios para la profesión docente en la era de la información y de la incertidumbre. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, (68) 24, 17-36. Recuperado de <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3276040>
 - González M., Vicent M., García, J., e Inglés C. (2014). La concepción del desarrollo profesional docente como factor influyente en la actividad educativa. XII Jornadas de Redes de investigación en Docencia Universitaria. El reconocimiento docente: innovar e investigar con criterios de calidad, Universidad de Alicante, España, 650-665. Recuperado de http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/41831/1/2014_XII_Jornadas_Reddes_51.pdf
 - Lledó Carreres, A., González Macià, C., Vicent Juan, M., Hernández Amorós, M. J., Delgado Domenech, B., Lorenzo Lledó, G., ... y Martínez Monteagudo, M. C. (2015). Profesorado novel y tutoría entre iguales en innovación tutorial. XIII Jornadas de Redes de investigación en Docencia Universitaria. Nuevas estrategias organizativas y metodológicas e la formación universitaria para responder a la necesidad de adaptación y cambio. Universidad de Alicante. España, 668-684. Recuperado de http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/49159/1/XIII_Jornadas_Reddes_51.pdf
 - Madero Ayora, M. J., Fondón García, I., y Sarmiento Vega, M. A. (2010). Principales problemas de los profesores principiantes en la enseñanza universitaria. *Formación Universitaria*. 3 (2), 21-28. Recuperado de https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/17057/file_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y
 - Mas Torelló, Ó. (2011). El profesor universitario: sus competencias y formación. *Profesorado: Revista de currículum y formación del profesorado*. 15 (3), 196-211. Recuperado de http://ddd.uab.cat/pub/artpub/2011/112747/profesorado_a2011v15n3col1.pdf
 - Mas Torelló, Ó. (2012). Las competencias del docente universitario: la percepción del alumno, de los expertos y del propio protagonista. *REDU. Revista de Docencia Universitaria*, 10 (2), 299-318. Recuperado de <http://red-u.net/redu/index.php/REDU/article/view/381>
 - Mayor Ruiz, C., y Sánchez Moreno, M. (2006). Los jóvenes profesores universitarios y su formación pedagógica: claves y controversias. *Revista de Educación*, (339), 923-946. Recuperado de <http://www.revistaeducacion.mec.es/re339/re339a40.pdf>
 - Nogueira, G. A., Cubillas-Quintana, F., y González-Fernández, Z. (2018, julio-octubre). Reflexiones teóricas sobre la preparación del docente para la orientación profesional en Angola. *Pedagogía y Sociedad*, 21(52), 162-186. Recuperado de <http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/pedagogia-y-sociedad/article/view/691>
 - Villacís David (2014, junio 24). La Universidad Central busca otro perfil de docentes frente a las renunciadas. *El Comercio*. Recuperado de <http://www.elcomercio.com/tendencias/universidad-central-busca-perfil-docentes-frente-renunciadas-profesores-escacez.html>



Es el reconocimiento de la dignidad, igualdad, equidad, tolerancia, comprensión, convivencia, buen trato, integridad y protección a todas las personas que conforman la Comunidad Universitaria.

RESPECTO



Es todo comportamiento que posiciona la práctica de la verdad, el reconocimiento de las fallas, la veracidad de la información académica e institucional, la confidencialidad de la información, el uso apropiado de fondos y la lucha contra la corrupción.

HONESTIDAD



Ecuacorriente S.A.

MINA
DE CLASE
MUNDIAL



M I N A

MIRADOR

TRANSFERENCIA DE
Conocimientos



EcuacorrienteSA



@CorrienteEcu



ecuacorriente.sa

NUEVA
La ERA
del COBRE
PROYECTO MIRRADOR