




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

### Revista Científica Indexada en Latindex

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 científica FIGEMPA Investigación y Desarrollo.

**DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN :** TDG. Cecilia Gordon Ayala - BORBOLETA **PORTADA** TDG. Cecilia Gordon Ayala - BORBOLETA  
**CORRECCIÓN DE ESTILO:** Dr. Juan Solano Mora / Dr. Marco González Escudero, MSc; EAPS / Ing. Gustavo Pinto Arteaga, Mgtr.  
/ Sr. Gabriel Armas Arroba **FOTOGRAFÍA:** Cecilia Gordon Ayala **IMPRESIÓN:**  0984605849

### En la Portada:

#### Tecnología



Los recursos naturales son los elementos de la naturaleza que el hombre puede utilizar y aprovechar, representan fuentes de riqueza para el desarrollo de nuestras sociedades. 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 aquel.

La tecnología y los avances científicos han hecho que nuestra sociedad evolucione, por lo que importante la creación y el fortalecimiento y de redes de investigación que permitan compartir conocimientos y optimizar los recursos existentes para este efecto.

Ello demanda romper paradigmas y generar nuevos conceptos y modelos de políticas: científica, tecnológica, industrial, ambiental basadas en la solidaridad y en la inserción internacional con un criterio de compromiso social que lleve al mejoramiento físico, mental, social, ético y moral del ser humano con responsabilidad hacia nuestra Madre Tierra y forjar un mundo donde no seamos esclavos de las máquinas, sino que éstas estén a nuestro servicio.



## AUTORIDADES UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR JULIO 2019 - 2024

**RECTOR:** Dr. Fernando Sempértegui Ontaneda, Ph.D

**VICERRECTOR ACADÉMICO Y DE POSGRADO:** Dra. María Augusta Espín, Ph.D.

**VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN, DOCTORADOS E INNOVACIÓN:** Dra. María Mercedes Gavilánez, PhD

**VICERRECTOR ADMINISTRATIVO Y FINANCIERO:** Econ. Marco Posso Zumárraga

**SECRETARIA GENERAL:** Dra. Paulina Armendáriz de Estrella

**PROCURADOR:** Dr. Ramiro Acosta Cerón

### CUERPO EDITORIAL

#### DIRECTOR EDITOR GENERAL

NOMBRE	INSTITUCIÓN	CARGO	CORREO
Ing. Gustavo Pinto Arteaga, Mgtr.	FIGEMPA	DIRECTOR - EDITOR GENERAL	<a href="mailto:grpinto@uce.edu.ec">grpinto@uce.edu.ec</a> <a href="mailto:grpa54@yahoo.es">grpa54@yahoo.es</a>

#### CONSEJO EDITORIAL

NOMBRE	INSTITUCIÓN	CARGO	CORREO
Ph.D. Félix Andueza Leal	FIGEMPA	ASESOR CIENTÍFICO	<a href="mailto:fdandueza@uce.edu.ec">fdandueza@uce.edu.ec</a> <a href="mailto:felixandueza@hotmail.com">felixandueza@hotmail.com</a>
Ph.D. Carolina Bernal Carrera	Escuela Politécnica Nacional	COORDINADOR MINAS	<a href="mailto:Isabel.bernal@epn.edu.ec">Isabel.bernal@epn.edu.ec</a>
Ing. Susana Cadena Vela, M.Sc.	Facultad de Ciencias Administrativas	ASESORA TECNOLÓGICA	<a href="mailto:scadena@uce.edu.ec">scadena@uce.edu.ec</a>
Ph.D. Miguel Cazorla	Universidad de Alicante – España	COORDINADOR TECNOLOGÍA	<a href="mailto:miguel.cazorla@ua.es">miguel.cazorla@ua.es</a>
Ph.D. Ernesto De La Torre	Escuela Politécnica Nacional	COORDINADOR PROCESOS	<a href="mailto:ernesto.delatorre@epn.edu.ec">ernesto.delatorre@epn.edu.ec</a>
Ph.D. Alicia Ramírez O.	Universidad de Almería - España	ECONOMISTA EN ENERGÍA	<a href="mailto:aRamírez@ual.es">aRamírez@ual.es</a>
Ph.D. José Rosero	Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemáticas	COORDINADOR CIENCIAS EXACTAS	<a href="mailto:jarosero@uce.edu.ec">jarosero@uce.edu.ec</a>
Ph.D. Ovadia Shoham	Tulsa University, USA	ASESOR EN HIDROCARBUROS	<a href="mailto:ovadia-shoham@utulsa.edu">ovadia-shoham@utulsa.edu</a>
Dr. Juan Solano Mora	Consultor Independiente	SECRETARIO DE REDACCIÓN	<a href="mailto:solmor37@hotmail.com">solmor37@hotmail.com</a>
Ing. Francisco Viteri Santamaría, M.Sc.	FIGEMPA	EDITOR ASOCIADO	<a href="mailto:frviteri@uce.edu.ec">frviteri@uce.edu.ec</a>
Ph.D. Johnny Zambrano	Escuela Politécnica Nacional	COORDINADOR HIDROCARBUROS	<a href="mailto:johnny.zambrano@epn.edu.ec">johnny.zambrano@epn.edu.ec</a>

## COMITÉ DE ETICA

NOMBRE	INSTITUCIÓN	CORREO
Ing. Gustavo Pinto Arteaga, Mgtr.	FIGEMPA	<a href="mailto:grpinto@uce.edu.ec">grpinto@uce.edu.ec</a> <a href="mailto:grpa54@yahoo.es">grpa54@yahoo.es</a>
Dr. Marco González Escudero, M.Sc.	Subcomité de Ética de Investigación en Seres humanos-SEISH	<a href="mailto:magonzaleze@uce.edu.ec">magonzaleze@uce.edu.ec</a> <a href="mailto:magonzalesro@hotmail.com">magonzalesro@hotmail.com</a>
Ph.D. José Rosero	Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemáticas	<a href="mailto:jarosero@uce.edu.ec">jarosero@uce.edu.ec</a>
Dr. Jorge Ortiz Herrera, M.Sc.	FIGEMPA	<a href="mailto:jdortiz@uce.edu.ec">jdortiz@uce.edu.ec</a>
Ing. Susana Cadena Vela, M.Sc.	Facultad de Ciencias Administrativas	<a href="mailto:scadena@uce.edu.ec">scadena@uce.edu.ec</a>
Ph.D. Xavier Lastra Bravo	Facultad de Ciencias Agrícolas	<a href="mailto:xblastra@uce.edu.ec">xblastra@uce.edu.ec</a>

## COMITÉ EDITOR

NOMBRE	INSTITUCIÓN	CORREO
Ing. Gustavo Pinto Arteaga, Mgtr.	FIGEMPA	<a href="mailto:grpinto@uce.edu.ec">grpinto@uce.edu.ec</a> <a href="mailto:grpa54@yahoo.es">grpa54@yahoo.es</a>
Dr. Marco González Escudero, M.Sc.	Subcomité de Ética de Investigación en Seres humanos-SEISH	<a href="mailto:magonzalesro@hotmail.com">magonzalesro@hotmail.com</a> <a href="mailto:magonzaleze@uce.edu.ec">magonzaleze@uce.edu.ec</a>
Dr. Juan Solano Mora	Consultor Independiente	<a href="mailto:solmor37@hotmail.com">solmor37@hotmail.com</a>
Gabriel Armas Arroba	FIGEMPA	<a href="mailto:ggarmas@uce.edu.ec">ggarmas@uce.edu.ec</a>

## COMITÉ CIENTÍFICO

NOMBRE	INSTITUCIÓN	CORREO
Ing. Ernesto de la Torre, Ph.D.	Escuela Politécnica Nacional	<a href="mailto:ernesto.delatorre@epn.edu.ec">ernesto.delatorre@epn.edu.ec</a>
Ph.D. Johnny Zambrano	Escuela Politécnica Nacional	<a href="mailto:johnny.zambrano@epn.edu.ec">johnny.zambrano@epn.edu.ec</a>
Ph.D. Carolina Bernal Carrera	Escuela Politécnica Nacional	<a href="mailto:isabel.bernal@epn.edu.ec">isabel.bernal@epn.edu.ec</a>
Ing. Boroshilv Castro Merizalde, M.Sc.	Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemáticas	<a href="mailto:gbcm_2006@yahoo.com">gbcm_2006@yahoo.com</a> <a href="mailto:gbcastro@uce.edu.ec">gbcastro@uce.edu.ec</a>
Dr. Fernando Novillo Logroño, Ph.D.	Facultad Ciencias Químicas	<a href="mailto:fnovillo@uce.edu.ec">fnovillo@uce.edu.ec</a>
Ing. Alberto Castillo, M.Sc.	Consultor	<a href="mailto:ajcastillo@uce.edu.ec">ajcastillo@uce.edu.ec</a>
Dr. Ovadia Shoham, Ph.D.	Tulsa University, USA	<a href="mailto:ovadia-shoham@utulsa.edu">ovadia-shoham@utulsa.edu</a>
Dr. Félix Andueza Leal, Ph.D.	FIGEMPA	<a href="mailto:fdandueza@uce.edu.ec">fdandueza@uce.edu.ec</a> <a href="mailto:felixandueza@hotmail.com">felixandueza@hotmail.com</a>
Dr. Jorge Ortiz Herrera, M.Sc.	FIGEMPA	<a href="mailto:jdortiz@uce.edu.ec">jdortiz@uce.edu.ec</a>



## COMITÉ ASESOR

NOMBRE	INSTITUCIÓN	CORREO
Ing. Susana Cadena Vela, M.Sc.	Dirección de Tecnología de Información y Comunicación,	<a href="mailto:scadena@uce.edu.ec">scadena@uce.edu.ec</a>
Ph.D. Carolina Bernal Carrera	Escuela Politécnica Nacional	<a href="mailto:Isabel.bernal@epn.edu.ec">Isabel.bernal@epn.edu.ec</a>
Ing. Manuel Cazorla, Ph.D.	Universidad De Alicante –España	<a href="mailto:miguel.cazorla@ua.es">miguel.cazorla@ua.es</a>
Ing. Daniel Philco C., M.Sc.	Consultor Independiente	<a href="mailto:danelo99@yahoo.ca">danelo99@yahoo.ca</a>
Ing. Fernando Reyes Cisneros, Mgtr.	Consultor Independiente	<a href="mailto:Rramirofer9@gmail.com">Rramirofer9@gmail.com</a>

## COMITÉ INTERNACIONAL

NOMBRE	INSTITUCIÓN	CORREO
Ing. Ovadia Shoham, Ph.D.	Tulsa University, USA	<a href="mailto:ovadia-shoham@utulsa.edu">ovadia-shoham@utulsa.edu</a>
Ing. Jhon Bolaños, Ph.D.	Consultor, Ecuador	<a href="mailto:jebolanosm@uce.edu.ec">jebolanosm@uce.edu.ec</a>
Ing. Jorge Romero, Ph.D.	Universidad de Atacama, Chile	

## EVALUADORES PARES INTERNOS FIGEMPA

NOMBRE	INSTITUCIÓN	CORREO
Ing. Marlon Ponce Zambrano, M.Sc	FIGEMPA	<a href="mailto:mrponce@uce.edu.ec">mrponce@uce.edu.ec</a>
Dr. Carlos Ordóñez Campain, M.Sc.	FIGEMPA	<a href="mailto:cordonez@uce.edu.ec">cordonez@uce.edu.ec</a>
Ing. Luis Villacís Buenaño, M.Sc.	FIGEMPA	<a href="mailto:lfvillacis@uce.edu.ec">lfvillacis@uce.edu.ec</a>
Ing. Galo Albán Soria, M.Sc.	FIGEMPA	<a href="mailto:gfalban@uce.edu.ec">gfalban@uce.edu.ec</a>
Ing. Gustavo Pinto Arteaga, Mgtr.	FIGEMPA	<a href="mailto:grpinto@uce.edu.ec">grpinto@uce.edu.ec</a>
Quím. Bolívar Enríquez Vallejo, Mgtr.	FIGEMPA	<a href="mailto:bgenriquez@uce.edu.ec">bgenriquez@uce.edu.ec</a>
Ing. Nelson Suquilanda Duque, Dipl. Sup.	FIGEMPA	<a href="mailto:nhsuquilanda@uce.edu.ec">nhsuquilanda@uce.edu.ec</a>
Ing. Marcelo Llerena Carrera, Mgtr.	FIGEMPA	<a href="mailto:marcelollerenc@gmail.com">marcelollerenc@gmail.com</a>
Ing. Fernando Lucero Calvache, M.Sc.	FIGEMPA	<a href="mailto:falucero@uce.edu.ec">falucero@uce.edu.ec</a>
Ing. David Carrera Villacrés, Ph.D.	FIGEMPA	<a href="mailto:dvcarrera@uce.edu.ec">dvcarrera@uce.edu.ec</a>
Ing. Susana Arciniegas Ortega, MC.	FIGEMPA	<a href="mailto:srarciniegas@uce.edu.ec">srarciniegas@uce.edu.ec</a>
Ing. Ramiro Guerrón Varela, M.Sc.	FIGEMPA	<a href="mailto:erguerron@uce.edu.ec">erguerron@uce.edu.ec</a>
Ing. Chistian Mejía Escobar	FIGEMPA	<a href="mailto:cimejia@uce.edu.ec">cimejia@uce.edu.ec</a>

## EVALUADORES PARES EXTERNOS

NOMBRE	INSTITUCIÓN	CORREO
Dr. Antonio García Amate	Universidad de Almería – España	<a href="mailto:aga237@inlumine.ual.es">aga237@inlumine.ual.es</a>
Ing. Jorge Erazo Basantes, Mgtr.	Consultor Independiente	<a href="mailto:jorgeerazob@yahoo.com">jorgeerazob@yahoo.com</a>
Dr. Fernando Novillo, Ph.D.	Facultad de Ciencias Químicas	<a href="mailto:fnovillo@uce.edu.ec">fnovillo@uce.edu.ec</a>
Ph.D. Johnny Zambrano	Escuela Politécnica Nacional	<a href="mailto:johnny.zambrano@epn.edu.ec">johnny.zambrano@epn.edu.ec</a>
Ph.D. Carolina Bernal Carrera	Escuela Politécnica Nacional	<a href="mailto:Isabel.bernal@epn.edu.ec">Isabel.bernal@epn.edu.ec</a>

Ing. Marco Rosero, M.Sc.	Facultad de Ingeniería Química	<a href="mailto:mvrosero@uce.edu.ec">mvrosero@uce.edu.ec</a>
Ing. Miguel Cazorla, Ph.D.	Universidad de Alicante –España	<a href="mailto:miguel.cazorla@ua.es">miguel.cazorla@ua.es</a>
Ing. Luis Mejía Vallejo, M.Sc.	Consultor Independiente	<a href="mailto:luismejiavallejo@gmail.com">luismejiavallejo@gmail.com</a>
Ing. Christian Vallejo, Ph.D.	Consultor Independiente	<a href="mailto:cristian.vallejo@geostrats.com">cristian.vallejo@geostrats.com</a>
Ing. Jaime Gutiérrez, M.Sc.	Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemáticas	<a href="mailto:jhgutierrez@uce.edu.ec">jhgutierrez@uce.edu.ec</a>
Ing. Daniel Philco Carrión., M.Sc.	Consultor	<a href="mailto:danelo99@yahoo.ca">danelo99@yahoo.ca</a>
Ing. Boroshilv Castro, M.Sc.	Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas Y Matemáticas	<a href="mailto:gbcm_2006@yahoo.com">gbcm_2006@yahoo.com</a>
Ing. Alberto Castillo, M.Sc.	Consultor	<a href="mailto:ajcastillo@uce.edu.ec">ajcastillo@uce.edu.ec</a>
Ing. Ernesto de la Torre, M.Sc.	Escuela Politécnica Nacional	<a href="mailto:Ernesto.delatorre@epn.edu.ec">Ernesto.delatorre@epn.edu.ec</a>
Ing. Pablo Dejavyan, Ph.D.	Universidad Nacional de Chimborazo, UNACH	<a href="mailto:pdjabayan@gmail.com">pdjabayan@gmail.com</a>
Ing. Gerardo Medina, Ph.D.	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH	<a href="mailto:medinag47@gmail.com">medinag47@gmail.com</a>
Ing. Pedro Almagro Blanco, Ph.D.	Grupo de Modelado se Sistemas Complejo	<a href="mailto:palmagro@uce.edu.ec">palmagro@uce.edu.ec</a> <a href="mailto:palmagroblanco@googlemail.com">palmagroblanco@googlemail.com</a>
Ing. René Ayala Lomas, M.Sc.	Fundación FERLAT	<a href="mailto:rayala@ferlat.org">rayala@ferlat.org</a>
Ing. Roberth Enríquez, M.Sc.	Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemáticas	<a href="mailto:renriquez@uce.edu.ec">renriquez@uce.edu.ec</a>
Dr. Moisés Logroño, M.Sc.	Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación	<a href="mailto:rlogrono@uce.edu.ec">rlogrono@uce.edu.ec</a> <a href="mailto:moiseslogrono@yahoo.com">moiseslogrono@yahoo.com</a>
Dr. Fabián Rodríguez, Ph.D.	Universidad de Las Fuerzas Armadas – ESPE	<a href="mailto:ffrodriguez3@espe.edu.ec">ffrodriguez3@espe.edu.ec</a>
Ing. Lucía Jiménez, M.Sc.	Universidad de Las Fuerzas Armadas – ESPE	<a href="mailto:lejimenez@espe.edu.ec">lejimenez@espe.edu.ec</a>
Ing. Sabino Menolasina, Ph.D.	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH	<a href="mailto:menolasina1960@gmail.com">menolasina1960@gmail.com</a>
Ing. Edwin León, M.Sc.	INIGEM	<a href="mailto:edwin.leon@geoinvestigacion.gob.ec">edwin.leon@geoinvestigacion.gob.ec</a>
Econ. Bernardo Brito	Consultor Independiente	<a href="mailto:bernardo.brito@geostrats.com">bernardo.brito@geostrats.com</a>
Ing. Jorge Viteri Moya, M.Sc.	Facultad de Ingeniería Química	<a href="mailto:jrviteri@uce.edu.ec">jrviteri@uce.edu.ec</a> <a href="mailto:viterim@hotmail.com">viterim@hotmail.com</a>
Ing. Ana Gabriela Haro, Ph.D.	Universidad de Las Fuerzas Armadas – ESPE	<a href="mailto:agharo@espe.edu.ec">agharo@espe.edu.ec</a>
Ing. Pablo Caiza Sánchez, Ph.D.	Universidad de Las Fuerzas Armadas – ESPE	<a href="mailto:pecaiza1@espe.edu.ec">pecaiza1@espe.edu.ec</a>
Ing. Carlos Ortega Tejada, M.Sc.	Facultad de Ciencias Agrícolas	<a href="mailto:caortega@uce.edu.ec">caortega@uce.edu.ec</a>
Bioquim. Maggy Díaz A., MSGA.	Facultad de Ingeniería Química	<a href="mailto:madiaz@uce.edu.ec">madiaz@uce.edu.ec</a>
Ing. Xavier Lastra Bravo, Ph.D.	Facultad de Ciencias Agrícolas	<a href="mailto:xblastra@uce.edu.ec">xblastra@uce.edu.ec</a>
Ec. Antonio Rea Toapanta, M.Sc.	Facultad de Ciencias Económicas	<a href="mailto:Arrea@uce.edu.ec">Arrea@uce.edu.ec</a>
Phd. Jenny Martínez, M.Sc.	Facultad de Cultura Física	<a href="mailto:jemartinez@uce.edu.ec">jemartinez@uce.edu.ec</a>



# ÍNDICE

<b>LA INVESTIGACIÓN DEBE SER EL MOTOR DEL CONOCIMIENTO</b>	<b>8</b>
<b>EDITORIAL</b>	<b>9</b>
<b>Peligro de incendios forestales asociado a factores climáticos en Ecuador / Forest fire hazard associated with climatic factors in Ecuador / Pazmiño Daniel</b>	<b>10</b>
<b>Efecto de la concentración de Quitosano en la disminución de los sólidos suspendidos en el agua de ingreso a la planta de tratamiento de Bellavista / Effect of the concentration of chitosan in the decrease of the solids suspended in the water entry of Bellavista treatment plant / Rosero José Augusto / Suárez Heredia Martha Azucena</b>	<b>19</b>
<b>Valoración económica ambiental, producción de biomasa y carbono de un bosque nativo Andino, frente a plantaciones forestales eucalyptus globulus y pinus patula, en la Provincia de Loja / Environmental economic assessment, biomass and carbon production of an andean native, forest in front of eucalyptus globulus and pinus patula forest plantations, in the province of Loja / James Jaramillo / Chamorro Sonia / Palacios Cabrera Teresa.</b>	<b>25</b>
<b>Fabricación de material biodegradable a base de polímeros termoplásticos combinados con fibras cortas de lino / Manufacture of biodegradable material based on thermoplastic polymers combined with short flax fibers / Calderón Freire Edisson / Ortega Espín Andrés / Torres Gallegos Luis</b>	<b>32</b>
<b>Incidencia del gasto tributario del Impuesto Ambiental a la contaminación vehicular en el PIB del Ecuador, durante el periodo 2015-2017 / Impact of the tax expenditure of environmental tax for vehicular pollution in the GDP of Ecuador, during the period 2015-2017 / Páez Egúez Juan Carlos / Recalde Rodríguez María Fernanda</b>	<b>39</b>
<b>Eficiencia de encapsulación de carotenoides extraídos de capsicum annum en nanopartículas de zeína / Encapsulation efficiency of carthenoid extracted from capsicum annum in zein nanoparticles / Suárez Heredia Martha Azucena / Rosero José Augusto / Morillo Reinoso Yery Mateo / Haro Morales Gabriela Johana / Ichau Espinoza Marlon Agustín</b>	<b>47</b>
<b>Modelo de simulación matemática para la evaluación de inyección de agua de baja salinidad en la arenisca U Inferior del campo Paka Norte, B15. / Reservoir Model for the Evaluation of Low Salinity Water Injection in the Lower U sandstone of the Paka Norte oilfield, B15 / Durán Yazuma Sandra Verónica / Diego Gabriel Palacios Serrano</b>	<b>53</b>
<b>Aplicación de la teoría de Buckley-Leverett en la recuperación mejorada por inyección de solvente en el campo VHR / Buckley Leverett theory application in improved recovery by solvent injection in the VHR field / Mena Villacis Luis Franklin / Guamán Juan Carlos / Chamorro Ramírez José Daniel / Pinto Arteaga Gustavo Raúl</b>	<b>61</b>
<b>SPE UCE Student Chapter</b>	<b>69</b>
<b>Capítulo estudiantil SME-UCE</b>	<b>70</b>
<b>SEG UCE - FIGEMPA Society of Economic Geologists</b>	<b>71</b>
<b>RED ECUATORIANA DE CARRERAS EN CIENCIAS AMBIENTALES</b>	<b>72</b>
<b>GUÍA PARA LA PRESENTACIÓN Y APROBACIÓN DE ARTÍCULOS</b>	<b>73</b>
<b>SISTEMA DE ARBITRAJE: EVALUACIÓN EXTERNA POR PARES Y ANÓNIMA</b>	<b>79</b>
<b>INSTITUTO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIONES HIDROCARBURÍFERAS</b>	<b>80</b>



Honorable Consejo Directivo 2019

Parados de 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, Quím. Bolívar Enriquez, Ing. Teresa Palacios, Ing. Gustavo Pinto, Dra. Ruth Recalde, Tgla. Aracely Borja, Ing. Marion Ponce, Ing. Eifas Ibadango, Sra. Juana Tulcanaza



## **LA INVESTIGACIÓN DEBE SER EL MOTOR DEL CONOCIMIENTO**

---

Es una verdad que recién se visibiliza en nuestro medio, sin embargo aún falta un convencimiento real de los actores universitarios.

Hasta ahora hemos aceptado que la docencia genera el conocimiento, me atrevo de manera pública a negar dicha afirmación, la docencia transmite el conocimiento ya descubierto, saberes que pueden ser de poco tiempo atrás o incluso de miles de años.

Para que una universidad sobreviva en el siglo XXI, debe superar su enfoque formativo hacia un enfoque que integre además a la investigación y que como resultado de ésta última acción se realice el desarrollo, verdadero significado de la vinculación.

En este nuevo escenario hay que descifrar los laberintos del investigador, caminos en los que toda afirmación debe ponerse en duda, donde la argumentación sólida se convierte en la didáctica del conocimiento y permite construir el edificio del conocimiento.

Es aquí que las publicaciones son el resultado de varios ejercicios, que parten de cuestionar a preguntas nuevas, como a respuestas antiguas; del trabajo en equipo del investigador y sus colegas asociados, de la colaboración de los estudiantes, todos ellos, parte del equipo de investigación; de la estructuración formal y rigurosa de la investigación que presenta en lenguaje académico el aporte a la Ciencia y al Conocimiento.

La Revista Figempa: Investigación y Desarrollo es un vehículo, una oportunidad de difusión del trabajo realizado por los equipos que se dedican a estudiar las Ciencias de la Tierra y en general la Ingeniería, necesario en el Ecuador que tiene pocos y limitados espacios para estas áreas del conocimiento; es por tanto una obligación de la Facultad el apoyarla para garantizar el desarrollo del país y el sector energético.

La calidad de las publicaciones va en mejora continua, por tanto el reto para los nuevos grupos de investigación cada vez es más tangible, y aquello prestigia a la Revista y a sus miembros; invito a todos a siempre tener en mente que la finalidad de su aporte es la difusión del conocimiento y la calidad del argumento y sus aportes, éstos últimos permitirán mejorar los rankings individuales y global.

Dr. Jorge Ortiz Herrera, MSc.

**SUBDECANO**





## **FIGEMPA COMPROMETIDA CON LA VIDA Y EL DESARROLLO**

---

El compromiso con la vida y el desarrollo del Ecuador se fortalece en la Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental – FIGEMPA - de la Universidad Central del Ecuador, que cumple, en este mes, 57 años de vida institucional y 35 años como Facultad, de servicio a la comunidad nacional e internacional.

Con la elección de Rector y Vicerrectores de la Universidad Central y la designación de las nuevas autoridades de la FIGEMPA, se inició un nuevo estilo de gestión que, partiendo del conocimiento y análisis de la situación real de la Facultad, en los aspectos académico, técnico, administrativo y de infraestructura, realizó la planificación que permita a la FIGEMPA retomar su papel de liderazgo en los aspectos académico, de investigación y servicios en sectores estratégicos vinculados al aprovechamiento sustentable y sostenible de nuestros recursos naturales.

El nuevo modelo de gobernanza y gestión se inició con la conformación de un equipo de trabajo que, sobre la base del diálogo, ha definido varias líneas de acción encaminadas a garantizar la calidad en educación, investigación y vinculación con la sociedad, en los que se incluye temas como docencia, implementación de nuevas mallas curriculares, repotenciación del espacio físico, modernización de laboratorios, reinstalación de la biblioteca; fortalecimiento de posgrado con dos maestrías en ejecución y seis en planificación que arrancarían el próximo año, el funcionamiento del Instituto Internacional de Investigaciones Hidrocarburíferas para el Desarrollo Sostenible en las áreas de Geociencias, Hidrocarburos y Energía, programas de capacitación y educación continua, entre otros. Este modelo promueve la gestión técnica y participativa de docentes, estudiantes, empleados y trabajadores, tomando como base la identidad y la calidad de centralinos y alumnos de la FIGEMPA, procesos que se caracterizan por una nueva concepción ética, incluyente, tolerante, de respeto a la diversidad y a los derechos de todos.

Importante papel en este modelo es el fortalecer y reactivar sus relaciones con el sector productivo, público y privado, generando además espacios de opinión que permitan orientar la toma de decisiones oportunas y adecuadas a los intereses del país, poniendo a disposición de las instituciones del Estado, empresas y sociedad civil todo el acervo de conocimiento que se desarrolla bajo la rigurosidad académica para así contribuir a la sostenibilidad de los sectores estratégicos.

Regocijémonos por estos 57 años de trabajo fecundo, fruto del trabajo de docentes, estudiantes, empleados y trabajadores.

Con el esfuerzo y compromiso de todos, construyamos la Facultad, la Universidad y el Ecuador que queremos.

Ing. Gustavo Pinto Arteaga, Mgtr.

**DECANO**

# Peligro de incendios forestales asociado a factores climáticos en Ecuador

## Forest fire hazard associated with climatic factors in Ecuador

DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.1800>



**Pazmiño Daniel**

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

### RESUMEN

Los incendios forestales producen severos impactos en Ecuador. El Ministerio del Ambiente de Ecuador señala que los incendios forestales destruyeron 21,570 hectáreas en este país en 2012. Esta temporada de incendios forestales le costó al Distrito Metropolitano de Quito, la capital de Ecuador, aproximadamente 50 millones de dólares. A pesar de las pérdidas que producen los incendios forestales, se desconoce como el clima influye en la ocurrencia de los mismos en Ecuador. Este estudio es la primera investigación acerca del clima que produce incendios forestales en la región tropical andina. Esta investigación cuantifica el peligro de incendios forestales en función de variables climáticas. Para este fin, se empleó el Índice de Peligro de Incendios Forestales (FFDI) de McArthur. Se empleó este índice debido a que no existe un índice local; por otra parte, el mismo está diseñado para bosques de Eucalyptus, los cuales son muy vulnerables ante la ocurrencia de incendios forestales en los Andes de Ecuador. Este estudio determinó que el Índice de Peligro de Incendios Forestales de McArthur es una métrica útil para evaluar el riesgo de incendios forestales en la región andina de Ecuador. Usando este índice, esta investigación establece por primera vez mediante un análisis cuantitativo que la temporada de incendios forestales en esta región abarca el período julio-noviembre. Este período reporta los valores más altos del índice FFDI acumulado (entre 750 y 1000 puntos aproximadamente) en la región Andina de Ecuador para el período 1997-2012.

**PALABRAS CLAVE:** *cambio climático; variabilidad climática; meteorología; riesgos; bosques; fuego.*

### ABSTRACT

*Wildfires yield severe impacts in Ecuador. The Ministry of Environment of Ecuador declared that wildfires destroyed 21,570 hectares in this country in 2012. The same fire season cost to the Metropolitan District of Quito, the capital of Ecuador, approximately 50 million dollars. In spite of the losses that wildfires produce, it is still unknown how climate influences fire occurrences in Ecuador. This is the first investigation about fire weather in the tropical Andes. This research quantifies wildfire danger as a function of meteorological variables. The investigation used the McArthur's Forest Fire Danger Index. Since there is no local fire weather index, the McArthur's metric was considered a suitable choice because it was designed for Eucalyptus forests, which are dominant in wildfire-prone regions in Ecuador. This research concluded that the McArthur's Forest Fire Danger Index is indeed a useful metric to evaluate wildfire risk in the Ecuadorian Andes. Using this index, the results show with a quantitative approach that the fire season in this region spans from July to November.*

**KEYWORDS:** *climate change; climate variability; meteorology; risks; forests; fire*



## INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales producen severos impactos en el Ecuador. Sin embargo, la información acerca de estos impactos es escasa y se encuentra dispersa. Los incendios forestales quemaron un área de 21,570 hectáreas en Ecuador en 2012 de acuerdo a datos del Ministerio del Ambiente de Ecuador (MAE, 2013). El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), la capital del país, es particularmente vulnerable a esta amenaza. La vulnerabilidad es alta porque 15.4% de la población del país habita en esta ciudad. Además, la Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito (SADMQ) señala que la vegetación cubre un 60.5% de su territorio (SADMQ, 2013). Los incendios forestales destruyeron 2,700 hectáreas de vegetación del DMQ en el año 2009 (Estacio and Narváez, 2012). En 2012, el área afectada por incendios forestales se incrementó a 4,882.2 hectáreas (SADMQ, 2013). Esta temporada de incendios forestales le costó al DMQ aproximadamente 50 millones de dólares (SADMQ, 2013). En 2015, los incendios forestales en Quito cobraron la vida de tres bomberos (El Comercio, 2015).

Desafortunadamente, los incendios forestales en Ecuador son muchas veces de naturaleza antropogénica (MAE, 2013). De hecho, el DMQ reportó que los humanos son responsables por el 95% de los incendios forestales en la ciudad (SADMQ, 2013). La quema de bosques para cambiar el uso de suelo a agrícola es la principal causa de incendios forestales en el país (MAE, 2013; SADMQ, 2013; Rodas, 2015). Forzar un cambio de uso de suelo para asentamientos humanos es otra causa común para la ocurrencia de incendios forestales (SADMQ, 2013). Las comunidades rurales queman desperdicios agrícolas; esta es una práctica ancestral que también fomenta los incendios forestales (Estacio and Narváez, 2012). Las personas que habitan en áreas rurales incineran residuos domésticos por la falta de servicios básicos, lo cual también es otro factor de riesgo. Finalmente, los incendios forestales ocurren por actos destructivos deliberados (MAE, 2013; SADMQ, 2013).

Los incendios forestales ocurren en todas las regiones de Ecuador. Sin embargo, la Sierra soporta la mayor cantidad de eventos. Esta región tienen grandes extensiones de bosques de Eucalyptus introducidos (Anchaluisa, 2013). Por lo tanto, la cantidad de combustible disponible para el desarrollo de incendios forestales hacen a esta la región más susceptible a este tipo de amenaza. Aunque no existen datos cuantitativos robustos, los reportes locales estiman que la

temporada de incendios forestales en los Andes de Ecuador abarca el período julio-noviembre (SADMQ, 2013). Sin embargo, los meses más críticos son julio, agosto y septiembre (Estacio and Narváez, 2012; SADMQ, 2013). En la Costa y las islas Galápagos, los incendios forestales ocurren en los meses de enero a mayo (SADMQ, 2013).

A pesar de las pérdidas que producen los incendios forestales, se desconoce como el clima influye en la ocurrencia de los mismos en Ecuador. Este estudio es la primera investigación acerca del clima que produce incendios forestales en la región tropical andina. Esta investigación busca cuantificar el peligro de incendios forestales en los Andes de Ecuador en función de variables climáticas. Para este fin, se empleó el Índice de Peligro de Incendios Forestales (FFDI por sus siglas en Inglés). Se empleó este índice debido a que no existe un índice local; por otra parte, el FFDI está diseñado para bosques de Eucalyptus, los mismos que son muy vulnerables ante la ocurrencia de incendios forestales en los Andes de Ecuador.

Después de la Introducción, este artículo se encuentra estructurado de la siguiente manera: se describe al clima de incendios forestales en función de las variables meteorológicas más relevantes, se explica en que consisten los índices de peligro de incendios forestales, y describe en detalle el índice FFDI usado en esta investigación. Se presenta una caracterización del área de estudio que incluye una descripción de la geografía y clima del Ecuador con énfasis en la región andina. Se describe los datos y la metodología empleadas en esta investigación. Después se presentan los resultados y una discusión de los mismos. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones del estudio.

### Clima de incendios forestales

Esta investigación se enfoca en el clima que produce incendios forestales. Por lo tanto, esta sección introduce algunas ideas importantes para entender este tema. En primer lugar, se explica que variables meteorológicas contribuyen para que existan condiciones propicias para la ocurrencia de incendios forestales. Adicionalmente, se detalla como estas variables ejercen su influencia. Esta sección también describe como los modelos matemáticos representan el efecto del clima sobre los bosques para la ocurrencia de incendios. Se incluye también una descripción detallada del Índice de Peligro de Incendios Forestales de McArthur (FFDI por sus siglas en

Inglés). En este estudio se utilizó el FFDI debido a que fue diseñado para ecosistemas en los que predomine las especies *Eucalyptus*. Este es el caso de Ecuador.

### Variables meteorológicas

El clima que produce incendios forestales se lo estudia analizando variables como la temperatura del aire, la humedad relativa, la velocidad del viento y la precipitación. El comportamiento de estas variables meteorológicas influye en cada aspecto de los incendios forestales incluyendo su ignición, velocidad de propagación e intensidad. Un incendio forestal se produce si existen elevadas temperaturas, baja humedad relativa y si los niveles de precipitación han secado a la vegetación hasta un punto inflamable. Para que ocurra un incendio forestal, también se necesita una fuente de ignición, natural o antropogénica.

La velocidad del viento contribuye en la intensidad de un incendio forestal al reducir la cantidad de humedad en la vegetación y al proveer oxígeno para la combustión (HaynesBradstock, Gill and Williams, 2012). La propagación de un incendio también es controlada por el viento, que además puede incluso cambiar el flanco de avance del mismo de acuerdo con lo señalado por el Servicio Meteorológico Australiano (BoM por sus siglas en inglés) (BoM, 2008).

La inflamabilidad y distribución de la vegetación influyen en la intensidad de un incendio forestal. Estas características están controladas por la precipitación en escalas de tiempo estacionales (HaynesBradstock, Gill and Williams, 2012). Los suelos y la elevación también determinan la ocurrencia de incendios forestales. Suelos secos y pendientes positivas incrementan la intensidad y la velocidad de propagación de un incendio (Keetch and Byram, 1968; HaynesBradstock, Gill and Williams, 2012).

### Índices de peligro

El efecto de las variables meteorológicas que inciden en el clima que produce incendios forestales se ha combinado en varios modelos matemáticos diseñados como índices de peligro. Estos modelos representan la ignición, la velocidad de propagación o la intensidad de los incendios forestales. Los esfuerzos de modelación se enfocan en una variable o en una combinación de las mismas. Por ejemplo, el Índice de Peligro de Incendios Forestales (FFDI por sus siglas en Inglés) (McArthur, 1966) cuantifica el peligro de un incendio basado en el efecto que produce el clima en la vegetación. Por lo tanto, este índice incorpora la facilidad

de ignición, la velocidad de propagación y la facilidad de supresión. Por otra parte, el Índice Haines se basa en el efecto de la inestabilidad atmosférica para propagar las llamas ("spotting" en inglés) (Haines and Service, 1988). Este índice se enfoca en la velocidad de propagación y la intensidad. El Sistema Canadiense del Clima de Incendios Forestales (Van Wagner, 1974) modela los tres aspectos (ignición, la velocidad de propagación y la intensidad). En muchos casos, el modelamiento del clima que produce incendios forestales requiere de un proceso de calibración. Las calibraciones toman en cuenta condiciones locales como el tipo de vegetación y el tiempo atmosférico. Esta investigación utilizó el índice FFDI para investigar la variabilidad del clima que produce incendios forestales en Ecuador debido a que está calibrado para vegetación con especies *Eucalyptus*.

### Índice de peligro de incendios forestales (FFDI)

Las autoridades australianas utilizan el índice FFDI para la gestión del riesgo de incendios forestales (Luke and McArthur, 1978). Este índice fue originalmente formulado por Alan Grant McArthur (McArthur, 1966, 1967). Inicialmente, los operadores usaban medidores mecánicos para calcular el índice (Luke and McArthur, 1978). Estos medidores estaban hechos de un conjunto de ruedas de cartón, los mismos que facilitaban la introducción de los datos meteorológicos para calcular el índice. El índice FFDI fue luego formulado como una ecuación (Noble, Gill and Bary, 1980). La ecuación que representa el índice es la siguiente:

#### Ec. (1)

$$FFDI = 2e^{(-0.45 + 0.987 \ln(DF) - 0.0345RH + 0.0338T + 0.0234v)}$$

En donde:

T: Temperatura media (°C)

v: Velocidad del viento (Km/h)

RH: Humedad relativa (%)

DF: Factor de sequía

El cómputo del índice requiere usar valores a una hora específica del día cuando el máximo valor de FFDI se puede alcanzar. En Australia el valor que se toma usualmente es el de las 3 pm. (Lucas, 2010).

**Factor de sequía:** Este factor representa el efecto de la precipitación acumulada en el contenido de agua de la vegetación que pasa a ser combustible en un incendio forestal. Griffiths (1999) desarrolló la ecuación del factor de sequía (DF por sus siglas en Inglés) y los procedimientos de cálculo. Esta contribución constituye una mejora

a la fórmula propuesta por Noble et al. (1980). El factor DF oscila entre 1 y 10. Estos valores dependen del número de días desde que el último día de lluvia “significativa”. La identificación de este día requiere del análisis de los últimos 20 días consecutivos. La suma de la precipitación de todo el rango (20 días) es asignada al día con mayor precipitación (día de precipitación significativa). Este valor representa el efecto de largo plazo de la precipitación sobre la vegetación.

El factor DF también requiere el cálculo de un índice de sequía del suelo. En este contexto, la sequía del suelo representa la cantidad de lluvia necesaria para saturar, en un evento de precipitación, los 200 mm superficiales del suelo. Este índice representa el efecto de corto plazo de la precipitación sobre el suelo, y de este a su vez, sobre la vegetación. Los índices de sequía del suelo más comunes para calcular el factor DF son los propuestos por Keetch and Byram (1968) y Mount (1972). Para esta investigación se usó el índice de Keetch and Byram (1968) que usualmente se usa para el cálculo del FFDI.

**Índice de sequía de Keetch and Byram:** Keetch and Byram (1968) desarrollaron este índice para el Departamento de Agricultura y Bosques de los Estados Unidos. El índice usa ocho pulgadas de la capa superficial del suelo para la evaluación. Su escala oscila entre 0 y 800. Un valor de cero representa la saturación del suelo. Los valores de precipitación diaria y temperatura máxima son fundamentales para el cálculo de este índice. Adicionalmente, el cálculo de este índice sólo es posible en lugares donde se cuente con datos de precipitación media.

**Escalas de peligro del índice FFDI:** El FFDI cuenta con seis escalas de peligro basadas en valores diarios del índice. Inicialmente, el FFDI fue calibrado para producir un valor máximo de 100, en función de un incendio forestal extremo ocurrido en Australia en 1939. En los últimos años las condiciones climáticas han propiciado incendios forestales que han rebasado este valor límite (Lucas, 2010). Las escalas de peligro usadas para este índice son: “bajo-moderado” (valores entre 0-11), “alto” (valores entre 12-14), “muy alto” (valores entre 25-49), “severo” (valores entre 50-74), “extremo” (valores entre 75-99) y “código rojo” (valores mayores 100).

## Caracterización del área de estudio

### Geografía

Ecuador se encuentra localizado en la parte nor-occidental de Sudamérica (ver Figura 1). El país tiene una geografía diversa. Comprende un

territorio continental ubicado entre las latitudes  $01^{\circ} 28'$  Norte y  $5^{\circ} 02'$  Sur y las longitudes  $75^{\circ} 11'$  Este y  $81^{\circ} 04'$  Este, de acuerdo al Instituto Geográfico Militar de Ecuador (IGM). El territorio nacional tiene un área total de  $256,370 \text{ Km}^2$ . En el año 2010, el país tenía una población de 14.5 millones de personas (Instituto Geográfico Militar (IGM), 2013). La cadena montañosa de los Andes es el rasgo geográfico más importante de Ecuador (Insel, Poulsen and Ehlers, 2010). Estas montañas dividen al Ecuador continental en tres regiones: Costa, Sierra y Amazonía. Cada una de estas regiones tiene diferentes características geográficas, clima y ecosistemas.



Figura 1: Ubicación de Ecuador

La mayoría de los incendios forestales en Ecuador ocurren en la Sierra. Los Andes en Ecuador están conformados por dos flancos: las cordilleras Oriental y Occidental. Entre estos dos flancos (que incluyen volcanes activos) existen varios valles interandinos. Varias de estas planicies se encuentran sobre los 3,000 metros sobre el nivel del mar. Estas elevaciones de gran pendiente ejercen un efecto importante sobre el clima local. El gradiente atmosférico en esta región crea las condiciones para que existan diversas zonas bio-climáticas (Pourrut et al., 1995). Sin embargo, la vegetación original de los valles andinos ha desaparecido casi por completo (Anchaluisa, 2013). La mayor parte de la vegetación endémica fue reemplazada por la especie *Eucalyptus globulus* alrededor del año 1860 (MAE, 2012). Otras especies que fueron masivamente introducidas fueron el *Pinus radiata* (de California) y el *Pinus patula* (de México). La introducción de estas especies se dio para fomentar la industria forestal (Anchaluisa, 2013).

Estas especies son susceptibles a los incendios forestales durante la época seca en los Andes de Ecuador.

### Clima

Debido a que la mayoría de los incendios forestales en Ecuador ocurren en la Sierra, la caracterización climática se enfoca a esta región. Los bosques amazónicos, las corrientes oceánicas, y la topografía son los principales factores que influyen en las características del clima de los Andes tropicales (Martínez et al., 2011). Los bosques amazónicos producen una gran cantidad de vapor de agua. La topografía obliga a que esta agua se precipite en la Cordillera Oriental. La precipitación orográfica también se produce en la Cordillera Occidental. La advección de masas de aire desde el Océano Pacífico trae humedad a este flanco de los Andes. La influencia del Océano Pacífico en la variabilidad del clima de los Andes tropicales es importante. La variabilidad interanual del clima de esta región depende de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) (Vuille Raymond S.; Keimig, Frank, 1999; Villacis et al., 2003; Martínez et al., 2011). Estas influencias crean varias regiones climáticas dentro de los Andes.

La mayor parte de los Andes ecuatorianos (entre 1500 m y 3000 m) tienen un clima "semi-húmedo mesotérmico" (Pourrut et al., 1995). La temperatura media en esta región oscila entre 8 °C y 20 °C. Las temperaturas máximas se encuentran en un rango entre 22 °C y 30 °C. Las temperaturas mínimas varían entre -4 °C y 5 °C. Las masas de aire que provienen del Océano Pacífico y de la Amazonía crean tres estaciones climáticas en la Sierra (Pourrut et al., 1995). Dos estaciones húmedas durante los períodos febrero-mayo y octubre-noviembre. Además, una temporada seca durante el período junio-septiembre. La precipitación acumulada anual varía en 800 mm y 1500 mm. La humedad relativa oscila entre 65% y 85%.

Es importante también mencionar la influencia del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) en Ecuador. ENOS es un proceso de gran escala que influye en el clima a nivel global (Bjerknes, 1966, 1969). Durante los eventos ENOS, el Océano Pacífico tropical interactúa con la atmósfera en un sistema acoplado (Bjerknes, 1969). La manifestación más común de este proceso es el calentamiento de la temperatura superficial del mar. Condiciones cálidas al este del Océano Pacífico tropical representan a la fase "El Niño" de este fenómeno. Este estado usualmente ocasiona precipitaciones superiores al promedio en las costas de Ecuador y Perú (Aceituno, 1988), mientras que produce condiciones de calor y sequía en

Indonesia y Australia (Williams and Karoly, 1999; Wooster, Perry and Zoumas, 2012). Por otra parte, anomalías de frío en esta misma región del Océano Pacífico producen una fase "La Niña", que produce en el clima el efecto contrario a la fase cálida. El fenómeno ENOS involucra una oscilación debido a que las fases cálida y fría ocurren de forma intercalada con una periodicidad de dos a 7 años de acuerdo a lo señalado por la Administración Nacional Atmosférica y Oceánica de los Estados Unidos (NOAA por sus siglas en inglés) (NOAA, 2015).

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### Datos

El estudio requirió el uso de observaciones meteorológicas ubicadas en los Andes de Ecuador. La Figura 2 ilustra la distribución espacial de las estaciones seleccionadas. Adicionalmente, la Tabla 1 presenta información acerca de cada una de estas estaciones. Únicamente seis estaciones disponían de datos completos a nivel diario (requisito para el cálculo del índice FFDI) para el período 1997-2012. Cada una de las estaciones posee datos cada ocho horas. Por lo tanto, los datos seleccionados para los cálculos fueron los de la 1 pm hora local (GMT 18:00). Los análisis requirieron el uso de cuatro variables meteorológicas: temperatura media, humedad relativa, velocidad del viento y precipitación.

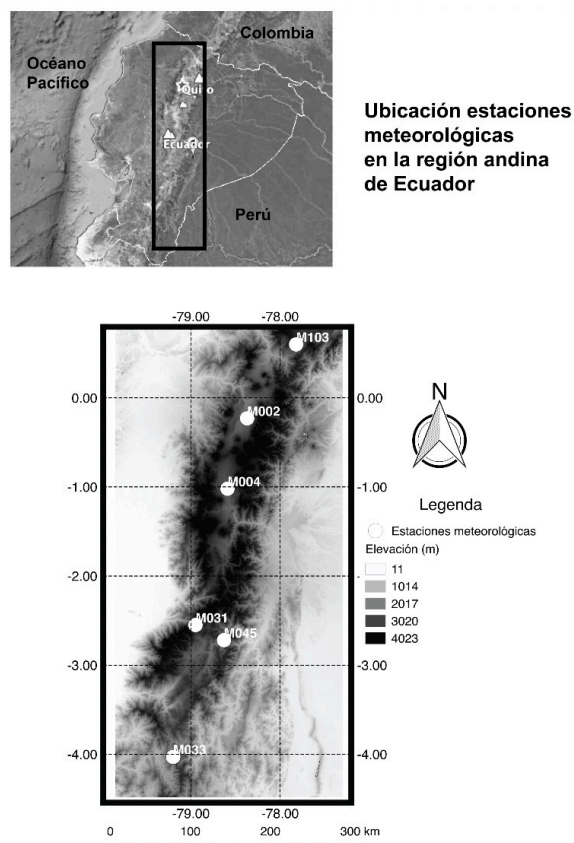


Figura 2: Ubicación estaciones meteorológicas en la región andina de Ecuador

**Tabla 1: Estaciones meteorológicas seleccionadas para investigar el clima de incendios forestales en la región andina de Ecuador. Fuente: Instituto Ecuatoriano de Meteorología e Hidrología (INAMHI)**

Estación	Código	Latitud	Longitud	Elevación
La Tola	M002	0.23° S	78.37° E	2480
Rumipamba-Salcedo	M004	1.02° S	78.59° E	2685
Cañar	M031	2.55° S	78.95° E	3083
La Argelia-Loja	M033	4.03° S	79.20° E	2160
Palmas-Azuay	M045	2.72° S	78.63° E	2400
San Gabriel	M103	0.60° N	77.82° E	2860

## Métodos

El estudio examinó la capacidad del índice FFDI de representar el clima de incendios forestales en los Andes de Ecuador. Este índice fue seleccionado debido a que no existe un índice local; y por otra parte, debido a que el mismo fue calibrado usando la vegetación *Eucalyptus*. Este tipo de vegetación domina las áreas en las que los incendios forestales son recurrentes en los Andes de Ecuador. Las validaciones del índice para Ecuador abarcan el período para el cual se disponía de información meteorológica (1997-2012). Adicionalmente, los análisis usaron la métrica acumulada del FFDI (FFDIcum). Ensayos preliminares demostraron que usar (en este caso sumar) todos los valores diarios del índice FFDI de la temporada de incendios forestales en los análisis permite visualizar de mejor forma los cambios en el clima de incendios forestales en la región. Desafortunadamente, la falta de datos robustos con respecto a la ocurrencia de incendios forestales en Ecuador no permiten una validación directa del uso del FFDI. Por lo tanto, para verificar la precisión de este índice para representar el clima de incendios en los Andes de Ecuador se ensayaron varios análisis.

En primer lugar, el estudio verificó si existe consistencia física entre las relaciones de las variables utilizadas para el cálculo del FFDI y los resultados del cálculo del índice usando correlaciones lineales (tipo Pearson). Los datos diarios de las variables meteorológicas utilizadas para el cálculo del índice fueron promediados para todas las estaciones (promedio espacial) para realizar los cálculos del FFDI y las correlaciones. El resto de análisis de este estudio utilizaron los datos meteorológicos diarios promediados.

Esta investigación evaluó si el índice FFDI representa adecuadamente la variabilidad temporal del clima que produce incendios forestales en los Andes de Ecuador. Este análisis requirió el cómputo de series de tiempo del índice FFDI. Este análisis tuvo como objetivo verificar si los resultados del cálculo del índice

coinciden con los reportes locales que sugieren una mayor actividad de incendios forestales durante la temporada julio-agosto-septiembre (JAS). Además, en la sección de caracterización del área de estudio se señaló que el año 2012 se experimentó una temporada particularmente severa con respecto a la ocurrencia de incendios forestales. Por lo tanto, se investigó si la temporada de incendios forestales 2012 exhibe un valor del índice FFDI "alto".

Adicionalmente, se investigó la variabilidad a nivel mensual del clima que produce incendios forestales. Esta evaluación buscó complementar el análisis de series de tiempo del índice FFDI. Si el FFDI es una métrica adecuada, debería mostrar valores altos durante los meses julio, agosto y septiembre.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Resultados

La Figura 3 muestra los coeficientes de correlación entre los valores del índice FFDI y sus variables. El análisis usó datos de observaciones meteorológicas para la temporada julio-agosto-septiembre (JAS) para el período 1997-2012. El gráfico presenta coeficientes de correlación en círculos sombreados para los resultados con significancia estadística mayor al 5% (usando una prueba "Student-t"). Los resultados demuestran consistencia física en las relaciones entre las variables meteorológicas del índice y el clima de incendios forestales representado por el índice FFDI. Por ejemplo, se constata una relación directamente proporcional de la temperatura y los valores del índice. Es decir, a mayor temperatura mayor riesgo de incendios forestales. Por otra parte, se verifica una relación inversamente proporcional entre la humedad relativa y el resultado del FFDI. Por lo tanto, mientras menos humedad relativa exista en el ambiente, el peligro de incendios forestales aumenta. Adicionalmente, los resultados demuestran que la temperatura y la humedad

relativa son los parámetros más sensibles en esta región. Es decir, son las variables que más inciden en la ocurrencia de incendios forestales. Estas variables tienen coeficientes de correlación con los resultados del índice FFDI de 0.87 y -0.83 respectivamente. Por otra parte, la precipitación ( $r=-0.79$ ) y la velocidad del viento ( $r=0.69$ ) son menos sensibles.

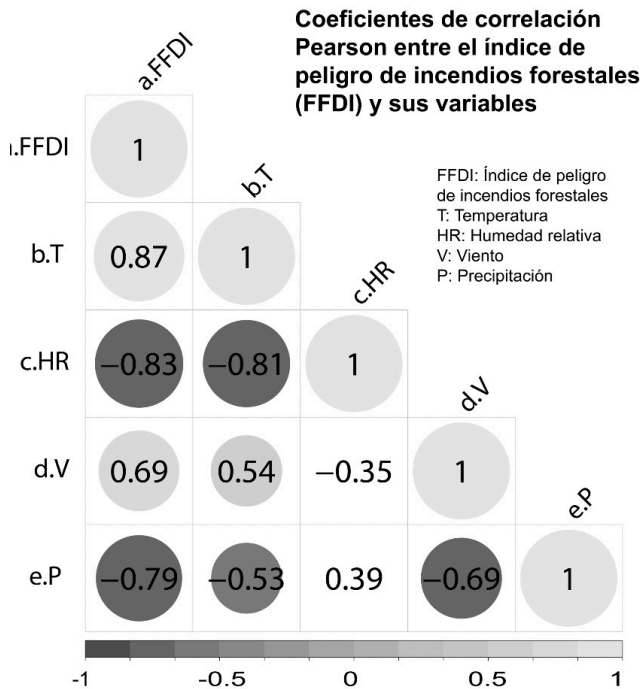


Figura 3: Coeficientes de correlación Pearson entre el Índice de Peligro de Incendios Forestales (FFDI) y sus variables en la región andina de Ecuador para el período 1997-2012. Los valores en círculos representan correlaciones con significancia estadística mayor al 5%.

La Figura 4 presenta una serie de tiempo de valores de FFDI en los Andes de Ecuador. Los cálculos usaron los datos de las variables meteorológicas promediados para la región andina. Los cómputos se realizaron usando la métrica FFDIcum para cuatro temporadas: Julio-agosto-septiembre (JAS), octubre-noviembre-diciembre (OND), enero-febrero-marzo (EFM), Abril-Mayo-Junio (AMJ). De conformidad con lo esperado, la temporada JAS evidenció un mayor peligro de incendios forestales en comparación con el resto de temporadas. Sorprendentemente, la temporada OND exhibió un nivel de peligro de incendios forestales de similar magnitud a la temporada JAS. De hecho, ambas temporadas registran un valor promedio de FFDIcum casi igual (158 y 157 unidades respectivamente). Adicionalmente, esta figura muestra que esta región experimentó los niveles más altos de

peligro de incendios forestales durante los años 2000 y 2008.

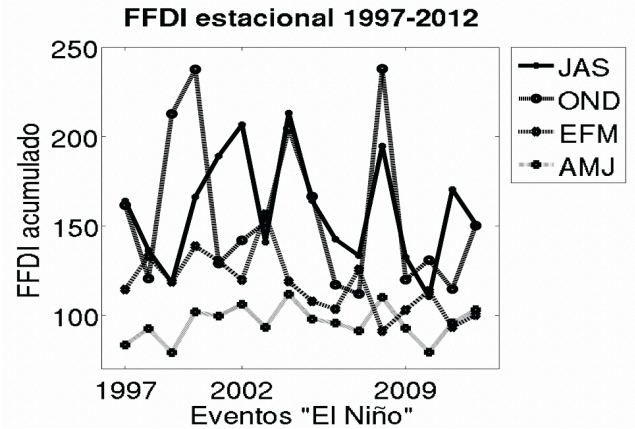


Figura 4: Serie de tiempo del Índice de Peligro de Incendios Forestales FFDI estacional para los períodos julio-agosto-septiembre (JAS), octubre-noviembre-diciembre (OND), enero-febrero-marzo (EFM), Abril-Mayo-Junio (AMJ) en la región andina de Ecuador para el período 1997-2012. Las temporadas JAS y OND son las que evidencian un riesgo más alto de ocurrencia de incendios forestales.

La Figura 5 presenta la variabilidad mensual de peligro de incendios forestales durante el período 1997-2012. La figura muestra como el peligro de incendios forestales empieza a elevarse desde el mes de julio. En los siguientes meses, el peligro de incendios forestales continúa incrementándose hasta alcanzar sus máximos valores en septiembre y octubre. Durante el período de noviembre a abril, el peligro de incendios forestales empieza a decrecer de forma constante. En los meses de mayo y Junio el nivel de peligro se estabiliza antes de iniciar la temporada de incendios forestales. El período de julio a noviembre es el que mayores valores del índice FFDI acumulado reporta (entre 750 y 1000 puntos aproximadamente).

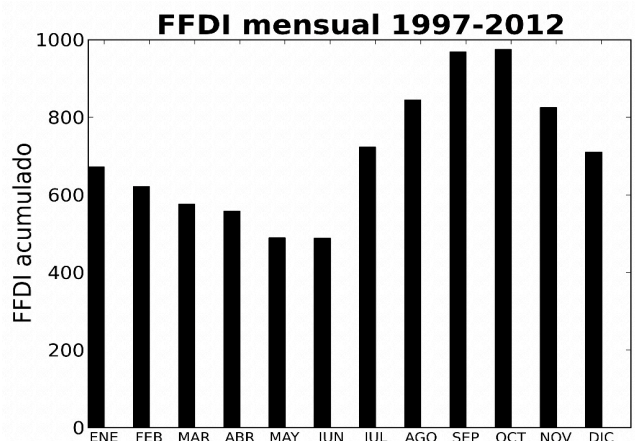


Figura 5: Variabilidad mensual acumulada del Índice de Peligro de Incendios Forestales (FFDI) en la región andina de Ecuador durante el período 1997-2012. El gráfico muestra que los meses de mayor peligro de incendios comprenden el período julio-noviembre.

## DISCUSIÓN

El índice FFDI es una métrica útil para estimar el peligro de incendios forestales en los Andes





de Ecuador. Usando este índice se determinó de forma cuantitativa que los meses percibidos como de mayor peligro de incendios forestales efectivamente presentan un alto riesgo (temporada JAS). Además, se demostró que octubre y noviembre también presentan un elevado riesgo de incendios forestales.

Los resultados del cálculo del índice FFDI demuestran que los Andes de Ecuador experimentan un elevado riesgo de incendios forestales durante el período julio a noviembre. Estacio y Narváez (2012) reportaron que el período JAS los incendios forestales en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) son recurrentes. Esta ciudad es la capital de Ecuador y es el lugar de donde más información se dispone acerca de incendios forestales en este país. El DMQ se encuentra ubicado en la parte norte de los Andes de Ecuador. Por lo tanto, el reporte nacional de este tipo de eventos puede tener un sesgo para esta región. De hecho, existe escasa información de ocurrencias de incendios forestales en otros sectores de la Sierra que podrían ocurrir en octubre y noviembre. SADMQ (2013) afirma que durante estos meses si ocurren incendios forestales, aunque con menor intensidad.

Los resultados de la evaluación del peligro de incendios forestales usando el índice FFDI evidencian que el año 2012 no fue el de mayor riesgo en los Andes ecuatorianos (considerando factores climáticos) en comparación con otros años durante el periodo de estudio 1997-2012. Este resultado contrasta con los reportes locales en Quito que señalan que este año fue de gran severidad de incendios forestales (MAE, 2013; SADMQ, 2013). Por lo tanto, la magnitud de los incendios forestales del año 2012 se podrían explicar por factores no climáticos (ej. mayor número de igniciones). Adicionalmente, pruebas más robustas de la efectividad del índice FFDI para estimar el peligro de incendios forestales en los Andes de Ecuador requieren necesariamente de registros confiables acerca de la ocurrencia de incendios forestales. Por lo tanto, generar este tipo de información a nivel nacional es de suma importancia para continuar investigando este problema.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Este estudio determinó que el Índice de Peligro de Incendios Forestales de McArthur (FFDI) es una métrica útil para representar el clima de incendios forestales en la región andina de Ecuador. Usando

este índice, esta investigación establece por primera vez mediante un análisis cuantitativo que la temporada de incendios forestales en esta región abarca el período julio-noviembre.

El desarrollo de una base de datos robusta de ocurrencias de incendios forestales podría abrir el camino para varias oportunidades de programas de investigación asociados (ej. uso de suelo, impactos ambientales, estudios sociales, etc.). La construcción de esta base de datos requiere el uso de imágenes satelitales y reportes locales oficiales de ocurrencias de incendios forestales (incluso reportes no oficiales de periódicos podrían ser útiles).

Investigar la meteorología de días específicos en los que ocurrieron incendios forestales extremos podría proveer información valiosa para los servicios que atienden estas emergencias. Este análisis podría evaluar las características sinópticas de las variables meteorológicas asociadas al clima de incendios forestales usando datos modelados.

Finalmente, en esta investigación se estudió el clima de incendios forestales de la Sierra de Ecuador. Sin embargo, sería interesante extender el área de estudio a otras regiones andinas (ej. Colombia y Perú).

## **AGRADECIMIENTOS**

Esta investigación fue posible gracias al apoyo de varias instituciones. La Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) financió el programa de doctorado del que esta investigación es parte. El Instituto Ecuatoriano de Meteorología e Hidrología (INAMHI) proporcionó la información meteorológica de este estudio. Adicionalmente, se extienden agradecimientos al Profesor David Karoly y al Dr. Alex Pezza por proporcionar críticas constructivas durante la ejecución de esta investigación.

## **REFERENCIAS**

Aceituno, P. (1988). On the Functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Part I: Surface Climate, Monthly Weather Review, 116(3). pp. 505–524. doi:10.1175/1520-0493(1988)116<0505:OTFOTS>2.0.CO;2.

Anchaluisa, S. (2013). Efecto del fuego sobre la estructura, microclima y funciones ecosistémicas de los bosques introducidos de eucalipto (*Eucalyptus globulus*, Mytaceae) en el Distrito Metropolitano de Quito. Universidad San Francisco

de Quito. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/2899/1/109458.pdf>.

Bjerknes, J. (1966). A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature, *Tellus A*, 18(4), p. 820. doi: 10.3402/tellusa.v18i4.9712.

Bjerknes, J. (1969). Atmospheric Teleconnections From The Equatorial Pacific, *Monthly Weather Review*, 97(3), pp. 163–172. doi:10.1175/1520-0493(1969)097<0163:ATFTEP>2.3.CO;2.

BoM (2008) Climate of Australia.

El Comercio (2015). Incendio forestal en Puenbo se ganó la vida de un tercer bombero.

Estacio, J. and Narváez, N. (2012). Incendios forestales en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ): conocimiento e intervención pública del riesgo. Disponible en: <http://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/3814#>. Vdv0I2AxEWo.

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.

Haines, D. A. and Service, F. (1988). A lower atmosphere severity index for wild fires, *National Weather Digest*, 13(2), pp. 23–27.

Haynes Bradstock, R. A., Gill, A. M. and Williams, R. J. B. (2012). *Flammable Australia: Fire Regimes, Biodiversity and Ecosystems in a Changing World*. CSIRO Publishing.

Insel, N., Poulsen, C. J. and Ehlers, T. a. (2010). Influence of the Andes Mountains on South American moisture transport, convection, and precipitation, *Climate Dynamics*, 35(7), pp. 1477–1492. doi: 10.1007/s00382-009-0637-1.

Instituto Geográfico Militar (IGM) (2013). Contextos Históricos y Políticos Generales, en *Atlas Geográfico de la República del Ecuador*. Primera ed, p. 350.

Keetch, J. and Byram, G. (1968). A Drought Index for Forest Fire Control.

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.

MAE (2012). Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental. Subsecretaría de Patrimonio Natural (a).

MAE (2013). Plan de contingencia de incendios forestales.

Martínez, R. et al. (2011). Synthesis of the climate of the tropical Andes, *Climate change and biodiversity in the tropical Andes*.

McArthur, A. G. (1966). Weather and grassland fire behaviour.

McArthur, A. G. (1967). Fire behaviour in eucalypt forests.

Mount, A. B. (1972). The derivation and testing of a soil dryness index using run-off data.

NOAA (2015). Southern Oscillation Index. Disponible en: <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/indicators/soi/> (Consultado: 3 Septiembre 2015).

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.

Pourrut, P. et al. (1995). Clima del Ecuador, en *El agua en el Ecuador*, pp. 13–26.

Rodas, M. (2015). Análisis del comportamiento de incendios forestales en la cuenca del río Paute mediante sensores remotos. Universidad de Cuenca. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/22325/1/Tesis.pdf>.

SADMQ, (2013). Los incendios forestales en el Distrito Metropolitano de Quito evaluación 2012.

Villacís, M. et al. (2003). Variabilité climatique dans la sierra équatorienne en relation avec le phénomène ENSO, *Hydrology of the Mediterranean and Semiarid Regions* (Proceedings of an international symposium held at Montpellier, April 2003). IAHS Publ. no. 278, pp. 202–208.

Vuille Raymond S.; Keimig, Frank, M. ; B. (1999). Climate Variability in the Andes of Ecuador and Its Relation to Tropical Pacific and Atlantic Sea Surface Temperature Anomalies, *Journal of Climate*, 13, pp. 2520–2535. doi:10.1175/1520-0442(2000)013<2520:CVITAO>2.0.CO;2.

Van Wagner, C. E. (1974). *Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System*. Ottawa.

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.

Wooster, M. J., Perry, G. L. W. and Zoumas, a. (2012). Fire, drought and El Niño relationships on Borneo (Southeast Asia) in the pre-MODIS era (1980-2000). *Biogeosciences*, 9(1), pp. 317–340. doi: 10.5194/bg-9-317-2012.

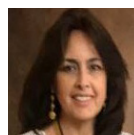
# Efecto de la concentración de Quitosano en la disminución de los sólidos suspendidos en el agua de ingreso a la planta de tratamiento de Bellavista.

Effect of the concentration of chitosan in the decrease of the solids suspended in the water entry of Bellavista treatment plant.

DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.1330>



**Rosero José Augusto**  
Docente de la Facultad de Ingeniería  
Ciencias Físicas y Matemática.  
Universidad Central del Ecuador  
jarosero@uce.edu.ec



**Suárez Heredia Martha Azucena**  
Docente de la Facultad de Ciencias Químicas.  
Universidad Central del Ecuador  
masuarez@uce.edu.ec

## RESUMEN

Una de las primeras etapas en la potabilización del agua superficial es la coagulación- floculación de sólidos suspendidos. La presencia de sólidos altera las propiedades físico-químicas del agua, pudiendo afectar su color y sabor, generando, en algunos casos, contaminación microbológica. El coagulante-floculante más utilizado es el sulfato de aluminio; sin embargo, la presencia de aluminio residual en el agua se ha asociado con trastornos en la salud de los consumidores, ya que el aluminio, como sal soluble, llega a ser biodisponible en el metabolismo humano. Por tanto, se plantea la posibilidad de reemplazar el sulfato de aluminio con biopolímeros no tóxicos como el quitosano. Así, se analizó, mediante pruebas de jarras, el agua que llega de diferentes vertientes a los tanques de almacenamiento de la planta de tratamiento de Bellavista en la ciudad de Quito. Se encontró que el quitosano en concentraciones de 8 ppm ocasiona un 19,7% de disminución en la turbidez del agua cruda; a esta misma concentración, el sulfato de aluminio genera el efecto contrario, produce un incremento de turbidez del 19,3%. Debido a este comportamiento, el quitosano puede convertirse en una alternativa viable para clarificar agua para consumo humano, además de su cualidad como polímero natural.

**PALABRAS CLAVE:** biopolímero; quitosano; tratamiento de agua cruda

## ABSTRACT

*One of the first stages in the purification of surface water is the coagulation and flocculation of suspended solids. The presence of solids alters the physical-chemical properties of water, which can affect color, taste and in many cases generate microbiological contamination. The most commonly used coagulant-flocculant is aluminum sulphate, however, the presence of residual aluminum in water has been associated with health disorders in consumers, since aluminum as a soluble salt becomes bioavailable in the human metabolism. Therefore, the possibility of replacing aluminum sulphate with non-toxic biopolymers such as chitosan is considered. Thus, the water coming from different slopes to the storage tanks of Bellavista treatment plant in the north of Quito city, was analyzed by jar tests. It was found that chitosan in concentrations of 8 ppm causes a 19.7% decrease in turbidity of raw water; at this same concentration, aluminum sulphate generates the opposite effect, producing an increase in turbidity of 19.3%. Due to this behavior, chitosan can become a viable alternative to clarify water for human consumption, in addition to its quality as a natural polymer.*

**KEYWORDS:** biopolymer; chitosan; raw water treatment

## INTRODUCCIÓN

Debido a que las aguas de origen natural contienen contaminantes que son el resultado tanto de la erosión del suelo, como de la disolución de minerales y de la descomposición de la materia orgánica (Tabla 1); éstas deben ser clarificadas durante el tratamiento

de potabilización. Los contaminantes sólidos, afectan las características del agua, principalmente el color y la turbidez. Estos contaminantes están constituidos, en su mayor parte, por minerales calizos de diversos tamaños, los más pequeños –menores de 100 nm– denominados partículas coloidales (Ríos et al., 2006).

Tabla 1. Clases de contaminantes en aguas superficiales

Clase	Ejemplos
Sólidos suspendidos	Materiales coloidales, polvo, óxidos de metales insolubles e hidróxidos
Orgánicos disueltos	Químicos orgánicos sintéticos, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos
Iónicos disueltos (sales)	Metales pesados, sílice, arsénico, nitrato, cloruros, carbonatos
Microorganismos	Bacterias, virus, quistes protozoarios, hongos, algas, células de levadura
Gases	Sulfuro de hidrógeno, metano, radón, dióxido de carbono

Modificado de (Cartwright, 2009).

La coagulación-floculación es el proceso más utilizado en la eliminación de partículas sólidas coloidales que causan turbidez y cambio de coloración en el agua. La eficacia de los procesos de coagulación-floculación, depende de la posibilidad de solvatación y de la carga superficial de los coloides (Ramírez & Padilla, 2015). La coagulación consiste en agregar al agua un coagulante capaz de neutralizar la carga eléctrica superficial del coloide, mientras que la floculación es la agrupación de las partículas descargadas para formar un aglomerado llamado flóculo, cuyo tamaño y densidad permiten su precipitación (Fuentes et al., 2008).

El sulfato de aluminio es el agente coagulante más ampliamente utilizado en las plantas de tratamiento debido a su probada efectividad y bajo costo. Sin embargo, estudios han reportado que el aluminio residual podría inducir enfermedades neurológicas, tales como el Alzheimer, síndromes de demencia y disminución de la capacidad motora y mental (Rodríguez et al., 2015). La dosis letal media (DL50) vía oral del aluminio es superior a 5000 mg/Kg (GTM, 2016) (MERCK, 2018), siendo su uso seguro en la mayor parte de aplicaciones. A pesar de que la clarificación del agua para potabilización utilizaría concentraciones bajas de sulfato de aluminio, que se encuentran muy por debajo del DL50, se deben considerar sus efectos acumulativos. La incidencia del aluminio en enfermedades del sistema nervioso central, específicamente el Alzheimer, fue estudiada por Perl (1985), debido a su hallazgo de la acumulación de aluminio en el cerebro de pacientes con esta enfermedad (Citado en Trejo & Hernández, 2004). Además, Martyn (1989) y Forster (1995) consideran que, siendo la alimentación la fuente de ingesta más importante de aluminio, este metal presenta la forma más biodisponible en el agua y puede ser absorbido fácilmente por el intestino, adicionalmente definen que, el aluminio procedente de otras fuentes, no puede ser absorbido de igual manera.

Debido a estos problemas, se han utilizado algunos coagulantes naturales como almidón de yuca (Manihot esculenta) (Solís et al., 2012); extractos de algunas Cactáceas como *Echinopsis pachanoi*, *Neoraimondia arequipensis* y *Opuntia ficus* (Choque

et al., 2013), con resultados interesantes. También se han utilizado biopolímeros como la quitina y el quitosano.

El quitosano es un polímero catiónico lineal, biodegradable, no tóxico, de alto peso molecular, de fácil aplicación y ambientalmente amigable. Se ha demostrado que la presencia de los grupos amino libres en la estructura del quitosano le confieren la capacidad para coagular sustancias coloidales; además su uso permite aumentar la acción de coagulantes orgánicos (Maldonado, 2018) e inorgánicos convencionales (Caldera et al., 2009), por lo que es ampliamente empleado como coagulante primario en el tratamiento de aguas de origen natural y aguas residuales (Caldera et al., 2011).

Químicamente, el quitosano es un biopolímero compuesto por cadenas de  $\beta$ -(1,4)-D-glucosamina, unidad desacetilada (fig. 1 – 100DA) y N-acetil-D-glucosamina como unidad acetilada (fig. 1 – DA), que se encuentran distribuidas aleatoriamente. Se obtiene como el principal derivado de hidrólisis alcalina de la quitina y puede ser caracterizado por el porcentaje de unidades de  $\beta$ -(1,4)-D-glucosamina existentes en la cadena polimérica –porcentaje de desacetilación– Comercialmente la hidrólisis alcalina produce quitosano con un 75–80% de desacetilación. La desacetilación completa de la quitina provee un compuesto totalmente soluble en medio ácido llamado quitano (Nieto & Orellana, 2011).

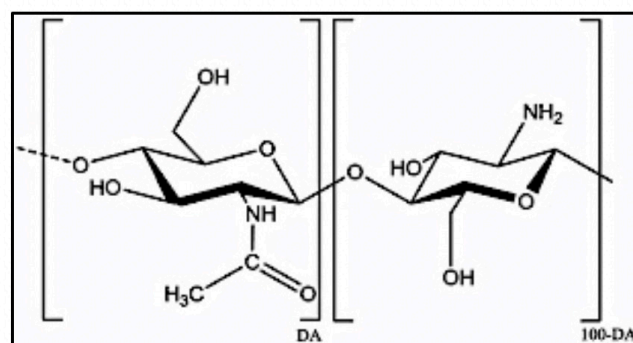


Figura 1. Estructura química de las unidades repetitivas de quitosano

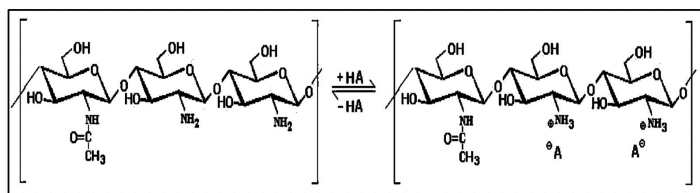
Por ser un polímero no tóxico y biodegradable, es utilizado en numerosas aplicaciones industriales, algunas de las cuales se describen en la Tabla 2.

**Tabla 2. Aplicaciones industriales del quitosano.**

Sector industrial	Tipo de aplicación
Cosméticos	Hidratante, emulsificante, emoliente, formación de películas.
Agricultura	Fungicida, inductor de resistencia antimicrobiana, bioestimulante, nematocida, biocida, tratamiento de semillas
Alimentos	Clarificante, nutracéutico, gelificante, espesante
Industria textil	Componente de textiles higiénicos, repelente, fibras, decolorante de efluentes
Biotecnología	Inmovilizador de enzimas, encapsulante, filtro, excipiente, gel en polvo
Fabricación de papel	Tratamiento de superficies, papel fotográfico
Medicina	Control del colesterol, liberación de drogas, prótesis dentales, suturas, biomateriales, vendas, agente antibacterial, anticongelante, elaboración de membranas, cicatrizante, inhibidor tumoral, fabricación de lentes de contacto
Tratamiento de aguas	Agente floculante, quelante y decolorante

Modificado de (Chitosanlab, 2016)

En las soluciones ácidas de quitosano, los grupos amino ( $-NH_2$ ) libres de la  $\beta$ -(1,4)-D-glucosamina, son capaces de captar protones utilizando los electrones libres del nitrógeno en un equilibrio ácido-base (fig. 2), que da como resultado la carga parcial positiva de los grupos amonio ( $-NH_3^+$ ) formados. El quitosano, por su carácter catiónico es capaz de solvatar y neutralizar la carga negativa de los sólidos coloidales presentes en el agua, produciendo la coagulación y floculación de éstos.



**Figura 2. Equilibrio ácido-base de quitosano**

Por la importancia del quitosano en los procesos de coagulación-floculación de los sólidos coloidales, presentes en aguas superficiales y, para definir una alternativa para reemplazo del sulfato de aluminio en el tratamiento de aguas crudas, se deben definir los rangos de concentración en los cuales se presente una disminución significativa de la turbidez. Con esta finalidad se ha utilizado en este estudio el agua de ingreso a la planta de tratamiento de Bellavista, que abastece de agua potable al sector centro norte de la ciudad de Quito. La reserva de agua cruda de la planta de tratamiento de Bellavista, es alimentada por el Sistema Papallacta integrado, que es el más grande con el que cuenta la ciudad de Quito. Este sistema capta agua de varios ríos de la parte oriental de la provincia de Napo, fundamentalmente de los ríos Papallacta, Blanco Chico, Cojancos en la población de Papallacta, adicionalmente en la parte alta de la cordillera Salve Faccha, Mogotes y Sucos y captaciones secundarias adicionales (EPMAPS, 2015).

## METODOLOGÍA

Se colectaron muestras del agua de ingreso en la planta de tratamiento de agua potable de Bellavista-Quito y se caracterizó el agua cruda mediante mediciones de pH, turbidez, tamaño de partícula y polidispersión de los sólidos suspendidos.

Las pruebas de jarras se realizaron en equipos de agitación magnética THERMO Scientific. Utilizando un volumen constante de agua, se añadieron volúmenes variables de una solución de 1000 ppm de quitosano SIGMA ALDRICH de 75 – 80% de desacetilación y peso molecular medio, disuelto en ácido acético MERCK grado analítico 0,1% V/V, de acuerdo a los datos presentados en la Tabla 3.

**Tabla 3. Concentración experimental de quitosano para las pruebas de jarras**

Determinación	A	B
0	0	0
1	2,0	8
2	4,0	16
3	6,0	24
4	8,0	32
5	10,0	40
6	15,0	60
7	20,0	80
8	25,0	100
9	30,0	120
10	35,0	140
11	40,0	160
12	45,0	180
13	50,0	200
14	100,0	400

A= Volumen de solución de quitosano de 1000 ppm  
B= Concentración de quitosano (ppm)

Los análisis se realizaron a una temperatura constante de 20°C, agitando el agua con el quitosano, por un minuto, a 360 rpm y por 20 minutos a 60 rpm; las muestras se dejaron en reposo por 30 minutos y se midió la turbidez de las muestras de agua tratadas en un turbidímetro HACH-2100Q. Se consideró la disminución de turbidez del agua, contrastada con el blanco. Igual metodología se utilizó para el tratamiento del agua, con sulfato de aluminio; se utilizó  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  Fisher Scientific, grado analítico.

El tamaño de partícula y la polidispersión de las muestras fueron medidos en un equipo de dispersión dinámica de luz (DLS) Nanopartica SZ-1000 Series y en un pH-metro LAQUA-F-72 Horiba Scientific, respectivamente.

## DISCUSIÓN

### Caracterización de las muestras analizadas.

El agua de ingreso a la planta de tratamiento de Bellavista, tuvo un pH experimental de 7,02. Este valor aseguró que no exista influencia sobre el equilibrio ácido-base del quitosano disuelto, en ácido acético 0,1%, favoreciendo la formación del catión amonio que actúa como neutralizador de la carga de los sólidos en suspensión, lo que facilitó la coagulación y posterior floculación de éstos.

Experimentalmente, se determinó que el agua de ingreso a la planta de tratamiento de Bellavista tiene una turbidez de 2,28 NTU. Con este valor no es posible evidenciar, a simple vista, la presencia de sólidos suspendidos, por lo que para verificarlos se midió el tamaño de partícula y la polidispersión. Se obtuvieron valores promedio para el tamaño de partícula de  $17.763,0 \pm 72,6$  nm, lo cual indica que, en la muestra de agua analizada, se tienen sólidos suspendidos de tamaño superior a las partículas coloidales que se encuentran entre 1 – 100 nm (Ríos et al., 2006).

Por otro lado, se puede establecer que, a pesar del tamaño medido, los sólidos presentes se encuentran suspendidos en el agua de ingreso a la planta de tratamiento, lo cual puede deberse a la solvatación que producen las moléculas de agua, estabilizando la carga de los sólidos (Maldonado, 2018). El valor inicial de la turbidez del agua, determinado experimentalmente, se encuentra por debajo de la norma ecuatoriana, que especifica una turbidez máxima permitida de 5 NTU (INEN, 2011), para que sea apta para consumo humano.

La polidispersión define la heterogeneidad de un sistema coloidal, referida a la variabilidad de los pesos moleculares de los sólidos presentes, en un sistema dispersante. Este índice varía entre 1 – 50, acercándose a la unidad en un sistema monodisperso y a 50 para un sistema en extremo polidisperso (Romo, 1981). El valor experimental, para el índice de polidispersión de las muestras de agua analizadas fue de  $30,9 \pm 6,5$ , por lo que la mezcla de agua cruda colectada en la planta de tratamiento de Bellavista, en la ciudad de Quito, puede definirse como un sistema polidisperso, donde la distribución de los pesos moleculares medios de los sólidos, en suspensión, es altamente heterogénea.

### Prueba de jarras.

La comparación del comportamiento de quitosano con el del sulfato de aluminio, respecto de la turbidez inicial del agua cruda (2,28 NTU), se define en la fig. 3. En concentraciones altas, en el rango de 100 - 160 ppm de coagulante-floculante, para el caso de quitosano se encontró que los valores menores de turbidez están entre 2,22 - 2,21 NTU. El menor valor de turbidez medido luego de la prueba de jarras, se da a una concentración de 140 ppm de quitosano y corresponde a 2,08 NTU. Este valor indica que el quitosano provoca una reducción en la turbidez inicial del agua correspondiente al 20% (fig. 4).

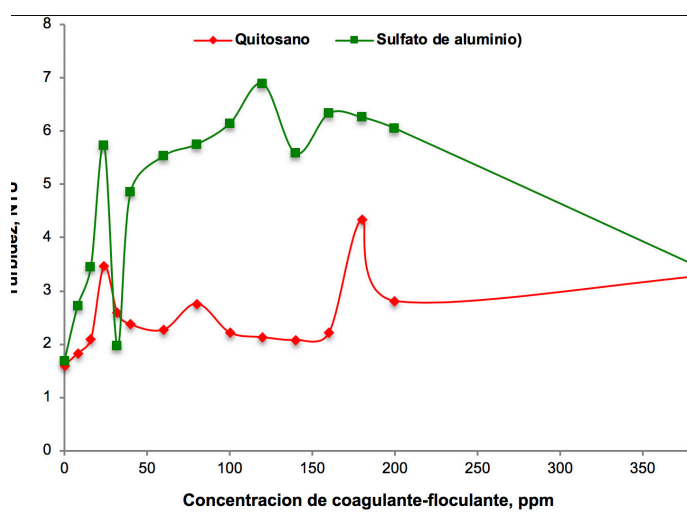


Figura 3. Turbidez vs concentración de coagulante-floculante. Comparación del comportamiento de quitosano vs sulfato de aluminio

En lo que respecta al sulfato de aluminio (fig. 3), en el mismo rango de concentraciones utilizadas para quitosano, se generó un incremento de la turbidez que va desde 6,14 a 6,33 NTU. El valor más bajo de turbidez en el agua analizada se obtiene en la concentración de 140 ppm de sulfato de aluminio

con un valor de 5,58 NTU, lo que corresponde a un incremento de turbidez de 144,7%, respecto del valor inicial del agua analizada.

En concentraciones bajas de sulfato de aluminio (32 ppm), la turbidez de agua tratada baja a 1,96 NTU (fig. 3), que corresponde a 57,9% de reducción respecto del valor inicial. Estos valores son coincidentes con los reportados en la literatura (Barajas & León, 2015). Para el caso de quitosano el descenso se observa, cuando la concentración de biopolímero se encuentra en 8 ppm con una turbidez medida de 1,83 NTU (fig. 3), correspondiente a 19,7% de reducción, respecto del valor inicial medido.

Además, se observó que el incremento gradual de la concentración de quitosano genera descensos significativos de turbidez para las secuencias de concentración entre 0 y 16ppm y de 100 a 160 ppm, como se puede apreciar en la figura 4. En los demás segmentos de la curva, los incrementos de concentración de quitosano generan incrementos de la turbidez del agua y no su disminución.

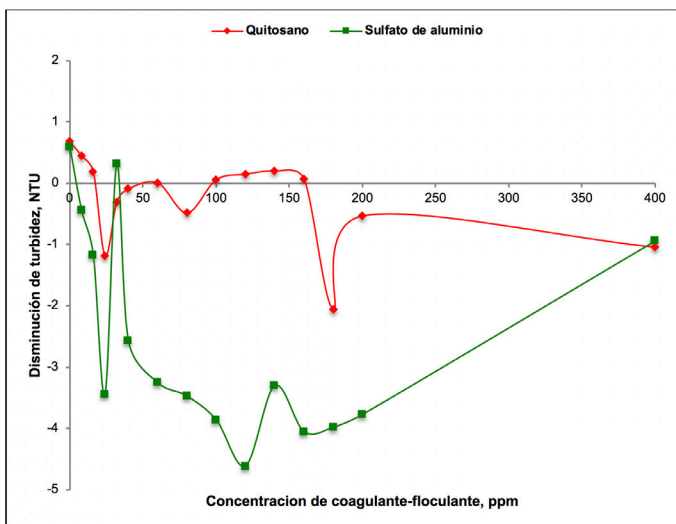


Figura 4. Disminución de Turbidez vs concentración de coagulante-floculante. Comparación del comportamiento de quitosano vs sulfato de aluminio

En lo que respecta al sulfato de aluminio, se observó que los segmentos de concentración en los que se obtiene reducción significativa de la turbidez del agua, son pequeños, puntuales, como se puede apreciar en la figura 4. El primero va de 0 a menos de 8 ppm, mientras que el segundo se compone de un segmento cuyo valor es puntual de 32 ppm, lo que corrobora las observaciones anteriores realizadas en el marco de otras mediciones (Barajas & León, 2015).

Las curvas de la figura 4 muestran, además, como los segmentos significativos del quitosano cubren secciones de curva más amplias, frente a los valores

puntuales del sulfato de aluminio. Por lo cual es más flexible el empleo de quitosano para la clarificación del agua, frente a las restricciones puntuales del sulfato de aluminio, es decir, el manejo del tratamiento del agua cuenta con opciones múltiples, a la hora de decidir estrategias para diferentes calidades de agua superficial.

Finalmente, la contribución significativa del sulfato de aluminio a la disminución de la turbidez del agua, se manifiesta a partir de los 200 ppm, mientras que la del quitosano, a partir de los 100 ppm.

## CONCLUSIONES

Se determinó que el quitosano tiene efecto coagulante-floculante en aguas superficiales de baja turbidez, como las que provienen de los ríos que alimentan la Planta de Bellavista, Quito. Para el mismo valor de concentración, el sulfato de aluminio provoca un descenso de turbidez del 57,9%, mientras que, para el quitosano, el descenso de turbidez observado es del 19,7%. Así, considerando que la concentración de quitosano utilizada en la fase de coagulación-floculación corresponde a la cuarta parte de aquella utilizada para el caso de sulfato de aluminio, es evidente que, el empleo de quitosano en el tratamiento del agua cruda es beneficioso. Pero el aspecto más importante es que se puede sustituir el producto químico, con sus potenciales secuelas de daño en la salud, por un producto natural, que se obtiene de los residuos de la producción camaronera nacional. Además, se demuestra que la utilización de quitosano, en la clarificación del agua, se puede dar a partir de 100 ppm, con segmentos de disminución de turbidez en concentraciones de hasta 8 ppm. Para sulfato de aluminio se tienen efectos en la turbidez desde 200 ppm, con su mayor efecto en 32 ppm.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores dejan constancia de su agradecimiento a las Doctoras Mirely Segovia y Ximena Morales por las facilidades prestadas para la colección de las muestras de agua cruda en la planta de tratamiento de Bellavista, Quito y al Doctor Edgar Pazmiño Docente de la Facultad de Ciencias Químicas.

## REFERENCIAS

Barajas, C. & León, A., (2015). Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio en el proceso de coagulación-floculación para tratamiento de agua potable mediante el uso de una red neuronal

artificial. Bogotá, Colombia: Universidad Santo Tomás.

Caldera, Y. et al., (2011). Eficiencia del quitosano como coagulante durante el tratamiento de aguas de baja turbidez asociadas a la producción de petróleo. *Revista Tecnocientífica URU*.

Caldera, Y. et al., (2009). Quitosano como coagulante durante el tratamiento de agua de producción de petróleo. *Boletín. Centro de Investigaciones Biológicas*.

Cartwright, P., (2009). Tratamiento y reuso del agua en aplicaciones comerciales/industriales. *Agua Latinoamérica*.

Chitosanlab, (2016.) Chitosanlab. [Online] Disponible en: <https://chitosanlab.com/es/aplicaciones/> [Accessed 4 September 2018].

Choque, D., Choque, Y., Solano, A. & Ramos, B., (2013). Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. *Universidad Nacional José María Arguedas*.

EPMAPS, (2015). Agua: un viaje de 300 Km. *El Quiteño*, enero. p. 7.

Forster, D., Newens, A., Kay, D. & JA, E., (1995). Risk factors in clinically diagnosed presenile dementia of the Alzheimer type: a case control study in northern England. *Journal Epidemiology Community Health*, 49(3), p. 253.

Fuentes, L. et al., (2008). Uso del quitosano obtenido de *Litopenaeus Schmitti* (Decapoda, Penaeidae) en el tratamiento de agua para consumo humano. *Multiciencias*, 8.

GTM, (2016). Ficha de datos de seguridad. Sulfato de Aluminio. [Electrónico] Disponible en: <http://www.gtmchemicals.com/> [Accessed 24 octubre 2018].

INEN, I.E.d.N., (2011). Norma Técnica Ecuatoriana. Agua Potable. Requisitos. [Online] Quito, Ecuador: INEN [Accessed 4 septiembre 2018].

Maldonado, A., (2018). Aplicación del clarificante de origen natural (almidón de yuca) para la remoción de la turbidez y color en aguas de consumo humano quebrada Juninguillo - La Mina, Moyobamba - San Martín. Tesis. Tarapotó: Universidad de San Martín

Tarapotó Universidad de San Martín Tarapotó.

Martyn, C. et al., (1989). Geographical relation between Alzheimer's disease and aluminum in drinking water. *Lancet*, 1(8629), pp. 59 - 62.

MERCK, (2018). Is now MERCK. [Online] Disponible en: <http://www.merckmillipore.com>. [Accessed 24 octubre 2018].

Nieto, C. & Orellana, V., (2011). Aplicación de quitosano como promotor de floculación para disminuir la carga contaminante. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.

Ramírez, H. & Padilla, J., (2015). Agentes naturales en el tratamiento de aguas. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*.

Ríos, N., Navarro, R., Ávila, M. & Mendizábal, E., (2006). Obtención de sulfato de quitosano y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de suspensiones coloidales anónicas de caolinita. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 7(3).

Rodríguez, Y. et al., (2015). Uso de un polímero natural (quitosano) como coagulante durante el tratamiento de agua para consumo. *INGENIARE*.

Romo, L., (1981). *Coloideofísica, Coloideoquímica, Fenómenos de superficie*. Quito, Pichincha, Ecuador: Universitaria.

Solís, R., Laines, J. & Hernández, J., (2012). Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. *Revista Internacional Contaminación Ambiental*, 28(3).

Trejo, R. & Hernández, V., (2004). Riesgos a la salud por presencia de aluminio en agua potable. *Conciencia Tecnológica*, (25).



# Valoración económica ambiental, producción de biomasa y carbono de un bosque nativo andino, frente a plantaciones forestales eucalyptus globulus y pinus patula, en la Provincia de Loja.

Environmental economic assessment, biomass and carbon production of an andean native, forest in front of eucalyptus globulus and pinus patula forest plantations, in the province of Loja.

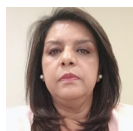
DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.1801>



**Jaramillo James**  
Funcionario Metro de Quito  
james.jaramillo@metrodequito.gob.ec



**Palacios Cabrera Teresa**  
Docente FIGEMPA  
tapalacios@uce.edu.ec



**Chamorro Sonia**  
Docente FIGEMPA  
sechamorro@uce.edu.ec

## RESUMEN

En la investigación desarrollada sobre la valoración económica ambiental, producción de biomasa y carbono de un bosque nativo en la ciudad de Loja, se realizó una comparación con plantaciones forestales de Eucalyptus globulus y Pinus Patula; a través de un estudio se logró determinar que los bosques andinos nativos presentan un valor económico ambiental de 77783,4 USD/ha, el mismo que es superior al de las plantaciones forestales que tienen 46344,1 USD/ha y 45471,9 USD/ha. Por otro lado, también se encontró que la producción de biomasa es netamente superior en las plantaciones forestales que, en los bosques nativos (E. globulus 492,59 ton/ha, P. patula 333,8 ton/ha y Bosques nativos 151,91 ton/ha), con cantidades que superan más del 50% y que, además se ve reflejado en el almacenamiento de carbono, ya que las plantaciones forestales al tener mayor producción de biomasa, también retienen mayor cantidad de carbono (E. globulus con 246,30 ton/ha, P. patula con 166,93 Bosque y andino 75,96 ton/ha).

**PALABRAS CLAVE:** valoración económica; biomasa; plantaciones forestales; bosques nativos; valoración ambiental.

## ABSTRACT

*In the research carried out on the environmental economic valuation, biomass and carbon production of a native forest in the city of Loja, a comparison was made with forest plantations of Eucalyptus globulus and Pinus Patula; Through a study it was possible to determine that native Andean forests have an economic environmental value of 77,783.4 USD / ha, which is higher than forest plantations that have 46344.1 USD / ha and 45,471.9 USD / ha. On the other hand, it was also found that biomass production is clearly higher in forest plantations than in native forests (E. globulus 492.59 tons / ha, P. patula 333.8 tons / ha and Native forests 151, 91 t / ha), with amounts that exceed more than 50% and which is also reflected in carbon storage, since forest plantations have higher biomass production also retain more carbon (E. globulus with 246, 30 ton / ha, P. patula with 166.93 Forest and Andean 75.96 tons / ha).*

**KEYWORDS:** economic valuation; biomass; forest plantations; native forests; environmental assessment.

## INTRODUCCIÓN

La biomasa es aquel componente orgánico de origen vegetal o animal, además, sirve como un parámetro para caracterizar la capacidad de los ecosistemas en acumular materia orgánica a lo largo del tiempo (Brown, 1997), está compuesta por el peso de la materia orgánica aérea y subterránea que existe en

un medio forestal. Asimismo, según IPCC (2017) es la masa total de organismos vivos presentes en una área o volumen dados, se suele considerar biomasa muerta al material vegetal muerto recientemente. La biomasa es importante, pues permite cuantificar la cantidad de nutrientes en diferentes partes de las plantas y estratos de la vegetación, también facilita comparar distintos tipos de especies y vegetación, en diferentes

sitios. Además, la cuantificación de la biomasa y el crecimiento de la vegetación en los ecosistemas son críticos para las estimaciones de fijación de carbono, un tema actualmente relevante, por sus implicaciones en el cambio climático. (Begon, Harper, Townsend, & Riba Rovira, 1996; Brown, 1997; Dixon et al., 1994). Existen dos métodos comúnmente usados para estimar la cantidad de biomasa que son: el método directo y el indirecto. Dentro del primero está el destructivo, que consiste en cortar el árbol y determinar la biomasa pesando directamente cada componente (Klinge & Herrera, 1983). Dentro de los indirectos se utilizan métodos de cubicación, del árbol donde se suman los volúmenes de madera, se toman muestras de ésta y se pesan en el laboratorio para calcular los factores de conversión de volumen a peso seco, es decir, la gravedad o densidad específica (M. Segura, 1997). Otra forma de estimar la biomasa es mediante ecuaciones o modelos basados en análisis de regresión, que utilizan variables colectadas en el campo, tales como: el diámetro a la altura del pecho (d), la altura comercial (hc) y total (ht), el crecimiento diamétrico, el área basal y la densidad específica de la madera; este método no es destructivo y es extrapolable a situaciones de crecimiento similares (Brown, 1997).

Los modelos de biomasa han aumentado en los últimos años y, posiblemente existen más los desarrollados para árboles individuales que para bosques. Estas ecuaciones facilitan la toma de decisiones y permiten la estimación de biomasa y carbono a gran escala (M. Segura, 1997). Dada la importancia de los bosques como reguladores del cambio climático, y la necesidad de poder estimar el carbono almacenado en los proyectos forestales (Pérez Cordero & Kanninen, 2003; Milena Segura & Kanninen, 2005).

En el presente estudio, se realizó una investigación cuyo objetivo era cuantificar la producción de biomasa para bosques nativos y plantaciones forestales, así como también, realizar la valoración económica ambiental de los mismos.

Como aporte de este trabajo se evidenciará la eficiencia, desde los puntos de vista económico, social y ambiental de los bosques, frente a las plantaciones, a través de la producción de biomasa y almacenamiento de carbono, y su valoración económica ambiental.

## MATERIAL Y MÉTODOS.

### Delimitación de la zona de estudio

El desarrollo de este trabajo de investigación se ejecutó, desde enero a abril del 2018 en los bosques

nativos y plantaciones ubicadas en la zona andina del cantón Loja, en el sector Uritusinga, Villonaco, Taquil.

Se delimitó la población, basado en un rango de altitud, el mismo que está entre 2200-2900 msnm; las plantaciones y bosques, fuera de este límite, no se consideraron para el estudio.

### Materiales y equipos

Las herramientas y equipos que se utilizó para la toma de datos en el campo son: cinta diamétrica (medir diámetro), hipsómetro suunto (medir altura de árboles), podadora de aérea y de mano, segueta y balanza analógica. Además, para realizar el proceso de información y toma de datos en el laboratorio, se usó balanzas electrónicas de precisión y una estufa, la cual fue utilizada para secar las muestras.

### Determinación del valor económico ambiental de los servicios y bienes del bosque nativo andino y plantaciones forestales (*Pinus patula* y *Eucalyptus globulus*).

Con la finalidad de obtener el valor económico ambiental de los tres tipos de cobertura, se trabajó con la metodología propuesta por el Ministerio del Ambiente del Ecuador, la misma que está basada en los servicios y bienes que proporcionan los ecosistemas.

### Servicios

#### • Captura de carbono

$$Y_c = \sum_{i=1}^n P_c Q_i^c N_i^c \quad \text{Ec. (1)}$$

### Dónde

$Y_c$  : Ingresos por la fijación del carbono (\$/año).

$P_c^c$  : Precio del carbono fijado (\$/ton).

$Q_i^c$  : Volumen del carbono fijado (ton/ha/año).

$N_i$  : Número de hectáreas reconocidas para fijación de carbono.

$i$  : Tipo de bosque considerado para el servicio de fijación de gases con efecto invernadero.

### Belleza escénica

Para determinar el costo de la belleza escénica, se tomó como referencia las visitas al Parque Nacional Podocarpus en el sector Cajanuma (ubicado cerca de la zona del sector de Uritusinga), que según

estadísticos del MAE (Ministerio del Ambiente) en el año 2017 ingresaron 9475 turistas de los cuales 7379 son nacionales y 2078 extranjeros. Además, se aplicó una encuesta a 30 turistas nacionales y extranjeros sobre su disposición a pagar, la misma que fue realizada en el puesto de control de ingreso al área.

El resultado obtenido de la encuesta, facilitó la obtención de datos referentes al costo que los turistas nacionales y extranjeros estarían dispuestos a pagar, para conocer las áreas turísticas.

Para determinar el costo de la belleza escénica se utilizó la ecuación 2.

$$Y_{be} = P_{be}^E Q_{be}^E + P_{be}^N Q_{be}^N \quad \text{Ec. (2)}$$

### Dónde

$Y_{be}$ : Ingreso por belleza escénica en turismo (\$/año)  
 $P_{be}^E$ : Valor monetario pagado por turistas extranjeros para el disfrute de belleza escénica (\$/persona/año)  
 $P_{be}^N$ : Valor monetario pagado por turistas nacionales para el disfrute de la belleza escénica (\$/persona/año)  
 $Q_{be}^E$ : Cantidad de turistas extranjeros (persona/año)  
 $Q_{be}^N$ : Cantidad de turistas nacionales (persona/año)

### Bienes

- **Agua**

Para la valoración del agua, primero se determinó la oferta hídrica de cada uno de los tipos de cobertura vegetal estudiados (bosque nativo andino, plantación de pino, plantación de eucalipto). Para ello, primeramente, se utilizó los datos de la estación meteorológica la Argelia, que está ubicada cerca al proyecto a 2160 msnm, cuyo código es M033.

Luego, en base a la actividad económica más importante de la zona del proyecto que es la ganadería, se procedió a determinar el costo del agua como insumo para la producción. Para lo cual se utilizó la ecuación 3.

$$\sum_{i=1}^n P_a Q_{ia-1} \quad \text{Ec. (3)}$$

### Dónde

$Y_a$ : Ingreso por el aprovechamiento del agua como insumos (\$/año).  
 $P_a$ : Precio del agua como insumo de la producción

(\$/m<sup>3</sup>).  
 $Q_{ia-1}$ : Demanda de agua en el sector i (m<sup>3</sup>/año).

### Productos maderables

Para este cálculo se utilizó la ecuación 4.

$$Y_m = \sum_{i=1}^n P_i^{mm} Q_i^{mm} \quad \text{Ec. (4)}$$

### Dónde

$Y_m$ : Ingresos por el aprovechamiento de productor maderables y no maderables (\$/año)  
 $P$ : Precio del bien i (\$/m<sup>3</sup>)  
 $Q_i^{mm}$ : Volumen del bien i (m<sup>3</sup>/año)  
 $i^{mm}$ : Determinar el potencial de producción de biomasa y carbono en el bosque nativo andino y plantaciones forestales (Pinus patula y Eucalyptus globulus).

### Medición de las variables de árboles en pie y toma de muestras.

En primer lugar, se midió el diámetro del árbol a la altura de pecho (DAP), la altura comercial (Hc) y altura total del fuste (Ht).

El DAP se midió con cinta diamétrica, utilizando como herramienta de precisión una barra de 1,30 m de largo. La altura total y comercial se midió con hipsómetro suunto.

En la figura 1, se especifican las variables usadas y que fueron medidas para el desarrollo de este trabajo investigativo.

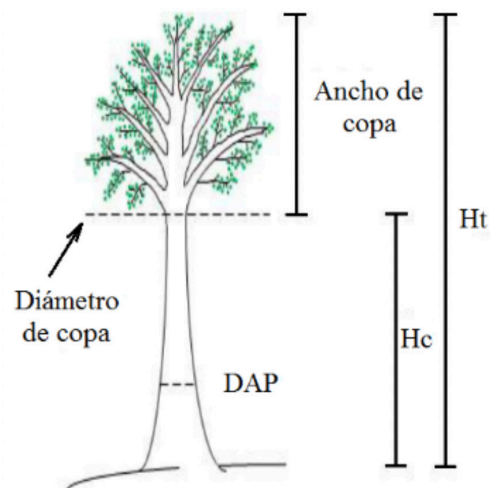


Figura 1. Variables medidas en los árboles. (Ministerio del Ambiente, 2012)

### Determinación del número de unidades de muestreo a medir por estrato

La determinación de la biomasa se la realizó en los diferentes compartimentos del bosque. Para el estrato arbóreo se midió individuos mayores a 10 cm de DAP, dentro de ellos, para el estrato arbustivo, se estableció dos parcelas una de 5 x 5 m y otra de 2 x 2 m para el estrato Herbáceo y para el caso de Necromasa se estableció solo una de 2 x 2 m.

### Biomasa arbórea

Dentro de la superficie de cada parcela se midió el DAP de 1,30 m del fuste (con lo cual se puede calcular el área basal que comprende la zona de cualquier sección transversal del fuste de un árbol, y la altura del fuste de cada árbol. Estos datos, junto con el factor de forma, permitieron calcular el volumen del fuste del árbol con la ecuación 5

$$VF=G*HF*Ff \quad \text{Ec. (5)}$$

#### Dónde

VF: Volumen del fuste  
HF: Altura del fuste  
Ff: Factor de forma  
G: Área Basal

El área basal se puede encontrar por medio de la ecuación 6.

$$G=0,7854(DAP)^2 \quad \text{Ec. (6)}$$

#### Dónde

DAP: Diámetro a la altura de pecho de un árbol

### Biomasa de la vegetación del sotobosque (estrato arbustivo y herbáceo) y de fermentos

Cada parcela se dividió en dos zonas de 25 m<sup>2</sup> para arbustos y de 4 m<sup>2</sup> para las hierbas, en donde se cortó, colectó y peso toda vegetación. Además, se recogió toda la masa en el proceso de fermentación, hasta llegar al suelo mineral (necromasa). Se pesaron las dos masas y se llevaron submuestras representativas, de cada una, al laboratorio para establecer la relación peso seco sobre peso verde (Ps/Pv). El promedio de la masa seca se usó para calcular la misma en toda una hectárea, tanto de sotobosque como de fermentos.

### Suelos

En dos parcelas, de cada cobertura, se hizo una calicata y se midió el primer horizonte orgánico, del cual se obtuvo una muestra mixta de 500 cm<sup>3</sup>

(0,0005 m<sup>3</sup>). Además, de los primeros 10 cm de suelo se obtuvo carbono, en base al contenido de materia orgánica, utilizando la fórmula de (Aguirre & Aguirre, 2004), la misma que se especifica en la ecuación 7.

$$C_{\text{suelo}}=Q_{\text{MOsuelo}}*0,58 \quad \text{Ec. (7)}$$

#### Dónde

C<sub>suelo</sub>: Cantidad de carbono del suelo.  
Q<sub>MOsuelo</sub>: Cantidad de materia orgánica del suelo (en gramos o en porcentaje)

### Determinar el potencial de producción de carbono del bosque andino y plantaciones forestales (Pinus patula y Eucalyptus globulus), en la zona andina del cantón Loja, provincia de Loja.

Para determinar el potencial de producción de carbono se utilizó la ecuación 8, planteada por Mireles, Carrillo y Díaz (2008). (Mireles, Carrillo, & Diaz, 2008).

$$C=0.5*Biomasa \quad \text{Ec. (8)}$$

#### Dónde

C: Carbono

### RESULTADOS

Determinación del valor económico ambiental de los servicios y bienes del bosque andino y plantaciones forestales (Pinus patula y Eucalyptus globulus)

### Servicios

#### • Captura del carbono

En la Tabla 1 se muestra el valor económico con el precio del mercado en la región.

**Tabla 1. Valor económico por hectárea por el servicio de las coberturas bosque nativo andino, plantación de Pinus patula y de Eucalyptus globulus.**

Tipo de cobertura	Biomasa (ton/ha)	Carbono almacenado	Precio de tonelada de carbono mercado (USD)	Valor económico por hectárea
Bosque nativo	151,91	75955,00	81,53	6190,33
P. patula	333,86	166,93	81,5	45471,9
E. globulus	492,59	246,30	81,5	46344,1

### Belleza escénica

Existe una mejor disposición por parte de turistas nacionales, para pagar por el disfrute del bosque andino con un valor económico promedio de \$ 6.06, seguido de las plantaciones de Pinus patula (en Loja existe el Parque recreacional Pucará con esta especie) dando un valor económico promedio de \$1,44 y, por último en el menor valor la plantación de E. globulus con \$ 0,78.

Los turistas extranjeros tienen mayor disponibilidad a pagar por el disfrute de los recursos escénicos con un valor económico promedio de \$ 10,5 seguido de las plantaciones de *P. patula* con 6.83 y *E. globulus* con \$ 5.

## Bienes

### • Agua

El volumen de oferta hídrica para bosques, plantación de *P. patula* y *E. globulus* es de 3480,36; 2610,27 y 2175,22 m<sup>3</sup>/ha/año, respectivamente. Esta es la cantidad de agua utilizable para las diferentes actividades que realizan las familias del área de influencia del proyecto.

Con base a los resultados mostrados, en el párrafo anterior, se determinó el valor económico de las distintas coberturas vegetales estudiadas que dieron valores de 218,1 \$/año, 163,1 \$/año y 135,9 \$/año para el bosque andino, plantación de *P. patula* y plantación de *E. globulus* respectivamente.

### • Productos maderables

El valor económico total por la producción de madera de los diferentes tipos de cobertura estudiados es: de la plantación de *E. globulus* (\$ 9989,5), y *P. patula* (\$ 6885,6) y la producción del bosque andino nativo (\$ 3639,6).

### • Productos no maderables

En base a los inventarios en el sotobosque, se identificó y cuantificó productos forestales no maderables. En el bosque nativo se encontró especies potenciales como orquídeas *Oncidium macranthum* con una densidad que ocupa 1500 m<sup>2</sup>.

Se encontraron 12 tipos de orquídeas y en promedio 80 por hectárea. El Valor económico que se determinó por hectárea es de \$ 1200.

Determinación del potencial de producción de biomasa y carbono en el bosque andino y plantaciones forestales (*Pinus patula* y *Eucalyptus globulus*)

## Determinación de biomasa

### • Bosque nativo

La producción de biomasa del bosque nativo andino es de 151.91 ton/ha.

### • Plantación de *Pinus patula*

La producción de biomasa de la plantación de *P. patula* es de 333,86 Ton/ha.

### • Plantación de *Eucalyptus globulus*

La producción de biomasa de la plantación *E. globulus* es de 492,59 ton/ha.

## Determinación de carbono

### • Producción de carbono en los diferentes tipos de cobertura en estudio

Los resultados de carbono que almacena cada cobertura vegetal son: *E. globulus* (246,30 ton/ha), *P. patula* (166,93 ton/ha) y bosque 75,96 ton/ha.

Este resultado se debe a que las plantaciones presentan diámetros homogéneos, mientras que en el bosque nativo existen variadas clases diamétricas. A esto se suma que, posiblemente los bosques andino nativos del sector Uritusingan fueron sometidos a procesos de extracción selectiva de madera hace varias décadas.

### • Producción de carbono en el suelo en los diferentes tipos de cobertura en estudio

Con la finalidad de homogenizar y considerando que en el campo se tomó las muestras de los primeros 10 cm de profundidad consideradas para el cálculo, por lo que la cantidad de suelo por hectárea es de 1000 m<sup>3</sup>. En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos.

**Tabla 2. Producción total de carbono a en 10 cm suelo en bosque andino, plantación de *P. patula* y plantación de *E. globulus*.**

Tipo de cobertura	Carbono (%)	Cantidad de suelo orgánico por hectárea (m <sup>3</sup> )	Carbono total en el suelo por hectárea (m <sup>3</sup> )	Densidad promedio de suelos ton/m <sup>3</sup>	Carbono total ton/ha
Bosque andino	16,24	1000	162,4	2,65	430,36
<i>P. patula</i>	8,41	1000	84,1	2,65	222,87
<i>E. globulus</i>	3,19	1000	31,9	2,65	84,54

## DISCUSIÓN

Determinación del valor económico ambiental de los servicios y bienes del bosque andino y plantaciones forestales (*Pinus patula* y *Eucalyptus globulus*)

## Bienes

Se ha logrado encontrar los valores económicos de servicios y bienes para tres coberturas vegetales y se pudo evidenciar que el valor económico ambiental del bosque nativo andino (77783,4 \$/ha) supera al de las plantaciones de *Eucalyptus globulus* (46344,1 \$/ha) y *Pinus patula* (45471,9 \$/ha), resultados que se dan debido a que en el bosque andino se tiene mayor índice de almacenado de carbono pero la producción de biomasa es baja con respecto a las plantaciones.

El valor económico encontrado de la belleza escénica, el mismo que fue determinado mediante una encuesta desarrollada a las distintas personas (nacionales y extranjeros) que visitan las plantaciones y bosque andino, indica que se tiene mayor apertura

con los visitantes nacionales ya que vienen en mayor cantidad; sin embargo, los extranjeros ofrecen mejores valores de pago, es así, que el valor económico por el disfrute de los tipos de cobertura, en estudio, el que presenta mayor valor económico es el bosque andino con \$ 66535,74 seguido de la plantación de pino con \$ 24818,5 y por último la plantación de eucalipto con \$ 16145,62 por año.

## Servicios

El volumen de oferta hídrica para bosques supera a las plantaciones. Mientras que el valor económico total por la producción de madera de los diferentes tipos de cobertura estudiado es mayor en la plantación de *E. globulus* (\$ 9989,5), que en la plantación de *P. patula* (\$ 6885,6) y la producción del bosque andino nativo (\$ 3639,6). Estos valores corresponden al promedio de mercado que tienen los tablones y las pilas de madera, que implica los valores de procesamiento de la madera y mano de obra empleada en el aprovechamiento del bosque.

Determinación del potencial de producción de biomasa y carbono en el bosque andino y plantaciones forestales (*Pinus patula*. y *Eucalyptus globulus*)

## Determinación de biomasa

La producción de biomasa es netamente mayor en las plantaciones con respecto al bosque andino, cabe recalcar, que los valores encontrados de producción de biomasa en esta investigación presentan similitudes con otros estudios y que se especifica a continuación:

- La producción de biomasa de la cobertura de bosque nativo es de 151.91 ton/ha cantidad que se asemeja mucho a los datos encontrados por Aguirre, N. (1999) en un bosque similar (148,1 ton/ha) y el por el Ministerio del Ambiente (2015), registra para ecosistemas similares 123,1 ton/ha.
- La producción de biomasa de la plantación de *P. patula* es de 333,86 Ton/ha; Mireles, A. et al. (2008), registro 301,9 Ton/ha, presenta valores relativamente similares, que pueden variar en función del tipo de manejo o densidad de las Plantaciones en comparación.
- La producción de biomasa de la plantación *E. globulus* es de 492,59 ton/ha; González et al. (2012), en plantaciones de la misma especie registraron entre 142 – 426 ton/ha, presentando valores cercanos, y la variación depende de la densidad, manejo y edad de las plantaciones, en comparación.

## Determinación del carbono

Al comparar la cantidad de carbono almacenado en el bosque de Uritusinga (75,96 ton/ha), los valores son relativamente bajos, puesto que, el Ministerio del Ambiente (2015) define para los bosques siempreverde andino de Ceja Andina 105 ton/ha, y el bosque siempre verde Andino de pie de monte con 122,8 ton/ha, esta diferencia puede haberse generado por los procesos de extracción selectiva al que fueron sometidos estos bosques, hace varias décadas.

De otro lado al comparar la cantidad de carbono almacenado en la Plantación de *P. patula* (166,93 ton/ha) con otros bosques de *P. radiata* en Chimborazo y Pichincha presentan valores de 195 ton/ha y 284 ton/ha (Condoy & Imaicela 2001). Se observa que la producción es relativamente parecida, sin embargo, las diferencias pueden deberse al tipo de manejo al que fueron sometidas las plantaciones.

Como se puede apreciar en la tabla 2, el suelo que almacena mayor cantidad de carbono corresponde al bosque nativo andino (430,36 ton/ha), mientras que las plantaciones de *P. patula* (222,87 ton/ha) y *E. globulus* (84,54 ton/ha) son inferiores. Cabe recalcar que la que presenta menor contenido de carbono, en el suelo, es la cobertura de eucalipto.

En estudios realizados en Costa Rica, en bosques maduros, se señala que se han registrado 411,9 toneladas por hectárea en el suelo, que es un valor relativamente similar al obtenido en los bosques en el presente estudio (430,36 ton/ha), las diferencias pueden haberse generado debido a los tipos de ecosistemas en comparación, tipo de suelo y especies que crecen en los bosques comparados. Aguilar (2011) reporta para bosques en proceso de sucesión mayores a 30 años de recuperación 109,24 y 92,29 ton/ha, siendo alto la cantidad de carbono encontrado en el suelo de la cobertura bosque andino del área de estudio.

Por otro lado, Canol y Correa (2007) en plantaciones de pino, registraron valores de carbono en el suelo de 25,95 y 43,5 ton/ha, al comparar con los resultados obtenidos en la presente investigación se evidencia que los valores registrados son altos tanto en las plantaciones de *P. patula* como en las de *E. globulus*.

## CONCLUSIONES

El valor económico ambiental es mayor en el bosque nativo andino (77783,4 \$/ha) en comparación con las plantaciones de *Eucalyptus globulus* (46344,1 \$/ha) y *Pinus patula* (45471,9 \$/ha).

Los bienes, como madera, presentan mayor valor económico en las plantaciones que en el bosque nativo andino. Donde la cobertura de bosque nativo tiene un



valor de \$ 3168, la plantación de *P. Patula* con \$ 6633.1 y *E. globulus* con \$ 9241.7. Estos valores corresponden a la venta de madera en tablones.

Los servicios como el disfrute de belleza escénica presentan mayor valor económico en el bosque nativo que en las plantaciones de *P. patula* y *E. globulus*. Con valores donde los turistas nacionales pagarían un promedio de \$ 6,06 por visitar un bosque nativo andino, seguido de las plantaciones de pino con \$ 1,44 y por último las plantaciones de eucalipto, donde pagarían únicamente \$ 0,78.

Los turistas extranjeros tienen mayor disponibilidad de pagar, por el disfrute de los recursos escénicos con valores de \$10,5, \$6,83 y \$5 dólares por visitar el bosque andino y las plantaciones de *P. patula* y *E. globulus*, respectivamente.

La producción de biomasa es mayor en las plantaciones de *E. globulus* (492,59 ton/ha), *P. patula* (333,8 ton/ha) en relación al bosque nativo andino (151,91 ton/ha). Los datos registrados mediante la presente investigación fueron comparados con estudios realizados anteriormente y presentan similitud. Siendo importante indicar que las plantaciones investigadas corresponden a bosques adultos, los mismos que se han estabilizado en la generación de biomasa.

Entre los diferentes tipos de cobertura, en estudio, el compartimiento fuste es el que presentó mayor diferencia en producción de biomasa. Siendo el fuste el componente de mayor proporción en todos los estratos estudiados. El almacenamiento de carbono es mayor en las plantaciones (*E. globulus* con 246.3 ton/ha, *P. patula* 166.93 ton/ha) que en el bosque nativo andino 75.96 ton/ha. El almacenamiento de carbono en el suelo es mayor en el bosque andino (430,36 ton/ha) que las plantaciones de *P. patula* (222,87 ton/ha) y *E. glóbulos* (84,54 ton/ha), y entre plantaciones es mayor el contenido de carbono en el suelo en la *P. patula*.

## RECOMENDACIONES

Es importante realizar un muestreo con mayor número de parcelas para cada componente, con el fin de elevar la precisión y confiabilidad de los resultados del contenido de biomasa, de carbono que este bajo y sobre el suelo.

Es necesario realizar monitoreo de biomasa y carbono en parcelas permanentes de muestreo, para obtener datos reales del flujo de carbono en el bosque en relación con las plantaciones.

Se debería incluir dentro de las valoraciones económicas ambientales el servicio de almacenamiento de carbono

que tienen los bosques, puesto que es mucho mayor que las plantaciones.

## REFERENCIAS

Aguirre, N., & Aguirre, Z. (2004). Guía para monitorear la Biomasa y dinámica de carbono en ecosistemas forestales en el Ecuador. Revista Herbario Loja No 11. Recuperado a partir de [https://www.researchgate.net/publication/263684944\\_Guia\\_para\\_monitorear\\_la\\_Biomasa\\_y\\_dinamica\\_de\\_carbono\\_en\\_ecosistemas\\_forestales\\_en\\_el\\_Ecuador](https://www.researchgate.net/publication/263684944_Guia_para_monitorear_la_Biomasa_y_dinamica_de_carbono_en_ecosistemas_forestales_en_el_Ecuador).

Begon, M., Harper, J. L., Townsend, C. R., & Riba Rovira, M. (1996). Ecología: individuos, poblaciones y comunidades. Ediciones Omega. Recuperado a partir de <http://www.ediciones-omega.es/ecologia/48-ecologia-978-84-282-1152-9.html>.

Brown, S. (1997). Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: A Primer. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Dixon, R. K., Solomon, A. M., Brown, S., Houghton, R. A., Trexler, M. C., & Wisniewski, J. (1994). Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. Science (New York, N.Y.), 262(5134), 725-6. <https://doi.org/10.1126/science.262.5134.725>.

Klinge, H., & Herrera, R. (1983). Phytomass structure of natural plant communities on spodosols in southern Venezuela: The tall Amazon Caatinga forest. Vegetatio, 53(2), 65-84. <https://doi.org/10.1007/BF00043025>.

Ministerio del Ambiente. (2012). Proceso metodológico para el desarrollo de modelos alométricos para especies, Grupo de especies y estratos de bosques del Ecuador.

Mireles, M., Carrillo, F., & Díaz, M. (2008). Determinación del carbono total en bosques mixtos de *Pinus patula* Schl. et Cham. Revista Terra Latinoamericana. 27:105-114.

Pérez Cordero, L., & Kanninen, M. (2003). Heartwood, sapwood and bark content, and wood dry density of young and mature teak (*Tectona grandis*) trees grown in Costa Rica. Silva Fennica, 37(1). <https://doi.org/10.14214/sf.511>

Segura, M. (1997). Valoración del servicio de fijación y almacenamiento de carbono en bosques privados en el área de conservación cordillera volcánica central. Universidad Nacional. Heredia (Costa Rica).

Segura, M., & Kanninen, M. (2005). Allometric models for tree volume and total aboveground biomass in a tropical humid forest in Costa Rica. Biotropica, 37(1), 2-8. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2005.02027.x>

# Fabricación de material biodegradable a base de polímeros termoplásticos combinados con fibras cortas de lino

## Manufacture of biodegradable material based on thermoplastic polymers combined with short flax fibers

DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.1402>



### Calderón Freire Edisson

Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo de la Facultad de Mecánica, carrera de Mantenimiento Industrial. edisson.calderon@esPOCH.edu.ec



### Torres Gallegos Luis

Docente ocasional Universidad Central del Ecuador – Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemáticas – Carrera de Diseño Industrial istoryresg@uce.edu.ec



### Ortega Espín Andrés

Docente del Instituto Tecnológico Superior Central Técnico, Carrera de Mecánica Industrial aortega@institutos.gob.ec

## RESUMEN

El presente estudio analiza las características y los parámetros necesarios para la fabricación de un material compuesto biodegradable mediante los procesos de extrusión, trituración e inyección con el fin de optimizar las propiedades mecánicas del material compuesto obtenido. Los polímeros termoplásticos utilizados como matriz polimérica son el ácido poli láctico (PLA), el Poli (3-hidroxi butirato-co-3-hidroxi valerato)-(PHBV) y un termoplástico con base de almidón. Así también, se utilizó fibra corta de lino, como refuerzo, con una longitud inferior a 3mm de longitud. El proceso de obtención del material compuesto inicia con la transformación de la mezcla de biopolímero combinado con fibra de lino, en una extrusora de doble tornillo para termoplásticos, donde se obtiene un filamento de material bio-compuesto, el cual es triturado para obtener material granulado o pellets; el siguiente proceso ha sido transformar los pellets del material compuesto, mediante inyección, en chapas rectangulares con dimensiones de 180 x 200 mm y espesor de 2.5 mm. Para procesar el material en el husillo de mezclado de la extrusora, se debe mantener la temperatura de fusión del material de acuerdo al estudio realizado en los ensayos de calorimetría diferencial de barrido. La calorimetría diferencial de barrido (DSC), muestra un rango de temperaturas donde se presenta picos de flujo de calor, este ensayo consiste en elevar la temperatura progresivamente del material y comparar los procesos exotérmicos o endotérmicos presentes en el material, con este ensayo se obtienen las temperaturas de transición vítrea, de fusión y degradación de la matriz termoplástica, los valores adecuados de manipulación fueron: PLA (167,16°C), PHBV (178,62°C) y Compuesto de almidón (142,71°C), se determinan los parámetros de temperatura y presión de inyección, estas variables son esenciales para garantizar la fabricación de las diferentes muestras de material compuesto y en etapas posteriores se realizan ensayos destructivos para examinar el resultado en las propiedades mecánicas del material compuesto biodegradable.

**PALABRAS CLAVE:** PLA; PHBV; extrusión; inyección; biocompuesto.

## ABSTRACT

*The present study analyzes the characteristics and the parameters necessary for the manufacture of a biodegradable composite material through the processes of extrusion, crushing and injection in order to optimize the mechanical properties of the composite material obtained. The thermoplastic polymers used as polymer matrix are polylactic acid (PLA), Poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) - (PHBV) and a thermoplastic with starch base. Also, short flax fiber was used as reinforcement, with a length less than 3mm in length. The process of obtaining the composite material begins with the transformation of the biopolymer mixture combined with flax fiber, in a twin screw extruder for thermoplastics, where a filament of bio-composite material is obtained, which is crushed to obtain granulated material or pellets; the next process has been to transform the pellets of the composite material, by injection, into rectangular sheets with dimensions of 180 x 200 mm and thickness of 2.5 mm. To process the material in the mixing screw of the extruder, the melting temperature of the material must be maintained according to the study carried out in the differential scanning calorimetry tests. The differential scanning calorimetry (DSC), shows a range of temperatures where heat flow peaks occur, this test consists in progressively raising the temperature of the material and comparing the exothermic or endothermic processes present in the material, with this test they are obtained the glass transition, melting and degradation temperatures of the thermoplastic matrix, the appropriate handling values were: PLA (167.16 ° C), PHBV*



(178.62 °C) and Starch Compound (142.71 °C), the parameters of temperature and pressure of injection are determined, these variables are essential to guarantee the manufacture of the different samples of composite material and in later stages destructive tests are carried out to examine the result in the mechanical properties of the biodegradable composite material

**KEYWORDS:** PLA; PHBV; extrusion; injection; biocomposite.

## INTRODUCCIÓN

El uso de materiales compuestos convencionales reforzados con fibra de vidrio ha sido recientemente discutido críticamente debido a la creciente conciencia ambiental. Por lo tanto, los esfuerzos recientes de investigación y desarrollo han llevado a nuevos productos basados en recursos naturales. Algunos de estos son polímeros biodegradables como PLA (ácido poliláctico), ésteres de celulosa, polihidroxicarbonos y polímeros de almidón. Además, los polímeros reforzados con fibra natural hechos con fibras naturales como las fibras de lino, cáñamo, kenaf, yute o algodón son importantes logros en investigación y desarrollo (I&D). Los compuestos hechos de fibras naturales y biopolímeros son completamente biodegradables y se denominan “compuestos verdes” debido a sus propiedades beneficiosas para el medio ambiente. (B. Bax 2008).

Los “bioplásticos” se denominan a los materiales plásticos biodegradables que tienen su origen en materias orgánicas provenientes de fuentes renovables. Los cuales se degradan por la acción de los microorganismos.

El desarrollo de materiales compuestos con matriz polimérica biodegradable y fibras de origen natural ha sido objeto de investigación en aplicaciones industriales en los últimos años. (Varvani-Farahani, 2010). La conciencia ambiental, las legislaciones y el uso racional del recurso, implica la sustitución gradual de materiales poliméricos sintéticos a base de petróleo, por materiales compuestos sostenibles. (Senthilkumar et al., 2018) Los materiales compuestos de matriz polimérica degradable, con fibras naturales a partir de fuentes renovables han demostrado buenas propiedades mecánicas y se destacan como una alternativa en la industria manufacturera. (Porrás, Marañón y Ashcroft, 2016) (Oksman, Skrifvars y Selin, 2003)

Los procedimientos de fabricación de materiales compuestos son muy diversos, dando como resultado un material completamente nuevo, con propiedades distintas al relacionarlas entre la fibra y la matriz. (Chang y Lees, 1988) El proceso de extrusión, una forma de conformar el material compuesto, permite el aumento en la distribución de las partículas fibrosas, al combinar el material termoplástico con las fibras naturales de tamaño reducido. (Gaska et al., 2017)

Existe un enorme potencial de los materiales compuestos biodegradables, y cada vez son más accesibles los materiales poliméricos de origen natural, esta diversidad de polímeros renovables: por ejemplo, el PLA, PHBV, polímeros en base de almidón y lignina, han demostrado ventajas de compostabilidad y degradabilidad (Armentano et al., 2015), además tienen muchas aplicaciones y métodos de procesabilidad.

El PLA se produce a partir del ácido láctico a través de la fermentación de productos agrícolas como el maíz, arroz, papa, caña de azúcar, desechos agrícolas. El PLA se puede preparar tanto por condensación directa de ácido láctico como por polimerización, como se muestra en la Figura 1.

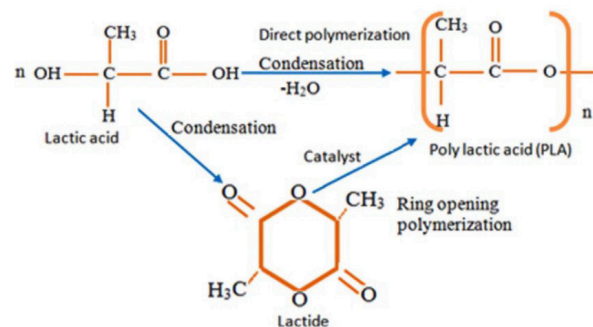


Figura 1. Proceso de polimerización del PLA. (P. K. Bajpai, I. Singh, and J. Madaan, 2014)

El poli (hidroxibutirato-co-hidroxivalerato) (PHBV) es un ejemplo típico de PHA, que es producido por bacterias de materias primas agrícolas y tiene buena biodegradabilidad, biocompatibilidad y termoplaticidad. La estructura química de PHBV se muestra en la Fig. 2. Las propiedades físicas de PHBV varían con el aumento del contenido de hidroxivalerato (HV), que puede controlarse mediante la fuente de carbono suministrada en la biosíntesis.

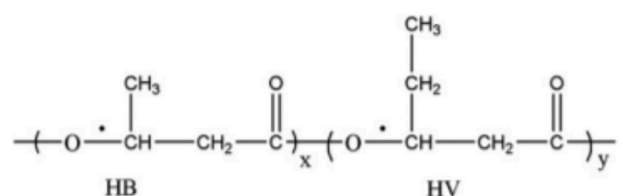


Figura 2. Estructura química del PHBV. (Y. Weng, Y. Wang, X. Wang, and Y. Wang, 2016)

La fibra de origen celulósico, presente en un material compuesto, mejora notablemente las propiedades

mecánicas de la matriz, actuando como agentes de nucleación debido a su forma heterogénea. (Arias et al., 2017) De la misma manera existe una gran variedad de fibras provenientes de fuentes renovables con bajo impacto ambiental, menor peso y buenas propiedades mecánicas como por ejemplo el lino, yute, abacá. (Yan, Chouw y Jayaraman, 2014)

Generalmente los porcentajes de elementos que sirven como la parte fibrosa del material compuesto son muy variadas, como cascaras de almendras incluidas en el refuerzo del mismo (Quiles-Carrillo et al. 2018), o el efecto del contenido de bambú en las propiedades mecánicas de material compuesto (Qian et al. 2018), sin embargo las posibilidades son inmensas y lo más importante es realizar un correcto procesamiento del material de refuerzo para poder conseguir buenas cualidades (da Silva Moura et al. 2019).

### METODOLOGÍA

Esta investigación pretende evaluar el comportamiento de biopolímeros, con refuerzo de fibra, con el proceso de extrusión, trituración e inyección, con el fin de optimizar las propiedades mecánicas de los composites obtenidos. Para ello se ha seleccionado como matriz varios polímeros termoplásticos degradables que serán reforzados con fibra de lino, con diferentes concentraciones, usando un método de fabricación por extrusión para obtener pellets.

Los materiales poliméricos utilizados se importaron, tienen buenas propiedades, y de acuerdo a sus características presenta buenas condiciones térmicas, todos estos materiales pueden ser utilizados en el proceso de inyección. (Tabla 1) Para comprobar las temperaturas de fusión y mejorar la procesabilidad del mismo se realizan ensayos térmicos que comprueben lo planteado por los fabricantes, principalmente se realiza la calorimetría diferencial de barrido (DSC). (PerkinElmer y Inc, 2013).

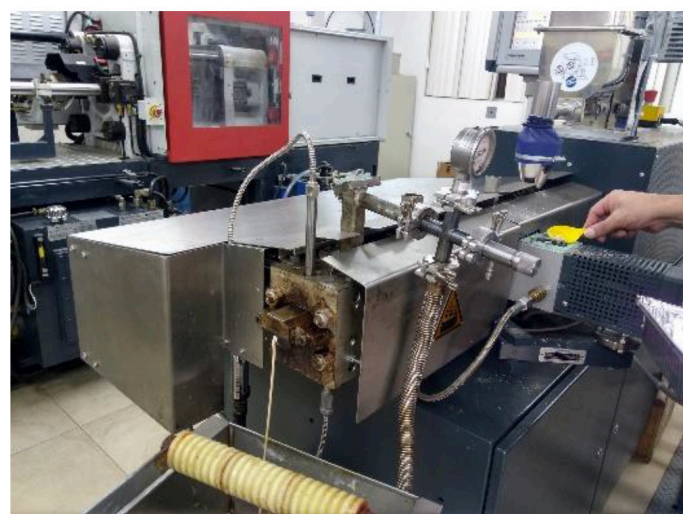
**Tabla 1. Materiales utilizado en la investigación**

Nombre comercial	Material	Temperatura de transición vítrea (°C)
BIO-FLEX F9533	PLA	63
ENMAT Y3000P	PHBV	166
SOLANYL C1201	Biopolymer Blend	55-60

La fabricación de la placa base de biopolímero comprende varios procesos: extrusión, peletizado e inyección del material biocompuesto. El proceso de extrusión combina el material biopolímero (PLA, PHBV) con fibras de origen natural (lino) para obtener un filamento de material compuesto. La proporción del refuerzo fibroso es del 10 y 20% en peso. Los pellets de biopolímero (PLA, PHBV, Termoplástico con base de almidón) se alimentan en la tolva de la extrusora y se combina con la fibra de lino cortada en segmentos de 2-3 mm. El material fibroso se introduce de manera continua en una tolva auxiliar, dosificado manualmente durante la totalidad del proceso de extrusión (Fig. 1). La Fig. 3 muestra la etapa final de proceso de extrusión y la solidificación completa del filamento de material compuesto.



**Figura 3. Proceso de Extrusión del biomaterial en máquina de extrusión de doble tornillo para termoplásticos de marca Coperion-serie ZSK18ML**



**Figura 4. Obtención de filamento biocompuesto en extrusora de doble tornillo para termoplásticos de marca Coperion-serie ZSK18ML**

El peletizado del material compuesto consiste en la fragmentación del filamento en la máquina trituradora, se obtienen partículas pequeñas del tipo granza. (Fig. 5). El material compuesto peletizado es

inyectado para obtener placas de 180x200 mm con un espesor de 2,3 mm. La unidad de plastificación calienta el biocompuesto hasta su temperatura de fusión para finalmente, ser introducido al molde con la geometría deseada (Fig. 4).

sumistrado por Tianan Biologic Material Co. en forma de granza (ENMAT Y1000P). Compuesto con base de almidón termoplástico y/o ácido láctico y/o copolímeros, producido por Rodenburg Biopolymers, en forma de granza (Solanyl C1201), son utilizados como matriz polimérica. Así también se usó fibra corta de lino inferior a 3mm de longitud, como refuerzo para obtener el material compuesto biodegradable, la carga se la realizó al 10% y 20% en peso.

La Escuela Politécnica Nacional y el laboratorio de nuevos materiales de la facultad de Ingeniería Mecánica, facilitaron la utilización del equipo para realizar el ensayo térmico denominado Calorimetría Diferencial de Barrido, de sus siglas en inglés DSC (Fig. 5, 6, 7). Estos diagramas permiten visualizar las temperaturas óptimas para procesar el material polimérico.



Figura 5. Obtención de granza, máquina de peletizado K-tron Colormax Systems



Figura 6. Proceso de Inyección del biomaterial. Máquina de inyección NISSEI

## RESULTADOS

### Material

Los resultados de los materiales utilizados se RESUMEN en la siguiente descripción: Ácido poliláctico (PLA), producido por FKUR Kunststoff GmbH, en forma de granza (Bio-Flex F9533). Poli (hidroxibutirato-co-hidroxivalerato) (PHBV),

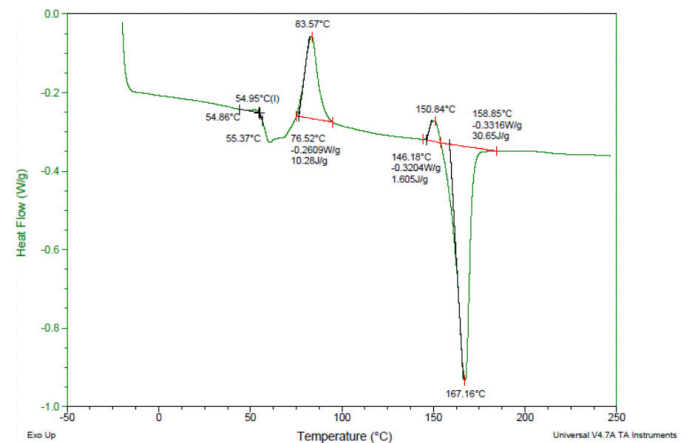


Figura 7. Ensayo DSC BIOFLEX F9533.

Fig.7 Representa las transiciones térmicas de los polímeros que se dan cuando el material es calentado, por ejemplo la temperatura de fusión y de transición vítrea . Equipo DSC Q2000 método Zafiro.

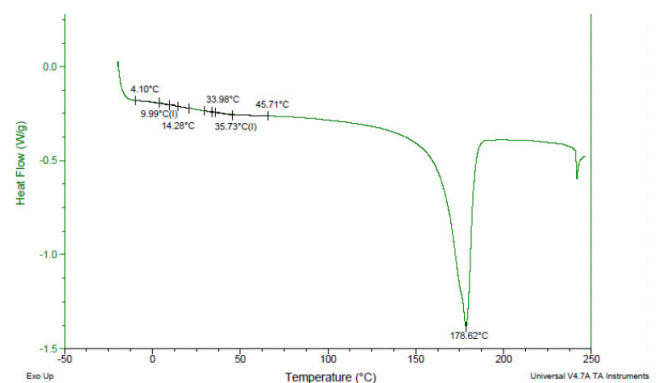


Figura 8. Ensayo DSC ENMAT Y3000P-2

Fig 8. Representa las transiciones térmicas de los polímeros que se dan cuando el material es calentado, por ejemplo la temperatura de fusión

y de transición vítrea. Equipo DSC Q2000 método Zafiro

Figura 9. Ensayo DSC SOLANYL C1201, representa las transiciones térmicas de los polímeros que se dan cuando el material es calentado, por ejemplo la temperatura de fusión y de transición vítrea. Equipo DSC Q2000 método Zafiro

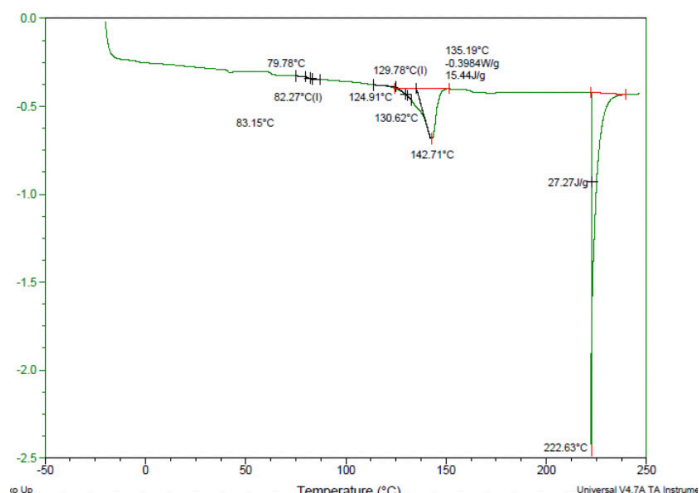


Figura 9. Ensayo DSC SOLANYL C1201

El DSC muestra un rango de temperaturas donde se presentan picos de flujo de calor que indican fenómenos endotérmicos, necesarios para poder fundir el material polimérico. De esta manera las temperaturas resultantes, para lograr procesar el material son: BIOFLEX F9533 (167,16°C), ENMAT Y3000P (178,62°C) y SOLANYL C1201 (142,71°C).

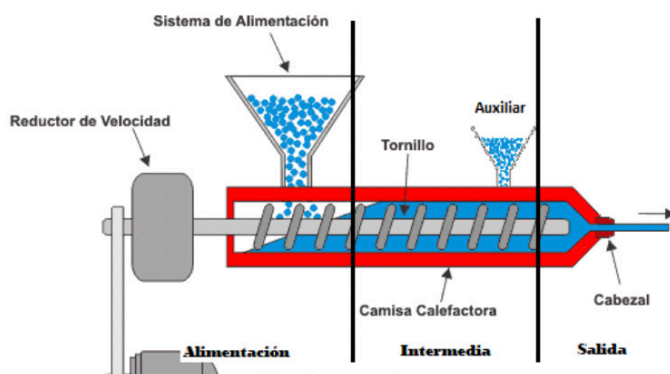


Figura 10. Esquema del proceso de extrusión (Guerrero y Luis, 2018)

La tabla 2 presenta los valores de presión y temperatura recomendables para un correcto procedimiento de extrusión de estos materiales. Existen tres zonas donde se debe considerar la temperatura, en la entrada donde se alimenta el material (A), la parte intermedia de la camisa calefactora (I) y la boquilla de salida (S). La presión es controlada a medida que se alimenta el material fibroso y se recomienda no exceder un máximo de 30 bar.

Tabla 2. Parámetros del proceso de extrusión

Material	Extrusión			Presión (Bar)
	Temp. (°C)			
	A	I	S	
PLA + 10% LINO	172	173	175	19
PLA + 20% LINO	173	175	176	23
PHBV + 10% LINO	178	179	181	21
PHBV + 20% LINO	179	180	183	22
Blend + 10% LINO	176	177	179	18
Blend + 20% LINO	178	180	181	21

El biopolímero y la fibra natural atraviesan la boquilla de extrusión, que luego se tritura y se obtienen pellets. Esta grana o pellets, sirven como material pre conformado, posteriormente se le atribuye una geometría definida mediante el proceso de inyección. La máquina de inyección usada es de marca NISSEI modelo NS-60 de 185 MPa de presión, se colca un molde de acero, donde se inyecta el material compuesto, para finalmente obtener chapas o láminas. Mediante el proceso de extrusión las fibras se orientan de manera aleatoria con la matriz termoplástica, se mejoran las propiedades mecánicas y se refuerza el material base. El proceso de inyección, permite definir la forma a obtener y presenta un producto final con buenas características. (Fig. 11)

PROCESO

Las chapas de material compuesto fueron fabricadas mediante extrusión e inyección. Para la obtención del material granulado o pellets de material compuesto se utiliza una extrusora de doble tornillo para termoplásticos de marca Coperion y serie ZSK18ML con potencia de 30 hp, con gran capacidad para mezclas, las fibras de refuerzo fueron alimentadas con fibras cortas por medio de una tolva, lo que permite una distribución homogénea de los materiales. Antes de alimentar el termoplástico y la fibra, se realiza el secado de los mismos en un horno de convección a 70°C, para evitar la acumulación de material en el tornillo que gira dentro de la cámara calefactora. (Fig. 10)

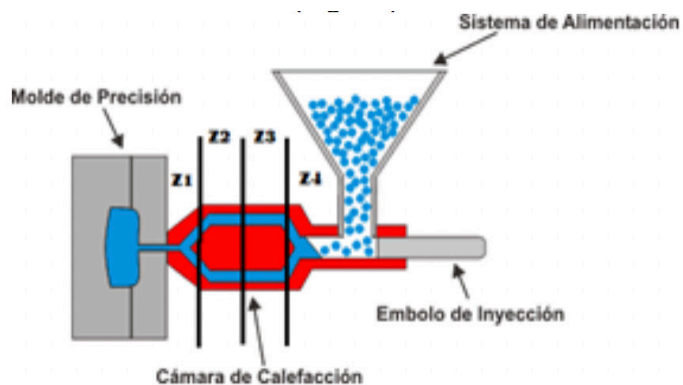


Figura 11. Esquema del proceso de inyección (Guerrero y Luis, 2018)

La tabla 3 presenta los valores de presión y temperatura recomendables para un correcto procedimiento de inyección con materiales biodegradables con porcentajes de carga definidos. Existen cuatro zonas donde se debe considerar la temperatura, la boquilla de inyección (Z1), Zona intermedia de alta temperatura (Z2), zona intermedia de baja temperatura (Z3), y en el área de alimentación (Z4).

Tabla 3. Parámetros del proceso de inyección

Material	Inyección				Presión (%)
	Temp. (°C)				
	Z1	Z2	Z3	Z4	
PLA + 10% LINO	180	180	175	175	40
PLA + 20% LINO	183	183	178	177	40
PHBV + 10% LINO	190	190	185	185	40
PHBV + 20% LINO	193	193	188	188	40

La presión está definida por la máquina inyectora y se establece en porcentaje, el valor recomendable es de 40%, para evitar que el material se degrade y que la pieza obtenida, en este caso placas rectangulares, no contengan defectos.

## CONCLUSIONES

Es necesario reducir el tamaño de la fibra para poder procesar el material, en el husillo de mezclado de la extrusora el tamaño promedio de la fibra debe ser de 3 mm de longitud y mantener la temperatura de fusión del material de acuerdo a lo obtenido en los ensayos de calorimetría diferencial de barrido: BIOFLEX F9533 (167,16°C), ENMAT Y3000P (178,62°C) y SOLANYL C1201 (142,71°C), aunque

no todos los materiales pudieron ser procesados, mediante la inyección, se encontraron parámetros esenciales para conformar el material.

En el país la conciencia sobre el uso responsable de los recursos renovables y no renovables, ha sido un tema bastante conflictivo, debido a que no existe una legislación rigurosa sobre la manipulación de este tipo de materiales, sin embargo, esta investigación proporciona parámetros fundamentales para el procesamiento de estos recursos, estos procesos se fundamentan en técnicas modernas para manipular los materiales poliméricos y que son las nuevas líneas de tendencia, en lo que concierne al estudio de materiales biocompuestos. El siguiente trabajo es la caracterización de los materiales obtenidos.

Finalmente, este proceso de obtención del material tiene una finalidad ambiciosa, donde el producto obtenido, sirva para analizar las características necesarias en el proceso de conformado incremental y proveer un prefabricado eficiente y amigable con el medio ambiente. Una vez obtenidos los pellets o granza de material compuesto, estos pueden ser alimentadas en la tolva de una máquina inyectora de termoplástico, y mediante proceso de inyección se puede obtener el producto deseado. De acuerdo a las propiedades obtenidas del material compuestos estos pueden ser usados en aplicaciones médicas, agrícolas, del sector automotriz, productos de hogar, entre otras.

## REFERENCIAS

- Arias, A. et al. (2017). Rheological study of crystallization behavior of polylactide and its flax fiber composites, *Journal of Polymer Research*, 24(3), p. 46. doi: 10.1007/s10965-017-1210-y.
- Armentano, I. et al. (2015) Processing and characterization of plasticized PLA/PHB blends for biodegradable multiphase systems, *Express Polymer Letters*, 9 (7), pp. 583-596. doi: 10.3144/expresspolymlett.2015.55.
- Bajpai, P. K.; Singh, I. and Madaan, J. (2014). Development and characterization of PLA-based green composites: A review, *J. Thermoplast. Compos. Mater.*, vol. 27, no. 1, pp. 52–81.
- Bax, B.(2008). Science And Impact and tensile properties of PLA / Cordenka and PLA / flax

composites, vol. 68, pp. 1601–1607.

Chang, I. Y. & Lees, J. K. (1988). Recent development in thermoplastic composites: a review of matrix systems and processing methods, *Journal of thermoplastic composite materials*. Sage Publications Sage CA: Thousand Oaks, CA, 1(3), pp. 277-296.

Da Silva Moura, A., Demori, R., Leão, R.M., Crescente Frankenberg, C.L. y Campomanes Santana, R.M., (2019). The influence of the coconut fiber treated as reinforcement in PHB (polyhydroxybutyrate) composites. *Materials Today Communications*, vol. 18, pp. 191-198. ISSN 2352-4928. DOI <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2018.12.006>.

Gaska, K. et al. (2017). Electrical, mechanical, and thermal properties of LDPE graphene nanoplatelets composites produced by means of melt extrusion process, *Polymers. Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, 9(1), p. 11.

Guerrero, S. y Luis, J. (2018). Experimentación de los plásticos HDPE y PP reciclados como materia prima para la generación de mobiliario. Universidad del Azuay.

Oksman, K., Skrifvars, M. y Selin, J. F. (2003). Natural fibres as reinforcement in polylactic acid (PLA) composites, *Composites Science and Technology*, 63(9), pp. 1317-1324. doi: 10.1016/S0266-3538(03)00103-9.

Perkin, E. y Inc (2013). Differential Scanning Calorimetry (DSC) PerkinElmer's DSC Family A Beginner's Guide, FAQ. doi: 10.1002/9780470423837.

Porras, A., Maranon, A. y Ashcroft, I. A. (2016). Thermo-mechanical characterization of *Manicaria Saccifera* natural fabric reinforced poly-lactic acid composite lamina, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. Elsevier Ltd, 81, pp. 105-110. doi: 10.1016/j.compositesa.2015.11.008.

Qian, S., Zhang, H., Yao, W. Y Sheng, K., (2018). Effects of bamboo cellulose nanowhisker content on the morphology, crystallization, mechanical, and thermal properties of PLA matrix biocomposites. *Composites Part B: Engineering*, vol. 133, pp. 203-

209. ISSN 1359-8368. DOI <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.09.040>.

Quiles-Carrillo, L., Montanes, N., García-García, D., Carbonell-Verdu, A., Balart, R. Y Torres-Giner, S., (2018). Effect of different compatibilizers on injection-molded green composite pieces based on polylactide filled with almond shell flour. *Composites Part B: Engineering*, vol. 147, pp. 76-85. ISSN 1359-8368. DOI <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.04.017>.

Senthilkumar, K. et al. (2018) Mechanical properties evaluation of sisal fibre reinforced polymer composites: A review, *Construction and Building Materials*, 174, pp. 713- 729. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.143>.

Varvani-Farahani, A. (2010). Composite materials: Characterization, fabrication and application-research challenges and directions, *Applied Composite Materials*, 17(2), pp. 63-67. doi: 10.1007/s10443-009-9107-5.

Weng, Y.; Wang, Y.; Wang, X. and Wang, Y. (2016). Biodegradation behavior of PHBV films in a pilot-scale composting condition Biodegradation behavior of PHBV films in a pilot-scale composting condition, *Polym. Test.*, vol. 29, no. 5, pp. 579–587.

Yan, L., Chouw, N. y Jayaraman, K. (2014). Flax fibre and its composites - A review, *Composites Part B: Engineering*. Elsevier Ltd, 56(November 2017), pp. 296-317. doi: 10.1016/j.compositesb.2013.08.014 .

# Incidencia del gasto tributario del Impuesto Ambiental a la contaminación vehicular en el PIB del Ecuador, durante el período 2015-2017

Impact of the tax expenditure of environmental tax for vehicular pollution in the GDP of Ecuador, during the period 2015-2017

DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v11i.1795>



**Páez Egüez Juan Carlos**  
Docente en las Carreras de Administración de Empresas y Pública  
Universidad Central del Ecuador.  
jcpaez@uce.edu.ec



**Recalde Rodríguez María Fernanda**  
Docente de la Carrera de Administración de Empresas y Coordinadora del Aseguramiento de la Calidad de la Carrera de Administración de Empresas  
Universidad Central del Ecuador.  
frecalde@uce.edu.ec

## RESUMEN

El objetivo del presente artículo es determinar la pérdida de ingresos mediante la estimación del gasto tributario en lo correspondiente al impuesto ambiental por la contaminación vehicular y su incidencia que tiene en el PIB del Ecuador durante el periodo 2015-2017. El método utilizado es una investigación descriptiva fundamentado en cifras del período antes mencionado, de igual manera y tomando en consideración que se trata de una investigación exploratoria, se basará en la participación que tiene este rubro en el PIB, utilizando los micro datos disponibles en varias bases estadísticas del Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) así como del Servicio de Rentas Internas (SRI). Luego se procede a realizar un análisis relacional de la representación del IACV con relación al Gasto Total otros Impuestos y por último se concluye y analiza con la cuantificación de este rubro que por este concepto no se contribuye al PIB de Ecuador.

**PALABRAS CLAVE:** *impuesto ambiental; contaminación vehicular; gasto tributario; exoneración; base imponible.*

## ABSTRACT

*The goal of this article is to determine the loss of income through the estimate of the expenses of the tax expenditure corresponding the Environmental Tax for the Vehicular Pollution and its impact in the GDP of Ecuador during the period 2015-2017. The method used is a descriptive investigation based on numbers for the period afore mentioned, like this, taking into account the fact that this is an exploratory research, it is going to be based on the participation of this sector in the GDP, using the micro data available in many Statistic Databases of the Ministry of Economy and Finance (MEF) as well as in the Internal Revenue Service (IRS). After that, we proceed to do a relational analysis of the representation of the ETVP regarding the Total Expense other Taxes, and finally it is concluded and analyzed with the quantification of this sector that in this concept it is not attributed to the GDP of Ecuador.*

**KEYWORDS:** *environmental tax; vehicular pollution; tax expenditure; exoneration; tax base.*

## INTRODUCCIÓN

Al analizar los planteamientos de la economía ambiental, que no es más que la respuesta del paradigma neoclásico vigente donde se determina la necesidad de sumar los servicios proporcionados por los ecosistemas a las decisiones económicas y al diseño de políticas, donde su principal objetivo es asignar un valor monetario al impacto de los procesos productivos y de consumo en la naturaleza, así como a los bienes y servicios que ella presta,

de tal forma que los agentes económicos puedan incorporar esta información en sus decisiones

El Estado debe unir una política ambiental que sea reguladora y transversal y los instrumentos fiscales; cuya fusión puede contribuir en la consecución de los objetivos ambientales, sin dejar de lado los propios objetivos de la fiscalidad, en especial, el de redistribución, es así que uno de los principales mecanismos de intervención del Estado en la economía es la política fiscal ofreciendo

herramientas que se han probado ser efectivas para alcanzar algunos objetivos medioambientales.

La política fiscal tradicionalmente tiene 3 roles: asignación, distribución y estabilización; la fiscalidad ambiental añade a éstos un objetivo más: la penalización (motivación) de ciertas conductas con el fin de coadyuvar a la política ambiental. (Musgrave, 1978).

Para realizar este trabajo se tomó como punto de referencia el periodo 2015-2017 donde se utilizan los datos obtenidos en las estadísticas multidimensionales puestas a disposición por la Administración Tributaria del país. En primer lugar, se encuentra el Impuesto Ambiental a la Contaminación Vehicular, luego el Gasto Tributario otros Impuestos y la recaudación total del Ecuador en lo que corresponde a IACV.

## METODOLOGÍA

Para realización de este artículo se utilizará estadística descriptiva fundamentándose en cifras del período 2015 - 2017, de igual manera y tomando en considerando que se trata de una investigación exploratoria, se basará en la participación que tiene este rubro en el PIB; de igual manera se procura demostrar la pérdida de ingresos que se lo entiende como el monto de ingresos tributarios que deja de percibir el Estado a causa de la existencia de una disposición particular que establece un incentivo o beneficio.

La información utilizada en la investigación corresponde a los micro datos disponibles en varias bases estadísticas del Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) así como del Servicio de Rentas Internas (SRI).

## DESARROLLO

El ingreso nacional es vital, en este sentido el Estado debe conseguir los ingresos necesarios para pagar sus bienes públicos y financiar sus programas de redistribución de los ingresos. Estos últimos provienen de impuestos sobre los ingresos personales y empresariales, sobre los salarios, sobre las ventas de bienes de consumo y sobre otros artículos. Todos los niveles gubernamentales (federal, estatal y local) deben recaudar impuestos para cubrir sus gastos” (William, 2012, p. 24).

Por tanto en este contexto se encuentra la disponibilidad a pagar que según indica Kommer (2011). “La disposición a pagar (DAP) es un concepto usado en microeconomía y teoría económica para expresar la cantidad máxima que pagaría un consumidor por adquirir un determinado bien, o un usuario para disponer de un determinado servicio”.

Es lo que se conoce como la tragedia de los comunes (Hardin, 1968), si bien el enfoque institucional de Ostrom (1990) permite explicar que la disponibilidad a cooperar en el sostenimiento de bienes públicos depende de mecanismos institucionales que hacen viable la cooperación en el largo plazo en contextos en los que es posible la interacción directa entre individuos. (Rosales, Carmen, 2015).

En este sentido se presentan impuestos y eficiencia económica que se pueden distinguir aquellos aspectos relacionados con el tamaño o nivel de la economía y aquellos relacionados con la tasa de crecimiento de ésta (o el efecto dinámico de los impuestos). Así, un impuesto puede reducir el nivel agregado de producto pero no su tasa de crecimiento. La mayor parte de la literatura especializada se ha concentrado en analizar el primer aspecto y hay cierto consenso en términos de política económica sobre diferentes variables económicas. (López, 2000, p. 126).

Los impuestos selectivos al consumo o impuestos a consumos especiales, gravan determinados productos en forma particular, y pueden ser vistos o justificados como impuestos Pigouvianos. Un argumento para estos impuestos es, por lo tanto, penalizar el consumo de determinados productos que generan un daño al resto de los habitantes de un país.

De esta manera se presenta el impuesto correctivo ambiental que implica, por un lado, nada menos que crear e insertar en el sistema de precios los costos asociados a la contaminación y al deterioro de los ecosistemas, información que por lo general el mercado falla en generar de manera espontánea o automática. (Cuadri, Gabriel, 2016).

La economía ambiental es una sub disciplina de conocimiento que busca analizar los efectos ambientales adversos de los procesos de producción y consumo de bienes y servicios y propone instrumentos económicos para la prevención y el tratamiento de los impactos sobre el medio ambiente.

### Impuesto ambiental a la contaminación vehicular (IACV)

El Estado para atenuar los fallos del mercado utiliza los impuestos ambientales como una herramienta de la política fiscal; es así que la implementación de este tipo de contribuciones como regulador de los efectos externos se debe a que los costos sociales ocasionados por la emisión de gases contaminantes originados por la combustión energética, generalmente no suelen ser soportados por los individuos que los producen, formando de esta manera un fallo del mercado que requiere de la intervención del Estado para su regularización. Dentro de este tipo de externalidades





se destaca las de naturaleza ambiental y en especial las vinculadas con el sector del transporte.

Los gases que emiten los automóviles son los causantes de un efecto colateral negativo, porque originan un humo que tienen que respirar otras personas. Los automovilistas no tienen en cuenta esa externalidad por lo que tienden a utilizar demasiado el automóvil. Los gobernantes intentan resolver este problema fijando unos niveles de emisión para los automóviles. También gravan la gasolina y la propiedad de los vehículos con el fin de reducir el uso del automóvil. (Mankiw Gregory, 2017, pág. 293).

Según Arthur Cecil Pigou (1877-1959), quien es considerado como el fundador de la Economía de Bienestar y principal precursor del movimiento ecologista al establecer la distinción entre costes marginales privados y sociales, además de abogar por la intervención del Estado mediante subsidios e impuestos para corregir los fallos del mercado e internalizar los efectos externos; es así que Pigou dice que para solucionar una problemática ambiental ocasionada por externalidades se lo puede hacer mediante la intervención del Estado con la implementación de impuestos que permita normar estos efectos externos de la economía.

Es así que la teoría pigoviana mencionada anteriormente da lugar a la aplicación del principio "El que Contamina Paga", cuya teoría fue adoptado por primera vez en 1972 por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y aplicándose la teoría de COASE, cuyo postulado básicamente es que los responsables de contaminar deben pagar el costo de las medidas necesarias para evitar o reducir esa contaminación de manera de cumplir con las normas y medidas de calidad ambiental. La fundamentación de este principio es que el aprovechamiento de los bienes comunes como bienes libres desde el punto de vista de su utilización, y gratuitos en cuanto a su costo de uso o explotación, ha conducido a un creciente deterioro de la calidad del medio ambiente.

El incremento en el parque automotriz no solo ocasiona graves problemas de embotellamientos y alteraciones en el tráfico, sino que por los considerables porcentajes de emisión de CO<sup>2</sup> altera la calidad del medio ambiente no solo en las principales ciudades del país sino también en ciudades del interior, teniendo un alto índice de probabilidad de causar efectos perjudiciales tanto en la salud, así como en los hábitats.

El gobierno del Ecuador con el fin de proteger la naturaleza y a sus habitantes, ha tomado medidas regulatorias y dentro de estas los impuestos ambientales que son otras medidas regulatorias

se presentan como una muy buena opción dentro de la política fiscal cuyo marco legal para motivar la implementación de impuestos ambientales, está determinado en el Art. 336 de la Constitución del Ecuador aprobado en el 2008, que estipula "El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos", ibídem el Art. 135 establece que "solo la presidenta o el presidente de la República podrá presentar proyectos de ley que creen, modifiquen o supriman impuestos, aumenten el gasto público o modifiquen la división político administrativa del país.

En la Constitución del 2008 se indica que la naturaleza tiene derecho a:

- Que se respete íntegramente su existencia y mantenimiento Art. 71
- La restauración Art. 72
- Que el Estado aplique medidas de restricción a actividades que atenten contra ella Art. 73
- Que los servicios ambientales no sean susceptibles de apropiación Art. 74

De conformidad con la Carta Magna del 2008, en el Art. 300 se indica que "El régimen tributario se regirá por los principios de generalidad, progresividad, eficiencia, simplicidad administrativa, irretroactividad, equidad, transparencia y suficiencia recaudatoria.

Se priorizarán los impuestos directos y progresivos. La política tributaria promoverá la redistribución y estimulará el empleo, la producción de bienes y servicios, y conductas ecológicas, sociales y económicas responsables."

El Plan para Toda una Vida 2017-2021, para las presentes y futuras generaciones contiene tres ejes y nueve objetivos; es un Plan corto, concreto y transparente, para que todos lo podamos comprender y utilizar; lo que motiva el diálogo sobre los grandes Objetivos Nacionales de Desarrollo; que se actualiza con los aportes ciudadanos; y que direcciona la gestión pública para el cumplimiento de los programas de gobierno y el logro de metas nacionales.

A fin de cumplir con lo anteriormente indicado, se debe superar los márgenes cuantitativos del economicismo; replantear el modelo de desarrollo y la estrategia económica y por último redefinir la relación entre la naturaleza y los seres humanos.

Es así que se crea la Ley de Fomento Ambiental y Optimización de los Ingresos del Estado, publicado en el Registro Oficial Suplemento 583 de 24-nov-2011, donde se crean tributos para mejorar las decisiones de consumo de la sociedad ecuatoriana, uno de ellos es el IMPUESTO AMBIENTAL A LA

CONTAMINACIÓN VEHICULAR (IACV) cuyo objetivo es reducir la contaminación del ambiente producida por el uso de vehículos motorizados de transporte terrestre, considerando que el hecho generador de este impuesto es la contaminación ambiental producida por los vehículos motorizados de transporte terrestre y se establecen el sujeto activo, sujeto pasivo, exoneraciones, base imponible, tarifa y ajustes (fórmula) aplicables en materia fiscal así como la metodología para la declaración de este impuesto.

### Sujeto Activo

Como sujeto activo de este impuesto es el Estado mediante la administración tributaria del Servicio de Rentas Internas.

### Sujeto Pasivo

Los sujetos pasivos de este impuesto son las personas naturales, jurídicas y sucesiones indivisas nacionales o extranjeras que sean propietarios de Vehículos motorizados de transportes terrestres.

### Exoneraciones

La Ley de fomento ambiental en su capítulo I determina 6 exenciones para la aplicación de este impuesto IACV:

- 1.-Quedan exonerados de este impuesto todos aquellos vehículos que pertenezcan a entidades del sector público.
- 2.-Vehículos destinados al a transportación pública, servicio de transporte escolar o taxis que cuenten con sus respectivos permisos de operación.
- 3.-Vehículos motorizados terrestres cuyo uso esté relacionado directamente con la actividad del contribuyente.
- 4.-Ambulancias y Hospitales móviles
- 5.-Vehículos Eléctricos
- 6.-Vehículos destinados para uso y traslado de personas con discapacidad.

### Base Imponible y Tarifa IACV

La base imponible para determinar este impuesto será el cilindraje de cada vehículo motorizado en particular, la autoridad de Rentas estableció diferentes escalas para la aplicación:

La fórmula para calcular el IACV es la siguiente:

$$IACV = [(b - 1500) t] (1+FA) \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

- \*b= Base imponible (cilindraje en centímetros cúbicos)
- \*t= Valor de imposición específica
- \*FA= Factor de ajuste

Tabla 1

No.	Tramo cilindraje Automóviles y motocicletas (b)*	- \$ / cc. (t)*
1	Menor a 1.500 cc	0.00
2	1.501 - 2.000 cc	0.08
3	2.001 - 2500 cc	0.09
4	2.501 - 3.000 cc	0.11
5	3.001 - 3.500 cc	0.12
6	3.501 - 4.000 cc	0.24
7	Más de 4.000 cc	0.35

Fuente: Base de datos del Servicio de Rentas Internas

Tabla 2

No.	Tramo de Antigüedad (años) - Factor (FA) Automóviles	
1	Menor a 5 años	0%
2	De 5 a 10 años	5%
3	De 11 a 15 años	10%
4	De 16 a 20 años	15%
5	Mayor a 20 años	20%
6	Híbridos	-20%

Fuente: Base de datos del Servicio de Rentas Internas

## GASTO TRIBUTARIO

### Concepto del gasto tributario

El gasto tributario constituye toda transferencia indirecta que el Estado realiza a determinados grupos o sectores económicos, efectuadas por medio de una reducción en la obligación tributaria del contribuyente; estos beneficios tributarios no corresponden a la normativa general aplicada al universo de los contribuyentes.

El concepto de gasto tributario fue utilizado por primera vez en 1967, por Stanley Surrey, entonces Secretario Asistente para Política Fiscal del Departamento del Tesoro de los Estados Unidos. Surrey remarcó que las deducciones, exenciones y otros beneficios concedidos en el impuesto a la renta no formaban parte de la estructura propia del mismo y constituían, en verdad, gastos gubernamentales realizados a través del sistema tributario en lugar de ser realizados directamente, a través del presupuesto. (Servicio de Rentas Internas (Proyecto Salto, 2002-2003), 2017)

De acuerdo a la doctrina tributaria internacional, las condiciones para que un concepto impositivo sea considerado como gasto tributario son las

siguientes:

- a) Desviarse de forma intencionada respecto a la estructura básica del tributo, entendiendo por ella la configuración estable que responde al hecho imponible que se pretende gravar.
- b) Ser un incentivo que, por razones de política fiscal, económica o social, se integre en el ordenamiento tributario y esté dirigido a un determinado colectivo de contribuyentes o a potenciar el desarrollo de una actividad económica concreta.
- c) Si existe la posibilidad legal de alterar el sistema fiscal para eliminar el beneficio fiscal o cambiar su definición.
- d) No presentarse compensación alguna del eventual beneficio fiscal en otra figura del sistema fiscal.
- e) No deberse a convenciones técnicas, contables, administrativas o ligadas a convenios fiscales internacionales.
- f) No tener como propósito la simplificación o la facilitación del cumplimiento de las obligaciones fiscales.

Los beneficios que el Estado puede brindar mediante este tipo de mecanismo son exenciones o bonificaciones que liberan total o parcialmente, permanente o temporalmente, el pago al que está obligado un contribuyente sobre determinado impuesto. Así se tiene (Servicio de Rentas Internas (Jorrat, 2003), 2018):

- 1.- Tasas preferenciales, las cuales reducen el gravamen efectivo en un determinado grupo de contribuyentes o actividad económica.
- 2.- Deducciones, las cuales equivalen a la ampliación de las exclusiones de la base imponible y la deducibilidad de gastos.
- 3.- Créditos impositivos, son una aceptación de determinados valores como anticipos de la liquidación de obligaciones tributarias.
- 4.- Diferimiento de pagos, los cuales posponen los ingresos al fisco, constituyendo financiamiento sin intereses.

Las exoneraciones tributarias son prácticas muy utilizadas a nivel mundial, tanto por países desarrollados como por países en desarrollo. La Conferencia de Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo ha encontrado evidencia de la existencia de algún tipo de incentivos fiscales en todas las regiones del mundo (United Nations, 2000). El fin de estos incentivos puede ser por ejemplo atenuar determinadas fallas de mercado, incentivar o estimular ciertos comportamientos en los agentes económicos, generar políticas económicas y sociales acordes al desarrollo propuesto por el gobierno. En este sentido, la evidencia internacional muestra que la formulación de políticas de incentivos

fiscales busca desarrollar aspectos como:

- Estimulo a las inversiones
- Fomentar las exportaciones
- Proteger desde el punto de vista fiscal, determinadas actividades económicas
- Mejorar la eficiencia en la asignación de los recursos. (Servicio de Rentas Internas (Proyecto Salto, 2002-2003), 2017)

De conformidad al Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas, en el capítulo 2 sobre el componente de ingresos, artículo 94 estipula lo siguiente:

**Art. 94.-** Renuncia de ingresos por gasto tributario.  
- Se entiende por gasto tributario los recursos que el Estado, en todos los niveles de gobierno, deja de percibir debido a la deducción, exención, entre otros mecanismos, de tributos directos o indirectos establecidos en la normativa correspondiente.

Para el gasto tributario de los ingresos nacionales, la administración tributaria nacional estimará y entregará al ente rector de las finanzas públicas, la cuantificación del mismo y constituirá un anexo de la proforma del Presupuesto General del Estado.

Anualmente la Administración Tributaria realiza la estimación de los gastos tributarios con la finalidad de contribuir a transparentar las finanzas públicas.

### **Categorización del gasto tributario**

Mediante el establecimiento de un criterio de clasificación se define los incentivos y beneficios que generan el gasto tributario en el Ecuador, esto se lo realizó sobre la base de la Ley de Régimen Tributario Interno (LRTI) y del Reglamento de Aplicación de la Ley de Régimen Tributario Interno (RALRTI). Además, se tomaron en cuenta otras leyes suplementarias a la norma tributaria, tales como: el Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversiones (COPCI), la Ley del Anciano, Ley de Turismo, Ley Orgánica de Solidaridad y de Corresponsabilidad Ciudadana para la Reconstrucción y Reactivación de las Zonas Afectadas por el Terremoto de 16 de abril de 2016 entre otras. (Servicio de Rentas Internas, 2017, pág. 5)

Cabe mencionar que el Gasto Tributario tiene los siguientes componentes y para el caso que nos ocupa únicamente nos enfocaremos en el Impuesto ambiental a la contaminación vehicular:

- Devolución del impuesto a las botellas plásticas
- Impuesto a la propiedad de vehículos motorizados
- Impuesto ambiental a la contaminación vehicular
- Exoneración Impuesto Salida de Divisas

Por lo expuesto, este trabajo busca analizar la aplicación del IACV y su pertinencia en determinar el porcentaje de afectación al PIB por la aplicación del Gasto Tributario en lo correspondiente a exoneración vehículos productivos, exoneración tercera edad y exoneración discapacitados que a continuación se detalla:

**a) Exoneración Vehículos Productivos**

Los vehículos directamente relacionados con la actividad productiva del contribuyente están también exonerados del impuesto ambiental a la contaminación vehicular conforme a la Ley de Fomento Ambiental y Optimización de los Ingresos del Estado.

**b) Exoneración por Tercera edad**

Conforme la Ley de Fomento Ambiental y Optimización de los Ingresos del Estado, este impuesto grava a la contaminación del ambiente producida por el uso de vehículos motorizados de transporte terrestre. Los vehículos de propiedad de personas de la tercera están completamente exentos de este impuesto.

**c) Exoneración por Discapacidad**

De acuerdo a la Ley de Fomento Ambiental y Optimización de los Ingresos del Estado, los vehículos de uso y traslado de personas con discapacidad, a razón de un solo vehículo por cada titular, también están exentos del impuesto ambiental a la contaminación vehicular.

**Análisis de la representación del IACV en el porcentaje del pib del gasto tributario y del Ecuador**

Gasto Tributario otros Impuestos: Impuesto Ambiental a la Contaminación Vehicular por: Exoneración vehículos productivos; exoneración tercera edad y exoneración discapacitados.

**Tabla 3**

 <b>Ministerio de Economía y Finanzas</b> EJECUCIÓN PRESUPUESTARIA CONSOLIDADA POR ÍTEM IMPUESTO AMBIENTAL A LA CONTAMINACIÓN VEHICULAR (CIFRAS EN DÓLARES)				
AÑO	MES	ÍTEM	DEVENGADO	PERCIBIDO
2015	Enero	110716	9.508.720,91	9.508.720,91
2015	Febrero	110716	22.456.494,51	22.456.494,51
2015	Marzo	110716	34.778.500,92	34.778.500,92
2015	Abril	110716	45.766.211,94	45.766.211,94
2015	Mayo	110716	55.858.620,98	55.858.620,98
2015	Junio	110716	65.871.096,84	65.871.096,84
2015	Julio	110716	76.494.675,41	76.494.675,41
2015	Agosto	110716	85.184.971,39	85.184.971,39
2015	Septiembre	110716	92.857.527,38	92.857.527,38
2015	Octubre	110716	100.064.871,57	100.064.871,57
2015	Noviembre	110716	106.497.960,06	106.497.960,06
2015	Diciembre	110716	113.193.719,10	113.193.719,10
<b>TOTAL</b>			<b>808.533.371,01</b>	<b>808.533.371,01</b>

**Tabla 4**

<b>IMPUESTO AMBIENTAL A LA CONTAMINACIÓN VEHICULAR AÑO 2015</b>				
DETALLE	MILLONES USD	% GASTO TRIB. OTROS IMP.	% RECAUDACIÓN	% PIB
Exoneración vehículos Productivos	38,1	21,30%	0,30%	0,40 %
Exoneración tercera edad	2,7	1,50%	0,00%	0,00 %
Exoneración discapacidad	1,1	0,60%	0,00%	0,00 %
<b>TOTAL</b>	<b>41,9</b>	<b>23,40%</b>	<b>0,30%</b>	<b>0,40 %</b>

Fuente: Base de datos del Servicio de Rentas Internas

**Tabla 5**

<b>TOTAL GASTO TRIBUTARIO OTROS IMPUESTOS AÑO 2015</b>				
DETALLE	MILLONES USD	% GASTO TRIB. OTROS IMP.	% RECAUDACIÓN	% PIB
<b>GASTO TRIBUTARIO OTROS IMPUESTOS</b>	<b>178,8</b>	<b>100%</b>	<b>1,20%</b>	<b>0,20 %</b>

Fuente: Base de datos del Servicio de Rentas Internas

El impuesto ambiental a la contaminación vehicular con sus tres componentes en el año 2015 tuvo una recaudación de 41.9 millones de dólares (Tabla 4), es decir el 0,3 % de la recaudación neta de ese periodo cuyo porcentaje en relación al Gasto Tributario Otros Impuestos es del 23,4 %; lo que representó al PIB el 0,04 %. Uno de los mayores beneficios suministrados es la exoneración de vehículos productivos, con un valor de USD 38,1 millones, es decir el 21,3% IACV.

Cabe mencionar que en el 2015 Ecuador percibió por este rubro USD 808.533.371,01 millones, dejando de percibir USD 41,9 millones por concepto de Gasto Tributario en lo correspondiente al Impuesto Ambiental por Contaminación Vehicular.

**Tabla 6**

 <b>Ministerio de Economía y Finanzas</b> EJECUCIÓN PRESUPUESTARIA CONSOLIDADA POR ÍTEM IMPUESTO AMBIENTAL A LA CONTAMINACIÓN VEHICULAR (CIFRAS EN DÓLARES)				
AÑO	MES	ÍTEM	DEVENGADO	PERCIBIDO
2016	Enero	110716	6.844.273,94	6.844.273,94
2016	Febrero	110716	19.073.174,51	19.073.174,51
2016	Marzo	110716	30.631.685,91	30.631.685,91
2016	Abril	110716	41.240.025,28	41.240.025,28
2016	Mayo	110716	51.183.072,99	51.183.072,99
2016	Junio	110716	61.558.459,38	61.558.459,38
2016	Julio	110716	70.382.522,06	70.382.522,06
2016	Agosto	110716	79.835.955,52	79.835.955,52
2016	Septiembre	110716	88.561.544,40	88.561.544,40
2016	Octubre	110716	96.765.661,35	96.765.661,35
2016	Noviembre	110716	104.291.683,23	104.291.683,23
2016	Diciembre	110716	112.000.252,55	112.000.252,55
<b>TOTAL</b>			<b>762.368.311,12</b>	<b>762.368.311,12</b>

**Tabla 7**

IMPUESTO AMBIENTAL A LA CONTAMINACIÓN VEHICULAR AÑO 2016				
	MILLONES USD	% GASTO TRIB. OTROS IMPUESTOS	% RECAUDACIÓN	% PIB
Exoneración vehículos Productivos	96,8	36,50%	0,80%	0,10%
Exoneración tercera edad	5,5	2,10%	0,00%	0,00%
Exoneración discapacidad	1,1	0,40%	0,00%	0,00%
<b>TOTAL</b>	<b>103,4</b>	<b>39,00%</b>	<b>0,80%</b>	<b>0,10%</b>

Fuente: Base de datos del Servicio de Rentas Internas

**Tabla. 8**

TOTAL GASTO TRIBUTARIO OTROS IMPUESTOS AÑO 2017				
	MILLONES USD	% GASTO TRIB. OTROS IMPUESTOS	% RECAUDACIÓN	% PIB
GASTO TRIBUTARIO OTROS IMPUESTOS	389,1	100%	3,10%	0,40%

Fuente: Base de datos del Servicio de Rentas Internas

El impuesto ambiental a la contaminación vehicular con sus tres componentes en el año 2016 tuvo una recaudación de 103.3 millones de dólares (Tabla 5), es decir el 0,8 % de la recaudación neta de ese periodo cuyo porcentaje en relación al Gasto Tributario Otros Impuestos es del 39 %; lo que representó al PIB el 0,1 %. Uno de los mayores beneficios suministrados es la exoneración de vehículos productivos, con un valor de USD 96.8 millones, lo que significa el 36.5 % IACV.

Es importante destacar que en el 2016 el Ecuador percibió por este rubro USD 762.368.311,12 millones, dejando de percibir USD 103,4 millones por concepto de Gasto Tributario en lo correspondiente al Impuesto Ambiental por Contaminación Vehicular.

**Tabla 9**

<b>Ministerio de Economía y Finanzas</b> EJECUCIÓN PRESUPUESTARIA CONSOLIDADA POR ITEM IMPUESTO AMBIENTAL A LA CONTAMINACIÓN VEHICULAR (CIFRAS EN DÓLARES)				
AÑO	MES	ITEM	DEVENGADO	PERCIBIDO
2017	Enero	110716	7.784.038,91	7.784.038,91
2017	Febrero	110716	18.081.809,02	18.081.809,02
2017	Marzo	110716	30.613.777,39	30.613.777,39
2017	Abril	110716	39.979.225,39	39.979.225,39
2017	Mayo	110716	50.634.017,35	50.634.017,35
2017	Junio	110716	61.160.518,31	61.160.518,31
2017	Julio	110716	70.368.840,31	70.368.840,31
2017	Agosto	110716	80.143.053,81	80.143.053,81
2017	Septiembre	110716	88.403.612,94	88.403.612,94
2017	Octubre	110716	96.518.853,20	96.518.853,20
2017	Noviembre	110716	104.130.606,72	104.130.606,72
2017	Diciembre	110716	111.094.545,14	111.094.545,14
		<b>TOTAL</b>	<b>758.912.898,49</b>	<b>758.912.898,49</b>

Fuente: Ministerio de Economía y Finanzas

**Tabla 10**

IMPUESTO AMBIENTAL A LA CONTAMINACIÓN VEHICULAR AÑO 2017				
	MILLONES USD	% GASTO TRIB. OTROS IMPUESTOS	% RECAUDACIÓN	% PIB
Exoneración vehículos Productivos	107,8	27,70%	0,80%	0,10%
Exoneración tercera edad	0,7	0,20%	0,00%	0,00%
Exoneración discapacidad	0,1	0,00%	0,00%	0,00%
<b>TOTAL</b>	<b>108,6</b>	<b>27,90%</b>	<b>0,80%</b>	<b>0,10%</b>

Fuente: Base de datos del Servicio de Rentas Internas

**Tabla 11**

TOTAL GASTO TRIBUTARIO OTROS IMPUESTOS AÑO 2017				
	MILLONES USD	% GASTO TRIB. OTROS IMPUESTOS	% RECAUDACIÓN	% PIB
GASTO TRIBUTARIO OTROS IMPUESTOS	389,1	100%	3,10%	0,40%

Fuente: Base de datos del Servicio de Rentas Internas

El impuesto ambiental a la contaminación vehicular con sus tres componentes en el año 2017 tuvo una recaudación de 108.6 millones de dólares (Tabla 6), es decir el 0,8% de la recaudación neta de ese periodo cuyo porcentaje en relación al Gasto Tributario Otros Impuestos es del 27.9%; lo que representó al PIB el 0,1 %. Uno de los mayores beneficios suministrados es la exoneración de vehículos productivos, con un valor de USD 107.8 millones, es decir el 27,7% IACV.

Se debe citar que durante el año 2017 el Ecuador percibió por este rubro USD 758.912.898,49 millones, dejando de recaudar USD 108,6 millones por concepto de Gasto Tributario en lo correspondiente al Impuesto Ambiental por Contaminación Vehicular.

## CONCLUSIONES

Los impuestos ambientales constituyen un eje central de la nueva tendencia de las políticas tributarias. Los impuestos ambientales son parte fundamental de la llamada reforma fiscal verde, la cual ha contribuido a invertir la preponderancia de los impuestos directos sobre impuestos indirectos, con lo que las consecuencias han sido recaudatorias, pero también en términos de equidad, el diseño de los impuestos ambientales no

es tarea sencilla por los problemas de valoración, lo cual se refleja en la disponibilidad a pagar, de esta manera el crecimiento económico sostenible cumple ciertos requisitos relacionados con las variables medioambientales que se introducen en los modelos de crecimiento económico y que responden a los procesos ecológicos considerados en la política fiscal.

Con lo indicado anteriormente, este artículo lo que pretende es determinar la cantidad de recursos monetarios que el Ecuador deja de percibir por concepto de Gasto Tributario en lo que tiene relación a los tres componentes: Exoneración vehículos productivos, exoneración tercera edad y exoneración discapacidad del Impuesto Ambiental por la Contaminación Vehicular y su influencia en el PIB durante el periodo 2015-2017.

### **Análisis comparativo impuesto ambiental a la contaminación vehicular vs. Total gasto tributario otros impuestos**

**Tabla 12**

<b>TOTAL IMPUESTO AMBIENTAL CONTAMINACIÓN VEHICULAR AÑOS: 2015-2016 -2017</b>				
	<b>MILLONES USD</b>	<b>% GASTO TRIB. OTROS IMPUESTOS</b>	<b>% RECAUDACIÓN</b>	<b>% PIB</b>
Exoneración vehículos Productivos	242,7	85,50%	1,90%	0,60 %
Exoneración tercera edad	8,9	3,80%	0,00%	0,00 %
Exoneración discapacidad	2,3	1,00%	0,00%	0,00 %
<b>TOTAL</b>	<b>253,9</b>	<b>90,30%</b>	<b>1,90%</b>	<b>0,60 %</b>

Fuente: Base de datos del Servicio de Rentas Internas

**Tabla 13**

<b>TOTAL GASTO TRIBUTARIO OTROS IMPUESTOS AÑOS 2015-2016-2017</b>			
<b>832,8</b>	<b>100%</b>	<b>6,40%</b>	<b>0,80%</b>

Fuente: Base de datos del Servicio de Rentas Internas

Es así que durante el periodo 2015-2017 el Ecuador deja de percibir USD 832,8 millones por concepto de Gastos Tributarios Otros Impuestos, de los cuales USD 253,9 concierne al IACV. Con este perfil comparativo se determina entonces que se sigue el procedimiento tributario y que está constituido por una serie de actos relacionados entre sí con una finalidad común: gestionar, recaudar e inspeccionar los tributos, así como sancionar las infracciones tributarias y revisar los actos tributarios. Cabe mencionar que el Gasto Tributario otros Impuestos

total durante el periodo 2015-2017 que es de 6,4% pertenece a la recaudación neta de ese periodo, donde el IACV tiene una representatividad de recaudación neta del 1,9 % (Tabla 7).

En lo que tiene relación al Producto Interno Bruto (PIB) el Gasto Tributario otros Impuestos total durante el periodo antes mencionado deja de aportar al PIB total del país el 0,8 % del cual el 0,6 % pertenece al IACV debido a las exoneraciones analizadas minuciosamente en los ítems anteriores.

### **REFERENCIAS**

Cuadri, G. (2016). Teoría y práctica en política ambiental. México: Trillas.

Hora, D. L. (12 de Mayo de 2012). Noticias. Impuesto ambiental a la contaminación vehicular.

Mankiw G, T. M. (2017). Economía (Tercera ed.). Madrid: Paraninfo S.A.

Ministerio de Finanzas - Subsecretaría de Presupuestos. (2015). Justificativo proforma presupuesto general del estado 2015. Quito.

Musgrave, R. A. (1978). El futuro de la Política Fiscal. Madrid.

Rosales, C. (2015). La disposición a pagar por el medio ambiente. Andalucía: Centro de estudios andaluces.

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (Senplades) (22 de 09 de 2017). Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Pichincha, Ecuador.

Servicio de Rentas Internas (Proyecto Salto, 2002-2003). (03 de 10 de 2017). Manual Gasto Tributario 2016. Quito, Pichincha, Ecuador.

Servicio de Rentas Internas (Jorrat, 2003). (04 de 09 de 2018). Manual Gasto Tributario 2017. Quito, Pichincha, Ecuador.

Servicio de Rentas Internas. (04 de 04 de 2017). Manual Gasto Tributario 2015. Quito, Pichincha, Ecuador.

Servicio de Rentas Internas. (03 de 10 de 2017). Manual Gasto Tributario 2016. Quito, Pichincha, Ecuador.

Servicio de Rentas Internas. (03 de 09 de 2017). Manual Gasto Tributario 2017. Quito, Pichincha, Ecuador.

Servicio de Rentas Internas. (03 de 09 de 2018). Manual Gasto Tributario 2017. Quito, Pichincha, Ecuador.

# Eficiencia de encapsulación de carotenoides extraídos de capsicum annuum en nanopartículas de zeína

## Encapsulation efficiency of carthenoid extracted from capsicum annuum in zein nanoparticles

DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.1017>



**Suárez Heredia Martha Azucena**  
Docente de la Facultad de Ciencias Químicas.  
Universidad Central del Ecuador  
masuarez@uce.edu.ec



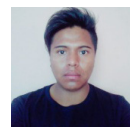
**Rosero José Augusto**  
Docente de la Facultad de Ingeniería  
Ciencias Físicas y Matemática.  
Universidad Central del Ecuador  
jarosero@uce.edu.ec



**Morillo Reinoso Yery Mateo**  
trabajador Independiente  
donelena\_25@hotmail.com



**Haro Morales Gabriela Johana**  
Estudiante de la Facultad de Ciencias Químicas.  
Universidad Central del Ecuador  
gjharo@uce.edu.ec



**Ichau Espinoza Marlon Agustín**  
Estudiante de la Facultad de Ciencias Químicas.  
Universidad Central del Ecuador  
maichau@uce.edu.ec

### RESUMEN

Se sintetizaron nanopartículas de zeína para encapsular carotenoides y determinar la eficiencia de la encapsulación en condiciones experimentales controladas. Se extrajeron cuantitativamente los carotenoides de muestras precondicionadas de *Capsicum annuum*, mediante agitación en frío con cloroformo. Los carotenoides totales, expresados como concentración de  $\beta$ -caroteno se cuantificaron por mediciones espectrofotométricas, que se relacionaron con unidades ASTA de color. Las nanopartículas de zeína se sintetizaron por el método de coacervación y se las caracterizó mediante mediciones de tamaño de partícula, polidispersión y potencial Z. El colorante fue encapsulado durante el proceso de síntesis. Utilizando un diseño factorial completo 23 al 95% de confianza, se determinó que las condiciones en las que se maximiza el porcentaje de inclusión del colorante en las nanopartículas de zeína, hasta un 88,94% fueron: concentración de zeína del 2%, temperatura de 20°C y pH 8.

**PALABRAS CLAVE:** nanopartículas; capsicumannuum; eficiencia de encapsulación; alimentos funcionales.

### ABSTRACT

*Zein nanoparticles were synthesized to encapsulate carotenoids and determine the efficiency of the encapsulation under controlled experimental conditions. Carotenoids were quantitatively extracted from preconditioned samples of Capsicum annuum by cold agitation with chloroform. The total carotenoids, expressed as concentration of  $\beta$ -carotene, were quantified by spectrophotometric measurements, which were related to ASTA units of color. The zein nanoparticles were synthesized by the coacervation method and characterized by measurements of particle size, polydispersity and Z potential. The dye was encapsulated during the synthesis process. Using a complete factorial design 23 at 95% confidence, it was determined that the conditions in which the inclusion percentage of the dye in the zein nanoparticles is maximized, up to 88.94% were: zein concentration of 2%, temperature of 20 °C and pH 8.*

**KEYWORDS:** nanoparticles; capsicumannuum; encapsulation efficiency; functional foods.

### INTRODUCCIÓN

Los carotenoides son pigmentos usados en la industria como aditivos para mejorar el aspecto de los productos. En las industrias farmacéutica, de alimentos y cosmética tienen mucha importancia debido a la asociación de la seguridad del producto con su apariencia. Entre los carotenoides de mayor importancia industrial, se encuentran la astaxantina, la luteína, la zeaxatina y el  $\beta$ -caroteno.

La astaxantina (Fig. 1) constituye el segmento de más rápido crecimiento en el mercado de carotenoides de Estados Unidos, impulsado por su uso en la acuicultura (Meyers, 2000).

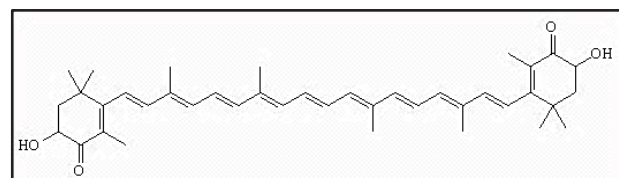


Figura 1. Estructura química del carotenoide astaxantina

La luteína y la zeaxantina (Fig. 2) son los carotenoides más utilizados como aditivos alimentarios y la industria cosmética aprovecha sus características antioxidantes para utilizarlos como suplementos nutricionales y componentes de cremas para bronceado.

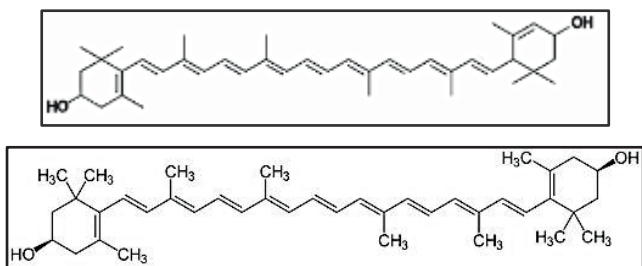


Figura 2. Estructura química de los carotenoides luteína y zeaxantina

Otro compuesto de importancia industrial es el  $\beta$ -caroteno (Fig. 3), ampliamente utilizado en alimentos y suplementos terapéuticos, constituye el segmento de carotenoides más grande en el mercado mundial. La creciente popularidad del  $\beta$ -caroteno es atribuida a sus beneficios para la salud y actualmente es el carotenoide con más aplicaciones en la industria de alimentos (AQUA HOY, Portal de información de acuicultura, 2017)

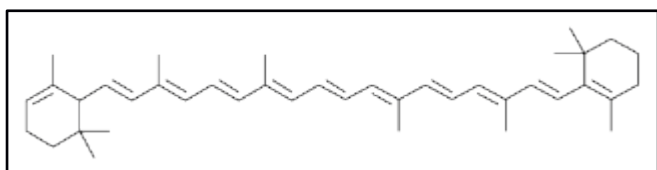


Figura 3. Estructura química del  $\beta$ -caroteno

El creciente interés en dietas saludables que incluyen a los productos alimenticios funcionales y procesados está acelerando el crecimiento del mercado mundial de los carotenoides (AQUA HOY, Portal de información de acuicultura, 2017). Entre los años 2003 y 2007 en países desarrollados se produjo un crecimiento en la importación de materia prima fuente para la extracción de estos compuestos (Tabla 1); debido a sus propiedades funcionales, a su baja toxicidad y a su alto poder tintóreo.

Tabla 1. Principales mercados importadores de fuentes de pigmentos carotenoides

Países importadores	Valor miles de USD	Volumen Ton	% Crecimiento 2003-2007
Estados Unidos	38421	1583	10
Países Bajos	37669	1379	7
México	18140	329	9
Dinamarca	15959	495	16
España	15454	1311	15
Italia	12446	787	11
Australia	10703	601	15
Pakistán	10685	4283	116

Fuente: (Trade map estadísticas del comercio para el desarrollo internacional de las empresas, 2016)

Las propiedades antioxidantes de los carotenoides han sido aprovechadas en la industria de los alimentos. En los próximos años, se espera que los carotenoides naturales tengan una mayor aceptación entre los consumidores, desplazando del mercado a los carotenoides sintéticos, debido al incremento de la demanda por productos alimenticios fortificados y naturales. Estados Unidos y Europa son los principales exportadores y consumidores de carotenoides, especialmente luteína, cantaxantina y astaxantina (AQUA HOY, Portal de información de acuicultura, 2017).

En Latinoamérica, el Ecuador es uno de los países exportadores de carotenoides, para lo cual se creó una partida arancelaria con el nombre de "Materias colorantes de origen vegetal o animal" que incluye los pigmentos naturales de origen vegetal, entre estos los carotenoides. Según Trade Map las ventas de carotenoides tienen un crecimiento proyectado de más del 20% cada año, siendo el principal mercado de exportación los Estados Unidos, lo que demuestra la importancia de estos colorantes dentro de la economía ecuatoriana (International Trade Center, 2016).

Además de la importancia comercial, los pigmentos carotenoides son esenciales en la salud humana por sus funciones biológicas como: actividad provitamina A, actividad antioxidante, inhibición de mutagénesis, transformación e inhibición de lesiones premalignas y protección frente a fotosensibilización (Wang, 2008).

Las fuentes naturales de carotenoides son en general las frutas y verduras. Los vegetales de color amarillo, verde oscuro, naranja y rojo, contienen zeaxantina, luteína y  $\beta$ -caroteno, estos compuestos también se encuentran presentes en la yema de huevo. Las mejores fuentes de astaxantina natural incluyen a varios organismos marinos como el camarón y salmón, a pesar de que estos organismos no pueden sintetizarla, la acumulan en diversas partes de su cuerpo. Entre los vegetales con un alto contenido de carotenoides se encuentra el pimiento rojo, *Capsicum annum*. La producción de pimiento representa un rubro importante en el sector agrícola ecuatoriano, debido a que puede cultivarse tanto en la costa como en los valles interandinos. Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería en el año 2005 se cosecharon 1760 hectáreas en la costa, con una producción estimada de 27.221 toneladas siendo las provincias de Guayas, Manabí, y Esmeraldas las de mayor producción (International Trade Center, 2016).

Los carotenoides presentan una alta sensibilidad a factores externos como luz, temperatura, pH,





metales, enzimas y peróxidos que estimulan la oxidación de estos pigmentos e inactivan sus propiedades antioxidantes. La inestabilidad de los carotenoides se debe a que contienen nueve o más dobles enlaces conjugados que pueden ser oxidados por ciertas formas reactivas de oxígeno, como el oxígeno singulete, lo que lleva a una disminución progresiva del color (Meléndez et al., 2004). La inestabilidad de estos pigmentos crece al aumentar el número de dobles enlaces no coplanares; en la estructura del  $\beta$ -caroteno, dos de sus dobles enlaces conjugados no son coplanares con la cadena poliénica, por lo que presenta una mayor inestabilidad en comparación al licopeno que contiene once dobles enlaces conjugados coplanares (Meléndez-Martínez et al., 2004).

Varias investigaciones se enfocan en aumentar la estabilidad de los pigmentos carotenoides utilizando diferentes técnicas, entre ellas: secado por atomización utilizando agentes encapsulantes como: gelatina, goma arábica, caseinato de sodio, almidón modificado, mezclas de maltosa-dextrina y almidón de arroz-gelatina (Beatus et al., 1985). Se han desarrollado métodos de coacervación utilizando alginato de calcio y una barrera intermedia compuesta de aislado proteico de suero (Rosenberg & Lee, 2004) los cuales han dado como resultado un cambio en la cinética de degradación de primero a segundo orden (Palma Astudillo, 2013), sugiriendo que la estabilidad de los pigmentos carotenoides mejora al ser encapsulados en una matriz biopolimérica. Utilizando secado por atomización como método de encapsulación en matrices biopoliméricas, la vida media estimada de  $\beta$ -caroteno estabilizado fue de 7-27 días a 25°C y de carotenoides de oleoresina de ají de 18-25 días a 35°C, (Rodríguez et al., 2004).

Una de las ventajas más notables del encapsulamiento de carotenoides en biopolímeros es el incremento de su vida útil, favoreciendo la conservación del compuesto y su actividad biológica, sin incremento de la toxicidad del producto final (Robert et al., 2003). Los biopolímeros son usados en la industria para formar, proteger y transportar los compuestos activos (Singh & Lillard, 2009). Entre los más utilizados como matrices poliméricas están las proteínas usadas por sus propiedades emulsificantes, formación de películas, solubilidad, y biodegradabilidad (Favaro et al., 2010).

La zeína es una proteína de origen natural que cumple funciones de almacenamiento de los carotenoides presentes en la semilla del grano de

maíz (Wang, 2008). No se han encontrado reportes bibliográficos respecto del uso de zeína como agente encapsulante para el diseño de alimentos funcionales; a pesar de que la zeína como matriz polimérica presenta múltiples beneficios, tanto físicoquímicos como nutricionales. Existen reportes del encapsulamiento de licopeno y polifenol galato de epigallocatequina (EGCG) en fibras de zeína mediante la técnica de electrospinning (Fernández, 2009), así como de lisozima mediante el proceso de anti disolvente supercrítico y aceite de pescado mediante el método de dispersión líquido - líquido (Zhong, 2009).

Utilizando zeína como matriz polimérica de encapsulamiento en nanoestructuras, se planteó resolver el problema de la inestabilidad de los pigmentos carotenoides. La zeína al ser una proteína que se encuentra naturalmente en el grano de maíz, protege a los carotenos de los factores externos de degradación (Robert et al., 2003), además por ser una proteína de uso cotidiano, agregaría prestancia y funcionalidad a los productos.

## METODOLOGÍA

Se seleccionaron frutos de *Capsicum annum* por inspección visual, mediante la homogeneidad del color. Se retiraron las semillas y la pulpa se lavó con abundante agua, se cortó en segmentos transversales y se escaldó. Se secó a 40°C en estufa de convección BINDER hasta consistencia áspera y se molió y tamizó en malla 20.

Se extrajeron cuantitativamente los carotenoides por agitación con cloroformo EMSURE en frío a 1200 rpm, hasta reacción de Carr-Price negativa. El extracto de carotenoides se concentró a sequedad, a presión reducida.

Se tamizaron gránulos de carbón por malla 30 para eliminar el polvo fino. El sólido retenido se lavó con exceso de etanol 70%, se activó con aire caliente a 105°C. Se prepararon soluciones de zeína USP Sigma-Aldrich al 0,3% y 2% (p/v) en una mezcla etanol/agua 85:15 (v/v). Se agregó carbón activado sobre la solución de zeína, en una relación 1:50 (p/v) y se agitó durante dos horas a 600 rpm, se filtró al vacío y la solución decolorada se almacenó en refrigeración y protegida de la luz.

Se prepararon soluciones etanol/agua al 20% con pH controlado de 4 y 8. La solución base se agitó mecánicamente en un agitador Fisher Scientific a 700 rpm. Se dispersó la solución de zeína sobre la

solución base a una presión constante de 30 psi, y se mantuvo en agitación durante un minuto.

Se preparó una solución de extracto de carotenoides en cloroformo EMSURE y se midió la absorbancia en un espectrofotómetro UV-VIS VARIAN Biocary 50. El colorante se incorporó en las nanopartículas de zeína, con la misma metodología.

**DISCUSIÓN**

Se obtuvo un extracto de carotenoides totales, con las concentraciones de β-caroteno detalladas en la Tabla 2. Mediante la metodología de coacervación, se sintetizaron nanopartículas a partir de zeína USP decolorada, encapsulando el colorante durante el proceso de síntesis. Con una solución hidroalcohólica detallada para la síntesis. El cloroformo se eliminó por calentamiento y se redispersaron las nanopartículas en etanol al 85% a pH constante, se midió la absorbancia de la solución. Las nanopartículas se caracterizaron mediante mediciones de tamaño, polidispersión y potencial Z en un equipo de dispersión dinámica de luz (DLS), Nanopartica SZ-1000 Series.

**Tabla 2. Concentración de carotenoides totales como β-caroteno.**

Carotenoides totales como β-caroteno /100g extracto seco)	Carotenoides totales como β-caroteno (mg/100g muestra seca)
20340,67 ± 108,58	4603,09 ± 24,57

La eficiencia de encapsulación se determinó espectrofotométricamente a 460 nm, utilizando un estándar analítico de β-caroteno Sigma-Aldrich CAS 7235-40-7, mediante la evaluación de la intensidad de color (Ecuación 1) según el método cuantitativo ASTA (Association of Official Analytical Chemists, Inc., 1984)

$$\text{unidades ASTA} = \frac{A \cdot 16,4 \cdot I_f}{g \text{ de muestra}} \quad \text{Ec. (1)}$$

El factor de corrección instrumental  $I_f$  se determinó con soluciones estándar preparadas con reactivos analíticos MERCK de dicromato de potasio y sulfato de cobalto. El cálculo de la concentración de carotenoides totales expresados como β-caroteno se realizó a partir de la Ecuación 2, utilizando el coeficiente de absorción específica ( $A_{1\text{cm}}^{1\%}$ ) para β-caroteno en el solvente de extracción a 460 nm de zeína 2% se obtuvo un tamaño de partícula de 250,1 nm; con polidispersión de 0,097 y con una solución hidroalcohólica de zeína 0,3% se obtuvo un tamaño de partícula de 175,9 nm y polidispersión de 0,153.

$$(\mu\text{g } \beta\text{-caroteno/g muestra}) = \frac{A \cdot V \text{ (mL)} \cdot 10^6}{100 \cdot (A_{1\text{cm}}^{1\%}) \cdot g \text{ muestra}} \quad \text{Ec.(2)}$$

La fase dispersante utilizada fue una solución de etanol al 20%. Los niveles para el pH utilizados se definieron, tomando en cuenta las máximas ionizaciones tanto básica (pH 8) como ácida (pH 4) de la proteína. No se consideraron los valores de pH cercanos al punto isoelectrico (pH 6,2) ya que provocarían aglomeración de las nanopartículas con la consecuente falta de estabilidad (Shukla & Cheryan., 2001). Los resultados de potencial Z a pH4 y pH8 fueron: -28,3mV y 77,9 mV a pH 8, respectivamente.

Se determinaron experimentalmente los niveles de temperatura mediante la síntesis de nanopartículas en medios de temperatura controlada. Se encontró que a 4°C las nanopartículas de zeína sintetizadas se aglomeran obteniéndose tamaños 3200,2 nm que son mayores a los considerados nanométricos (Raula & Eerikainen, 2004). El rango de temperatura en el cual las nanopartículas de zeína presentaron estabilidad se definió entre 15 - 30°C, con tamaños de partícula menores a 500 nm. Este rango de temperatura favorece el encapsulamiento, ya que de acuerdo con el estudio de Martínez et al., (2015) se observa un efecto de degradación térmica de los carotenoides a temperaturas superiores a 40°C.

La eficiencia de encapsulación se evaluó a partir de la cuantificación espectrofotométrica del β-caroteno incluido en las nanopartículas durante el proceso de formación. Se definió el efecto de la concentración de zeína (CZ), el pH y la temperatura (T) sobre el porcentaje de inclusión del colorante –eficiencia de encapsulación.

A partir de un diseño experimental 23 al 95% de confianza (Vega, 2016), se pudo establecer la eficiencia de encapsulación (EE) de los carotenoides en nanopartículas de zeína. Los resultados de los experimentos se presentan en la Tabla 3.

**Tabla 3. Eficiencia de encapsulación experimental, diseño factorial completo 23 con réplica de diseño completo**

Nº	EE (R <sub>1</sub> )	EE (R <sub>2</sub> )	EE
1	79,19	81,79	80,49 ± 1,84
2	77,34	87,34	82,34 ± 7,07
3	81,16	88,17	84,67 ± 4,96
4	75,03	76,53	75,78 ± 1,06
5	88,42	90,31	89,36 ± 1,34
6	80,38	94,45	87,41 ± 9,94
7	79,19	85,98	82,59 ± 4,80
8	78,37	85,80	82,09 ± 5,25

R<sub>1</sub>. Eficiencia de encapsulación calculada para la primera réplica. R<sub>2</sub>. Eficiencia de encapsulación calculada para la segunda réplica

La significancia estadística de los efectos determina que la eficiencia de encapsulación está afectada por el pH como efecto de primer orden y la interacción de la concentración de zeína (CZ) y la temperatura (T), como efectos de segundo orden (Tabla 4).

**Tabla 4. Significancia estadística de los efectos en la eficiencia de encapsulación**

Efectos generados por los factores de estudio	Identificación	Significancia estadística de los efectos
-2,37	Cz	no significativo
2,32	T	no significativo
-3,62	Cz, T	<b>significativo</b>
2,43	pH	<b>significativo</b>
-3,05	Cz, pH	no significativo
-1,15	pH, T	no significativo
4,54	Cz, T, pH	no significativo

A partir del análisis de los experimentos, se para la eficiencia de encapsulación obteniéndose los determinó una eficiencia de encapsulación promedio de parámetros dados en la Tabla 5.

83,09%. Mediante el software de análisis estadístico Statgraphics Centurión XVI, se maximizó la respuesta

**Tabla 5. Optimización de la respuesta para la eficiencia de encapsulación**

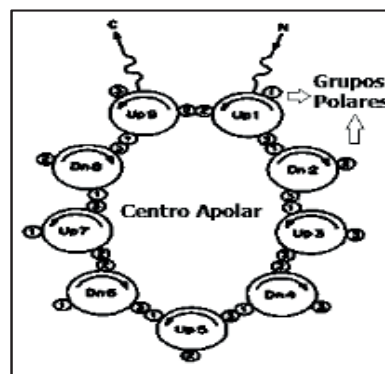
Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Cz (%)	0,3	2,0	2,0
T (°C)	20,0	30,0	20,0
pH	4,0	8,0	8,0

**Valor óptimo  $E_E = 88,94\%$**

El pH, genera un efecto positivo en la eficiencia de encapsulación haciendo que ésta se incremente en 2,43 unidades cuando se sintetizan nanopartículas en pH 8. En este valor de pH, la estabilidad de las nanopartículas medida a través del potencial Z es mayor.

La ionización negativa de la proteína mejoraría las interacciones electrostáticas entre las moléculas de carotenoides y el encapsulante. Si se analiza la conformación estructural de las nanopartículas, éstas dejarían en la parte interna los grupos apolares de la proteína, con lo que se formarían nanopartículas capaces de encapsular mayor cantidad de colorante apolar.

En la Fig. 4, se muestra una posible estructura de las nanopartículas sugerida por Ashok Patel, (2010).



**Figura 4. Conformación de la estructura con centro apolar de la pared de las nanopartículas de zeína (Ashok Patel, 2010).**

La eficiencia de encapsulación depende principalmente de la interacción entre proteína, sustrato y disolvente orgánico. En estudios realizados mediante electrospraying se comprobó que si las interacciones electrostáticas son desfavorables la incorporación de tensoactivos puede mejorar la estabilidad del sistema (Xu & Hanna, 2006).

El decremento estadísticamente significativo generado por la interacción de (CZT) hace que la eficiencia de encapsulación disminuya en 3,62 unidades porcentuales cuando las nanopartículas fueron sintetizadas a 30°C. Estos resultados podrían deberse a que al aumentar la temperatura, la velocidad de volatilización de la fase apolar que incluye los carotenoides en el sistema se incrementa.

## CONCLUSIONES

Se encapsularon carotenoides en nanopartículas de zeína utilizando el método de coacervación. Se encapsuló 16,90 g de  $\beta$ -caroteno por cada 100 g de zeína. Mediante la utilización del software estadístico.

Se definió que la encapsulación favorece la solubilidad de los carotenoides en solventes polares, manteniendo sus propiedades de color.

Los carotenoides encapsulados en matrices de nanopartículas de zeína posibilitan la formulación de saturando la fase polar en la que las nanopartículas con colorante son parcialmente solubles, lo cual tiene como consecuencia la disminución de los puntos apolares disponibles para encapsulación.

La eficiencia de encapsulación de colorantes carotenoides en nanopartículas de zeína comparada con otras matrices poliméricas como ciclodextrinas, es superior en un 72%. El estudio de Sente et al.,

(1998) determinó que en la encapsulación para formar complejos de  $\beta$ -caroteno:ciclodextrina el contenido de colorante carotenoide no superaba el 11% usando  $\beta$ -ciclodextrina como encapsulante.

Statgraphics Centurión XVI, se estableció que con los valores óptimos de los factores de estudio definidos en la Tabla 5, se podría maximizar el encapsulamiento hasta 18,09 g de  $\beta$ -caroteno por cada 100 g de zeína. cosméticos y alimentos con características funcionales debido a las propiedades de los carotenoides, además de proporcionar un suplemento nutricional por la proteína utilizada.

## REFERENCIAS

Aqua Hoy, Portal de información de acuicultura, (2017). [Online] Disponible en: <https://www.aquahoy.com/156-uncategorised/14796-mercado-mundial-de-carotenoides-alcanzara-us13-billones-para-el-2017>.

Ashok Patel, E.B., (2010). Sodium Caseinate Stabilized Zein Colloidal Particles. *Journal of agriculture and food chemistry*, pp.12497-503.

Association of Oficial Analytical Chemists, Inc., (1984). *Official Methods of Analysis*. Arlington, USA.

Beatus, Y., Razi, A., Rosenberg, M. & Kopelman, I., (1985). Spray-drying microencapsulation of paprika oleoresin. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, p. 28.34.

Favaro, C., Santana, A., Monterrey, E. & Trindade, M., (2010). The use of spray drying technology to reduce bitter taste of casein hydrolysate. *Food Hydrocolloids*, pp.336-40.

Fernández, J. (2009). Food hydrocolloids. *Food hydrocolloids*, pp.1 427-32.

International Trade Center, (2016). Trade map estadísticas del comercio para el desarrollo internacional de las empresas. [Online] Disponible en: [http://www.trademap.org/Country\\_SelProductCountry\\_TS](http://www.trademap.org/Country_SelProductCountry_TS).

Martínez-Girón, J. & Ordóñez-Santos, E. (2015). Efecto del procesamiento térmico sobre el color superficial del pimentón rojo (*Capsicum annum*), Variedad "Natal Y". *Biología en el sector agropecuario y agroindustrial*, pp. 104-13.

Meléndez-Marínez, A., Vicario, I. & Heredia, F. (2004). Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(2), pp. 1155-1158.

Meyers, S.P., (2000). Papel del carotenoide astaxantina en nutrición de especies acuáticas. In *Memorias del IV Simposium Internacional de Nutrición Acuicola*. México.

Palma Astudillo, M. (2013). Extracción de capsantina a partir de hojuelas de pimentón (*Capsicum annum* L.) y estabilización por microencapsulación. *Universidad de Chile Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas*, pp. 1-78.

Raula, J. & Eerikainen, H. (2004). Influence of the solvent composition on the aerosol synthesis of pharmaceutical polymer nanoparticles. *International journal Pharmaceutics*, pp. 13-21.

Robert, P., Carlsson, R., Romero, N. & Masson, L. (2003). Stability of spray-drying encapsulated carotenoid pigments from Rosa Mosqueta (*Rosa rubiginosa*) oleoresin in *Journal of the American Oil Chemists Society*, pp. 1115-20.

Rodríguez, M.E. (2004). Micro encapsulation by spray drying of multiple emulsions containing carotenoids. *Journal of Food Science*, pp. 351-59.

Rosenberg, M. & Lee, S. (2004). Water-insoluble, whey protein-based microspheres prepared by an all aqueous process. *Journal of Food Science*, pp. 50-58.

Shukla, R. & Cheryan, M. (2001). Zein: the industrial protein from corn. *Ind. Crops Prod.*, pp. 171- 92.

Singh, R. & Lillard, J. (2009). Nanoparticle-based targeted drug delivery. *Experimental and Molecular Pathology*, pp. 215-23.

Szente Lajos, K. (1998). Stabilization and Solubilization of Lipophilic Natural Colorants with Cyclodextrin. *Journal of Inclusion Phenomena and Molecular Recognition in Chemistry Netherlands*.

Vega, R. (2016). *Curso de diseño experimental y análisis estadístico*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

Wang, I. (2008). *Food biophysics*. *Food biophysics*, 3, pp. 174-81.

Xu, Y.X. & Hanna, M.A. (2006). Electro spray encapsulation of water-soluble protein with polylactide e effects of formulations on morphology, encapsulation efficiency and release profile of particles. *International Journal of Pharmaceutics*, pp. 30-36.

Zhong, H. (2009). *J Food process pres*, pp. 255-70.

# Modelo de simulación matemática para la evaluación de inyección de agua de baja salinidad en la arenisca U Inferior del campo Paka Norte, B15.

## Reservoir Model for the Evaluation of Low Salinity Water Injection in the Lower U sandstone of the Paka Norte oilfield, B15.

DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.1796>



**Durán Yazuma Sandra Verónica**  
Consultora Independiente  
asvhad@hotmail.com



**Palacios Serrano Diego Gabriel**  
Docente Universidad Central del Ecuador  
diegogabrielpalacios81@hotmail.com

### RESUMEN

El propósito del presente estudio es establecer si la aplicación de la inyección de agua de baja salinidad (LSW) es efectiva para las condiciones de reservorio y de fluido de la arenisca U Inferior del Campo Paka Norte del B15. Además, busca evaluar la rentabilidad que podría generar un proyecto con esta técnica de recuperación mejorada de petróleo.

Para el desarrollo de este proyecto se consideró un flujo de trabajo con el objetivo de procesar y validar la información, construir el modelo dinámico, realizar el ajuste histórico de presión y producción, generar varios casos pronóstico y su respectivo estudio económico.

Se estimó un valor de petróleo original en sitio de 79 millones de barriles. La producción del caso base señala que el campo produciría 7,49 millones de barriles de petróleo hasta el año 2028 con un factor de recobro de 10,56%. Los escenarios de producción señalaron que, en el mejor de los casos, se podría duplicar la producción acumulada y alcanzar un factor de recobro cercano al 20%. Los casos de baja salinidad en general mostraron factores de recobro adicionales de entre 0,5 a 0,6% con respecto a los mismos casos, pero de alta salinidad. El análisis económico determinó que, en todos los escenarios analizados, la inyección de agua de baja salinidad presentaba mayores VAN y TIR, con menores PRI.

**PALABRAS CLAVE:** *recuperación mejorada (eor); agua de baja salinidad (lsw); modelo de reservorios; evaluación económica; screening.*

### ABSTRACT

*The purpose of the present study was to establish if the application of the low salinity water injection (LSW) is effective for the reservoir and fluid conditions of the lower U sandstone in the Paka Norte oilfield of B15. In addition, it was looked for evaluating the profitability that oilfield could generate with this EOR technique.*

*For the development of this project a workflow was considered with the objective of processing and validating the information, building the dynamic model, making the historical adjustment of pressure and production data, generating several forecast cases and their respective economic study.*

*Reservoir model shows that Original Oil in Place was 79 million barrels. The base case pointed out that the oilfield would produce 7.49 million stock tank barrels of oil until 2028 with a recovery factor of 10.56%. Production scenarios indicated that accumulated production could be doubled and a recovery factor of around 20% could be reached. Low salinity cases showed additional recovery factors of 0.5 to 0.6% contrasted with high salinity cases. The economic analysis determined that low salinity water injection had higher NPV and IRR than high salinity water injection.*

**KEYWORDS:** *enhanced oil recovery (eor); low salinity water (lsw); reservoir model; economic evaluation; screening.*

## INTRODUCCIÓN

En Ecuador, en los últimos años, las técnicas de recuperación mejorada han ido adquiriendo mayor importancia debido a la pronunciada declinación en la producción de los campos petroleros del país. Sin métodos adecuados que permitan revertir la tendencia, los yacimientos se vuelven cada vez menos productivos y por ende menos rentables.

### Justificación e importancia

El promedio del factor de recobro esperado por la SHE para los campos de Petroamazonas EP es de 19%. El campo Paka Norte estará por debajo de la media.

La inyección de agua de baja salinidad ha permitido incrementar el factor de recobro entre 8% y 12% en la mayoría de los casos, se ha llegado alcanzar incrementos de hasta el 40% (Chandrashegaran, 2015, p.2).

El modelo de simulación permitirá analizar la aplicabilidad de la inyección de agua de baja salinidad en el campo Paka Norte y contribuirá en futuros proyectos de explotación del Activo Indillana mediante métodos de recuperación mejorada.

### Agua de baja salinidad

La inyección de agua es un método convencional de recuperación en el que se inyecta agua en el reservorio principalmente por el mantenimiento de la presión y alcanzar una producción adicional de petróleo mejorando la eficiencia de barrido.

Si se establece una técnica en la que se controla la composición del agua de inyección, se puede alcanzar mejores factores de recobro que en las condiciones convencionales de inyección de agua; a esta técnica se conoce como inyección de agua de baja salinidad (LSW por sus siglas en inglés).

La técnica de LSW ha sido demostrada en pruebas de inundación de núcleos en laboratorio, algunos de estos proyectos se han llevado a nivel de campo.

### Mecanismos LSW

**Migración de finos:** el agua tiende a fluir por canales de alta permeabilidad, y los finos que migran taponan las gargantas porales de estos canales, reduciendo la producción de agua.

**Saponificación y disolución mineral:** al inyectar agua de baja salinidad reacciona como una solución alcalina, generando surfactante naturales (jabones) insitu.

**Desorción de materiales orgánicos:** el incremento del PH hace que materiales orgánicos adheridos débilmente en la superficie de la roca se desprendan fácilmente.

**Efecto de doble capa:** es la acción de las fuerzas electrostáticas presentes en la superficie de la roca y la arcilla.

**Efecto Salting-in:** explica la solubilidad de materiales orgánicos en la fase acuosa.

**Alteración de la mojabilidad:** todos estos mecanismos no explican por si solos la técnica de acción de la inyección de agua de baja salinidad por lo que deben trabajar en conjunto para que se accione el mecanismo de alteración de la mojabilidad

Todos los mecanismos anteriores descritos se representan en un simulador y son representados mediante la interpolación de curvas de permeabilidad relativa, ver figura 1.

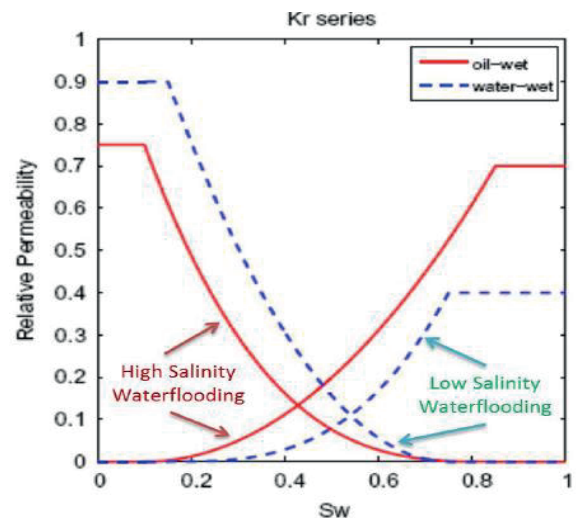


Figura 1. Desplazamiento de las curvas de permeabilidad relativa en LSW. Fuente: Computer Modelling Group, 2017.

## METODOLOGÍA



Figura 2. Diagrama de flujo seguido para procesamiento de la información.

## Screening

Para este proceso se consideró el reservorio U Inferior con una  $\emptyset$  de 17.4%, K de 200 mD, h de 21.52 ft Pr de 1760 psi a una profundidad promedio (TVD) de 9600 ft, temperatura de reservorio 200 °F. El petróleo contenido en este yacimiento es de 18.5 API y  $\mu$  de 7.5 cP a condiciones normales, contenido de arcilla de 11.4%, presencia de capacidad de intercambio catiónico igual a 0,219 meq/100 grs, presencia de iones divalentes como Ca++ y Mg++ entre 1000 ppm y 6000 ppm (Petroamazonas, 2017, p.6).

Al núcleo tomado del PKNA 014 se realizaron pruebas de permeabilidad, donde se inundó el núcleo con salinidades de entre 2000 ppm y 55000 ppm (muestras de diferentes campos), los resultados muestran que la inyección de agua de baja salinidad permitirá alcanzar altos factores de recobro. Además, se comprobó que existen movimientos de finos.

## Validación del modelo estático

El modelo original entregado por Petroamazonas EP contaba con 508560 celdas, en una configuración 78 x 163 x 40 (nI, nJ, nK) espesor promedio por celda de 1,23 ft reservorio U Inferior.

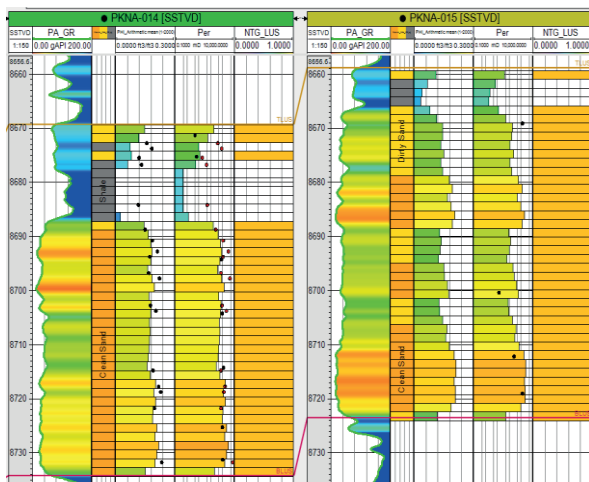


Figura 3 Ajuste entre propiedades pobladas y datos de núcleos/pruebas de pozo.

Se cargó 18 pozos en el modelo, el límite occidental de PKNA coincide con el borde del Bloque 15.

Se validó el poblamiento de facies, en donde se obtuvo un buen cotejo de las propiedades de porosidad y permeabilidad donde se compararon los valores del grid y los valores obtenidos en el núcleo del pozo PKNA 014, para el resto de los pozos se hizo un control de los valores de permeabilidad obtenidas de las pruebas de presión. En el pozo PKNA 001 se encontraron zonas de lutita en zonas de arenisca, se procedió a validar los histogramas de facies y los datos estadísticos, corrigiendo la porosidad, celdas con porosidades >8% y estén asignadas como lutita

sean considerados como arenisca sucia.

Para determinar el espesor de la arenisca U Inferior se realizaron dos cortes estructurales al campo Paka Norte; de N-S se va perdiendo espesor de la facie de arena hasta que esta litología se condensa totalmente en el pozo PKNA 04 lo que indica que existe algún tipo de barrera. Por otra parte, de O-E, mientras se avanza al oriente, se reduce el espesor de la arenisca.

Para el cálculo del Petróleo Original en Sitio (POES), se estima un valor del contacto agua-petróleo (CAP) de 8743 ft TVDSS y un factor volumétrico del petróleo de 1,153 BY/BN, y de esta manera se obtiene un POES de 78.547.869 STB, comparado con el POES reportado en el año 2016 (igual a 79.500.547 STB), representa una variación del 1,2%.

## Escalamiento de modelo

- Reducir el número de celdas del modelo original:
  - Modelo grueso
  - Reducir tiempos de simulación.
- Se realizó el escalamiento de las capas verticales de 40-20:
  - Arenisca Uinf, relativa homogeneidad.
  - No afecta las propiedades de los histogramas de las facies y de porosidad.
- Se validó los datos PVT del pozo PKNA 015.
- Se realizó un Modelo de Fluidos.
- Se realizó el proceso lumping que se basa en el agrupamiento de los componentes, se redujo de 43 a 4.
- Se ajustó los datos PVT para determinar el error entre los resultados reales y simulados, todo esto mediante ecuaciones de estado.
- Los resultados muestran un ajuste aceptable del PVT.

## Análisis de propiedades roca-fluido

Se procede a normalizar las curvas de permeabilidad relativa y se ajusta la curva promedio obtenida al modelo de Corey.

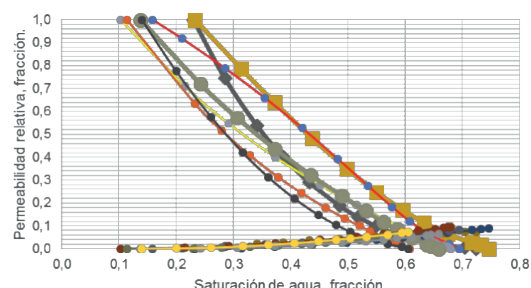


Figura 4. Resultado del análisis de permeabilidades relativas para 7 plugs del pozo PKNA-014.

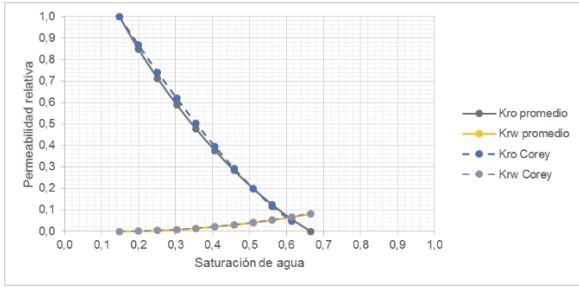


Figura 5. Ajuste de la curva promedio de permeabilidades relativas al modelo de Corey.

**Diseño de proyecto de LSW**

Para su efecto se consideraron dos alternativas:

- 1) Utilizar el agua de Holling del campo Sacha.
- 2) Construir facilidades en Paka Norte para tratar agua producida del mismo campo.

**Datos recurrentes**

De los historiales de WO se evidenció que las formaciones presentaban daños, debido a taponamientos de la intake de las bombas eléctricas, por un mal control de pozos por el agua de formación, maniobras en los pozos con equipos pescados.

Comunicación entre arenas en pozos con completaciones duales por problemas en la completación.



Figura 6. a) Sólidos en a entradas de las bombas, b) Huevo en tubería. Fuente: Petroamazonas EP.

La figura 7 muestra la presión de reservorio vs el tiempo, valores obtenidos a partir de la pruebas de presión realizadas a 13 pozos. Se realizó una regresión, para predecir el valor de la Pr para la fecha del último dato histórico de producción 31 jul, 2018; valor Pr = 1536,6 psi.

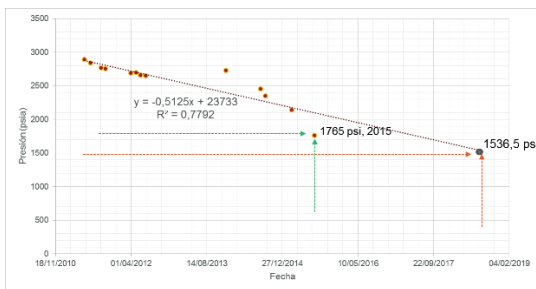


Figura 7. Historial de presión de reservorio del campo Paka Norte.

**Construcción e inicialización**

Consiste en carga de datos obtenidos en las sec-

ciones anteriores de facies, k, Ø, Sw, trayectorias de los pozos, CMG\_builder.

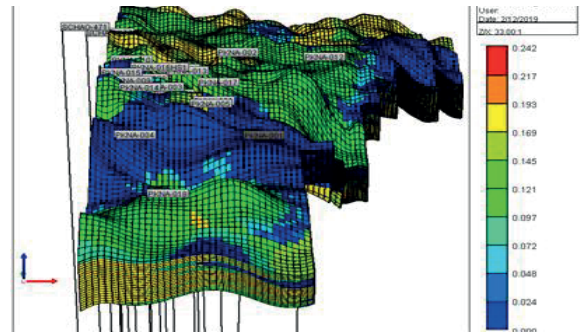


Figura 8. Detalle 3D del grid y los pozos del campo Paka Norte.

La figura 9 muestra el análisis de compresibilidad de volumen de poro del pozo PKNA 014. Se estima un valor de compresibilidad de  $2,47 \times 10^{-6} \text{ psi}^{-1}$ .

Presión neta de confinamiento= Presión lito-estática - Pr= 6724,5 psi. CAP=8743ft PAM EP, Pr= 2892 psi @ 9616,2ft, Swi=0,1144 y Pwf, historial de producción.

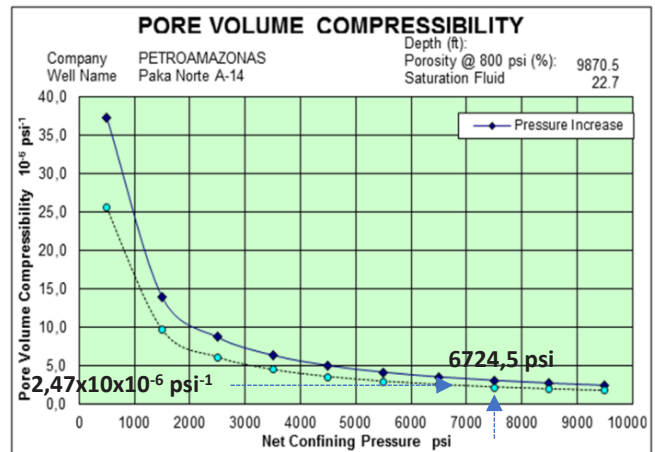


Figura 9. Resultados del análisis de compresibilidad de volumen de poro del pozo PKNA-014. Fuente: Petroamazonas EP.

**Ajuste Histórico**

La figura 10 muestra una caída de presión abrupta de 2892 psi hasta 600 psi al 2018.

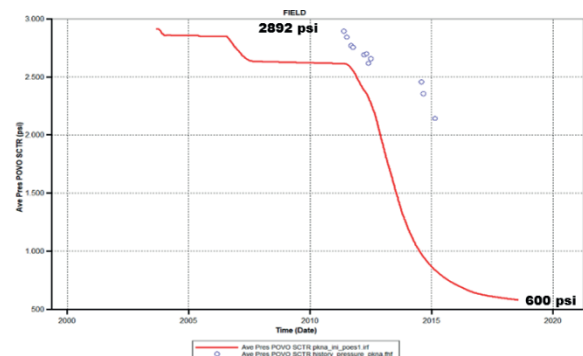


Figura 10. Presión estática de yacimiento para la primera inicialización del modelo dinámico.



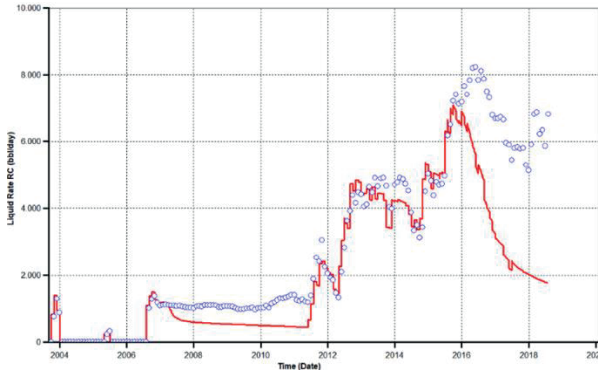


Figura 11. Ajuste de líquido para la primera inicialización del modelo dinámico.

En el pozo PKNA-004 no se encontró una litología de arenisca U Inferior, lo que podría indicar una barrera de permeabilidad.

**Mecanismo de empuje:** hidráulico y gas en solución. Alta producción de agua del campo (10 millones de barriles de agua a julio de 2018) aporte de agua por parte del acuífero analítico tipo Carter-Tracy para soporte de la presión inicial.

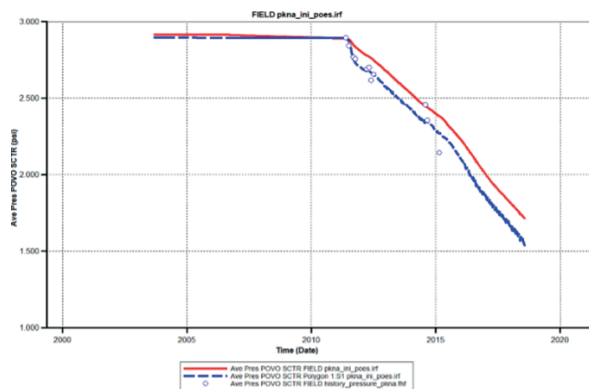


Figura 12. Ajuste de presión.

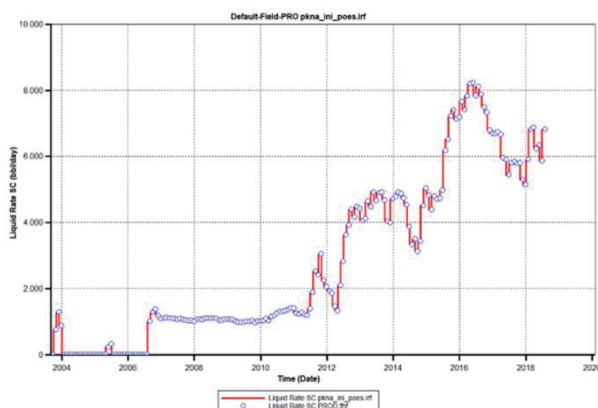


Figura 13. Ajuste de líquido.

Ajuste entre la producción histórica y la producción simulada de petróleo y agua del campo.

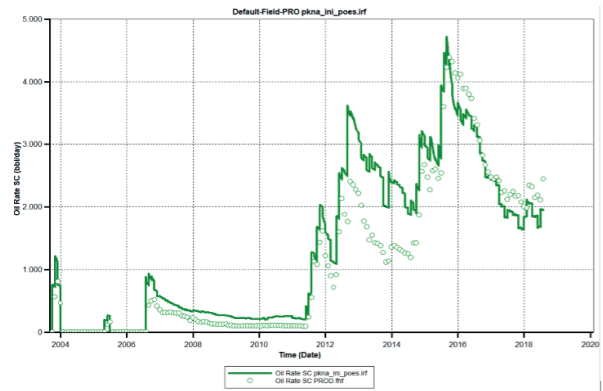


Figura 14. Ajuste de la producción de petróleo.

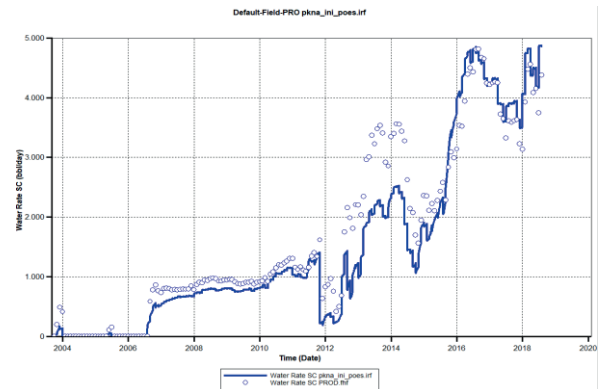


Figura 15. Ajuste de la producción de agua.

Para el ajuste de producción se consideraron dos tipos de modificaciones: 1) Carácter Regional y 2) Carácter local.

### Ajuste regional:

- Incremento de la Kv a un valor del+ 12.5% de la Kh.
- En base a un análisis de sensibilidad se estableció un valor de contacto agua-petróleo igual a 8739 ft TVDSS esto para obtener un mejor ajuste.
- Se crearon dos zonas de Kr distintas (centro norte y sur), a fin de mejorar el aporte de agua en la zona sur.

### Ajuste local:

Cambios en las producciones.

- PKNA017, completación dual con comunicación entre arenas, problemas en la completación, figura 16.

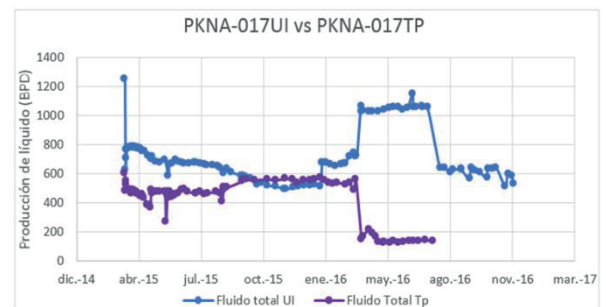


Figura 16 Producción de fluido de las arenas U Inferior y T principal en el pozo PKNA-017.

- PKNA005, problema mecánico. Salinidades bajas, producciones de agua altas, SQZ (cementación forzada), indicio de ingreso de agua de una formación aledaña, figura 17.

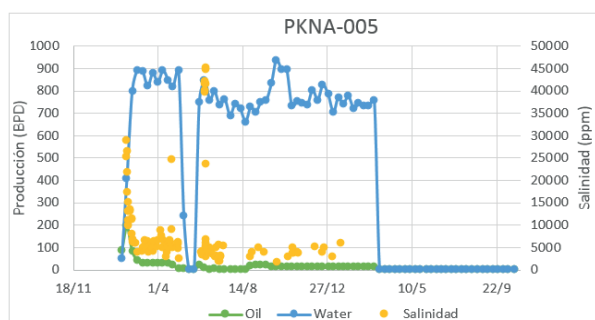


Figura 17. Producción de agua y petróleo en el pozo PKNA-005 con detalle de mediciones de salinidad del agua de formación

- Modificación de las celdas conectadas al acuífero en los pozos con excesiva producción de agua.
- En la mayoría de pozos se requirió ubicar valores de daño de hasta 7, esto para lograr acercarse a la presión reportada. Justificación de daño, reportes confirman existencia de finos en las entradas de las bombas).

Con lo antes indicado se obtuvo un buen ajuste de producción histórica.

**Predicciones**

Tabla 1. Caso Paka Norte.

Caso Base	Condiciones actuales, 8 pozos activos									
	Conversión a Inyector		Re-entry				Perforación nuevos pozos			
Caso 1	PKNA 002	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Caso 2	PKNA 002	NA	PKNA 010	PKNA 014	PKNA 017	PKNA 007	PKNA 019	PKNA 020	PKNA 021	PKNA 022
Caso 3	PKNA 002	PKNA-013	PKNA 010	PKNA 014	PKNA 017	PKNA 007	PKNA 019	PKNA 020	PKNA 021	PKNA 022
Caso 4	PKNA 002	NA	PKNA 010	PKNA 014	PKNA 017	PKNA 007	PKNA 019	PKNA 020	PKNA 021	PKNA 022

Tabla 2. Costos del proyecto usados para el análisis económico.

	Costos del proyecto						
	Inversión inicial		Trabajos en pozos		Operación		
Conversión de pozo PKNA-002UI a inyector	\$	800.000	Perforación	\$	3.600.000	Inyección de agua (por barril)	\$ 2,00
Facilidades de inyección	\$	1.200.000	Sidetrack	\$	1.300.000	Desalinización (por barril)	\$ 0,13
<b>Total</b>	\$	<b>2.000.000</b>	Reacondicionamiento	\$	500.000	Petróleo producido (por barril)	\$ 17,26

**Consideraciones:**

Para el diseño de la tasa de inyección y la presión de cabeza se definió en base a los datos del pozo PKSB- 013I, BIPD (barriles de inyección por día)= 4250 bbls, Pcabeza=1850 psi, facilidades de superficie para inyección a construirse similares a los del campo Paka Sur.

PKNA-002UI convertirlo a inyector: pozo abandonado por alto corte de agua y por bajas reservas, ubicado en el flanco de la estructura y cerca al contacto agua- petróleo ideal para empezar el proceso de inyección. Tiene buenas características petrofísicas Ø entre 15 y 20%, k de 500 a 700 mD, espesor cercano a los 25 ft.

Fuente: Los costos de conversión de pozos, perforación, sidetrack, reacondicionamiento y petróleo producido fueron tomados de la propia empresa (Petroamazonas, 2018), mientras que el costo de inyección fue tomado de Bailey et al. (2000) y el costo de desalinización de Verbeek y Matzakos (2009).

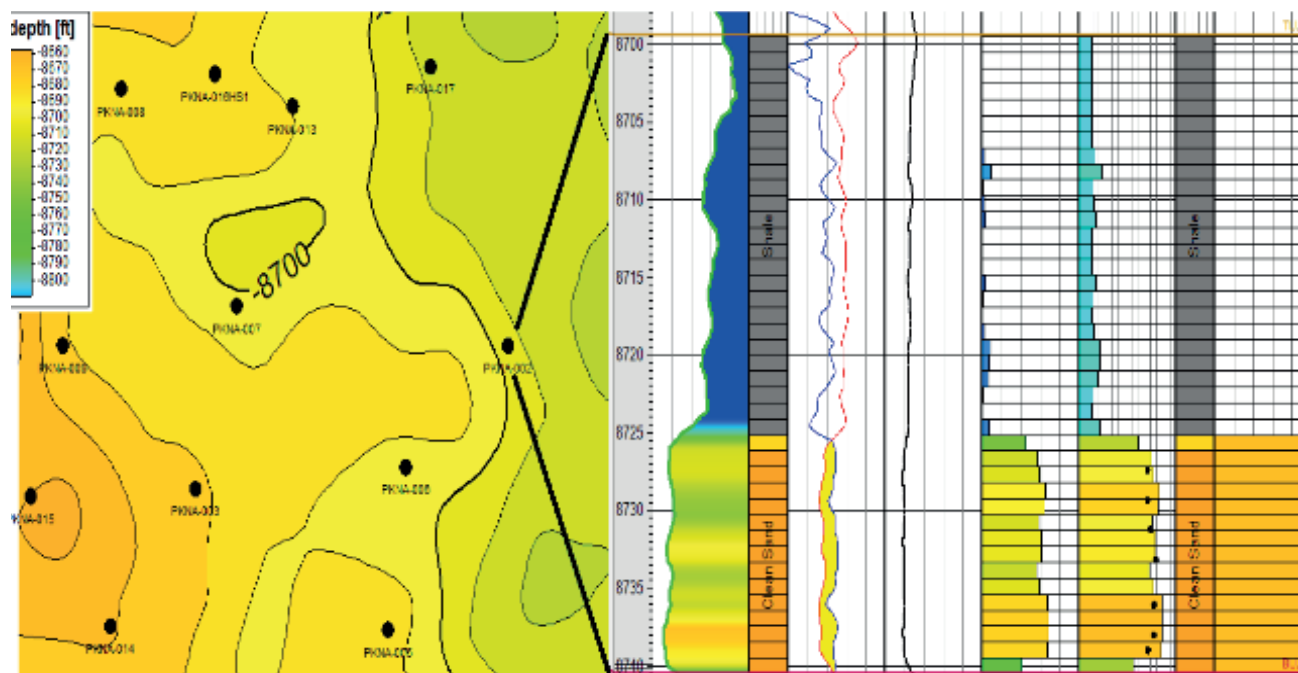


Figura 18. Ubicación y detalle de las propiedades petrofísicas del pozo PKNA-002U.

Para el resto de los casos se consideró la reincorporación de pozos cerrados por condiciones mecánicas leves (PKNA-010 y PKNA-014) y un re-entry en un pozo con serios problemas mecánicos (PKNA-017). Para el caso 3, se escogió el pozo PKNA-013 debido a su ubicación cercana a los pozos del sector norte del campo y su ubicación relativamente baja a nivel de estructura.

Para el caso 4 se hace una combinación general de los casos previos y la perforación adicional de 4 pozos en el sector noroccidental del campo.

## RESULTADOS

Tabla 3. Resumen resultados casos.

Caso Base 2028	Prod Cum Oil _CMG MM BBLs	BPPD BBLs	FR %	Pr psi
	7,49	122,58	10,56	1308
<b>Caso 1 2028</b>	<b>Prod Cum Oil _CMG MM BBLs</b>	<b>BPPD BBLs</b>	<b>FR %</b>	<b>Pr psi</b>
LSW	10,02	878	14,11	1685
HSW	9,65	774	13,59	
Diferencia	0,37			
<b>Caso 2 2028</b>	<b>Prod Cum Oil _CMG MM BBLs</b>	<b>BPPD BBLs</b>	<b>FR %</b>	<b>Pr psi</b>
LSW	10,66	994	15,02	1575
HSW	10,27	868	14,48	
Diferencia	0,39			
<b>Caso 3 2028</b>	<b>Prod Cum Oil _CMG MM BBLs</b>	<b>BPPD BBLs</b>	<b>FR %</b>	<b>Pr psi</b>
LSW	11,15	1092	15,79	1599
HSW	10,74	997	15,13	
Diferencia	0,41			
<b>Caso 4 2028</b>	<b>Prod Cum Oil _CMG MM BBLs</b>	<b>BPPD BBLs</b>	<b>FR %</b>	<b>Pr psi</b>
LSW	14,08	1589	19,84	1479
HSW	13,54	1485	19,02	
Diferencia	0,54			
Pozos Perforados	0,65 - 1,3			

### Evaluación Económica:

Los proyectos de baja salinidad para cualquiera de los escenarios son más rentables al tener valores actuales netos y tasas internas de retorno más altas;

esto se traduce en períodos de recuperación de la inversión más cortos, ver tabla 4.

Tabla 4. Resumen Evaluación Económica.

		VAN	TIR	PRI (años)
Caso 1	Alta salinidad	\$ 7.578.569,74	44%	2,9
	Baja salinidad	\$ 10.811.805,99	51%	2,64
Caso 2	Alta salinidad	\$ 10.108.223,49	75%	1,61
	Baja salinidad	\$ 13.654.052,66	79%	1,57
Caso 3	Alta salinidad	\$ 11.914.473,02	57%	2,82
	Baja salinidad	\$ 16.021.473,82	62%	2,77
Caso 4	Alta salinidad	\$ 33.678.906,61	70%	2,75
	Baja salinidad	\$ 39.044.648,36	74%	2,7

## DISCUSIÓN

- Producción acumulada entre los casos de LSW y HSW muestran diferencia entre 400.000 a 500.000 barriles, lo que es equivalente a perforar un nuevo pozo en cada uno de los casos.
- Convertir el pozo PKNA-002U, permite recuperar un volumen adicional de 2,5 millones de barriles, FR incremental del 4%, razón inicio del proyecto.
- Desarrollen las estrategias de los casos 3 y 4 a fin de reactivar los pozos que actualmente se encuentran cerrados y perforar pozos en la zona centro-norte del campo. Se obtendría una producción acumulada de hasta 6,59 millones de barriles, llegando a duplicar el factor de recobro original, que a condiciones actuales se ubica al 10%.

## CONCLUSIONES

- POES presentado por Petroamazonas para el campo Paka Norte.
- Buen ajuste entre las propiedades petrofísicas



- pobladas en el modelo estático del campo Paka Norte y las propiedades petrofísicas obtenidas del núcleo del pozo PKNA-014 o de las pruebas XPT.
- Se encontró una anomalía en el poblamiento en la zona del pozo PKNA-001.
  - El contacto agua petróleo muestra variaciones de +/- 2 pies en todos los pozos, a excepción del pozo PKNA-017 que muestra un valor fuera de tendencia.
  - El campo ha presentado una declinación abrupta de presión.
  - Pozos con completaciones duales presentaron problemas de comunicación entre arenas.
  - El ajuste de la presión de fondo fluyente de los pozos requirió de la adición de valores de daño (skin) de hasta 7.
  - En base a los resultados de los 4 casos (presentación anterior).
  - Las condiciones de mojabilidad del campo Paka Norte señalan una tendencia de mojabilidad medianamente mixta con tendencia al agua lo que limita la acción de la inyección de baja salinidad.
  - Los parámetros del agua de formación indican una presencia de alrededor de 7000 ppm de iones divalentes ( $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ ) lo que, según la literatura, promueve una mejor interacción con el agua de baja salinidad y la superficie de la roca.
  - Tomando en consideración el análisis económico, el caso más atractivo a corto plazo sería el escenario 2 ya que el período de recuperación de la inversión es de algo más de año y medio con una tasa interna de retorno del 89%, mientras que el resto de los casos tendrían períodos de recuperación de la inversión cercanos a los 3 años y TIR menores.
  - Para un proyecto a mediano plazo y con el dinero suficiente para implementar la perforación de pozos, el caso más atractivo sería el caso 4 ya que el VAN es de 39 millones de dólares siendo el TIR de 74% y el período de recuperación de la inversión de 2,7 años.

## RECOMENDACIONES

- Desarrollar un estudio a profundidad para establecer la profundidad del contacto agua petróleo, ya que el valor que toma la empresa actualmente tiende a ser demasiado optimista.
- Desarrollar un análisis de tipos de roca en conjunto con las pruebas de presión capilar con la finalidad de mejorar la caracterización petrofísica del reservorio U Inferior.
- Ampliar la frontera del modelo en el límite occidental, para evitar afectar el rendimiento de los pozos ubicados muy cerca del límite del

Bloque 15.

- Efectuar un estudio detenido de las presiones del reservorio ya que la cercanía de los pozos del campo Sacha podrían causar una despresurización mayor a la prevista en este trabajo.
- Realizar un análisis de inyección de polímero para evaluar si esto permitiese mejorar la eficiencia de barrido y así alcanzar un factor de recobro más alto.
- Desarrollar estudios de inundación de agua de baja salinidad en el núcleo de la arena U Inferior del pozo PKNA-015 a fin de corroborar la interpolación de las curvas de permeabilidad relativa.
- Realizar un análisis mineralógico de la formación U Inferior para poder confirmar la presencia y el porcentaje de calcita;
- Extrapolar el presente análisis a otros campos de Petroamazonas EP a fin de identificar potenciales prospectos para implementar la técnica de inyección de agua de baja salinidad.
- Definir los costos reales que tomaría la implementación de las facilidades de inyección para el Campo Paka Norte con el fin de contar con estimadores económicos más confiables.

## REFERENCIAS

- Ahmed, T. (2010). Reservoir Engineering Handbook. Atlanta, EEUU: Elsevier.
- Al-Marhoun, M. (2003). Adjustment of Differential Liberation Data to Separator Conditions. SPE Reservoir Evaluation & Engineering - SPE RESERV EVAL ENG. 6. 142-146. doi: 10.2118/84684-PA.
- Chandrashegaran, P. (4 de agosto de 2015). Low Salinity Water Injection for EOR. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/178414-MS.
- Computer Modelling Group. (2017). Manual del simulador GEM. Calgary. Documento Interno.
- Durán Yasuma, S. (2019). Tesis de Maestría en Ingeniería de Petróleos: Mención Recuperación Mejorada. Modelo de simulación matemática para la evaluación de inyección de agua de baja salinidad en la arenisca U inferior del campo Paka Norte, B15. Universidad Central del Ecuador.
- Waterflooding. SPE Reservoir Engineering, 11(6 Chandrashegaran, 2015):1000 –1012.

# Aplicación de la teoría de Buckley-Leverett en la recuperación mejorada por inyección de solvente en el campo VHR

## *Buckley Leverett theory application in improved recovery by solvent injection in the VHR Field.*

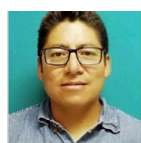
DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.1802>



**Mena Villacís Luis Franklin**  
Petroamazonas E.P.  
franklin\_mena@petroamazonas.gob.ec



**Chamorro Ramírez José Daniel**  
Consultor Independiente  
jdchamorro@uce.edu.ec



**Guamán Juan Carlos**  
Petroamazonas E.P.  
juan\_guaman@petroamazonas.gob.ec



**Pinto Arteaga Gustavo Raúl**  
Universidad Central del Ecuador  
grpinto@uce.edu.ec

### RESUMEN

Este estudio presenta los resultados de laboratorio de la inyección de solvente en muestras obtenidas del reservorio M-2, campo petrolífero VHR de la región amazónica ecuatoriana. El objetivo fue determinar el aumento del factor de recuperación en núcleos saturados con aceite de 29.2 °API. Este estudio consistió en tres etapas: en la primera etapa, varios métodos EOR que potencialmente pueden aplicarse a núcleos, que se obtuvo de la arenisca M-2, fueron analizados. En la segunda etapa, se realizó un desplazamiento de petróleo utilizando agua de formación, este resultado se usó como punto de referencia. En la tercera etapa, se procedió a desplazar el petróleo con solvente y se comparó con el resultado de la segunda etapa. Para la segunda y tercera etapa, se desarrolló un modelo simple basado en la teoría de Buckley-Leverett. Este modelo ayudó a cuantificar el aumento en el factor de recuperación. Los criterios de selección determinaron que las condiciones eran apropiadas para la inyección de solvente. El punto de referencia dio un factor de recuperación del 25.7%. Por otro lado, el aceite desplazado después de usar solvente fue de 43.77%. Este resultado significa un aumento del 18.07% en el factor de recuperación. El método numérico dio un factor de recuperación de 49.97%, que es 6.2% más alto que los valores experimentales. El experimento permitió concluir que la opción de inyectar solvente es muy práctica para usarlo en un proyecto piloto para el reservorio M-2 del campo VHR de la región amazónica ecuatoriana.

**PALABRAS CLAVE:** *inyección de solvente; recuperación mejorada del petróleo; factor de recobro.*

### ABSTRACT

*This study presents the laboratory results of the solvent injection in samples obtained from reservoir M-2, the VHR oil field of the Ecuadorian Amazon region. The objective was to determine the increase of the recovery factor in cores saturated with oil of 29.2 API degree. This study consisted of three stages: in the first stage, several EOR methods that can potentially be applied to cores, which was obtained from the M-2 sandstone, that ones were analyzed. In the second stage, an oil displacement was made using formation water, this result was used as a reference point. In the third stage, the oil was displaced with solvent and compared with the result of the second stage. For the second and third stages, a simple model based on the Buckley-Leverett theory was developed. This model helped to quantify the increase in the recovery factor. The screening criteria determined that the conditions were appropriate for solvent injection. The reference point gave a recovery factor of 25.7 percent. On the other hand, the displaced oil after using solvent was 43.74 percent. This result means an increase of 18.04% in the recovery factor. The numerical method gave a recovery factor of 49.97 percent, which is 6.23 percent higher than the experimental values. The experiment allowed to conclude that the option of injecting solvent is very practical for use in a pilot project for the M-2 reservoir of the VHR field of the Ecuadorian Amazon region*

**KEYWORDS:** *solvent injection; enhanced oil recovery; recovery factor.*

## INTRODUCCIÓN

Cuando inició la explotación petrolera en el oriente ecuatoriano en los años 70s, el objetivo de las empresas extranjeras era la recuperación de sus inversiones con la perforación de pozos petroleros que permitan extraer grandes volúmenes de hidrocarburos en el menor tiempo posible, aplicando la recuperación primaria y secundaria dejando en los reservorios cerca del 60 al 80% del petróleo in situ.

La demanda actual de energía ha permitido el desarrollo de la Recuperación Mejorada, la cual permite incrementar el factor de recobro en los reservorios entre el 35 al 45% aplicando metodologías que han sido desarrolladas en otros países con buenos resultados de la inyección de solvente es una opción técnica y económica frente a otros métodos.

El solvente reduce la tensión interfacial del fluido desplazado con el fluido desplazante, incrementando la miscibilidad y la viscosidad de la mezcla mejorando de esta manera la eficiencia de barrido areal, aumentando de esta manera el factor de recobro significando mayor recuperación de petróleo. En el campo VHR, el reservorio M-2 sus presiones y volúmenes de producción han bajado considerablemente, condiciones que lo hacen un potencial candidato para la implementación de un plan piloto de recuperación mejorada mediante la inyección de solvente.

En Ecuador esta metodología no se ha implementado, el agua producida crece constantemente, cuyo tratamiento y manejo es complejo, entonces una forma eficiente de aprovecharla es mediante esta metodología, cuyos resultados permitirán la puesta en marcha del proyecto piloto y posterior masificación en otros campos maduros de la Cuenca Oriente.

## METODOLOGÍA

### Ubicación del Campo

El campo Víctor Hugo Ruales (VHR), Bloque 58, está localizado en la Región Amazónica Ecuatoriana, provincia de Sucumbíos, limitado al Norte por el río Putumayo (límite con Colombia), al sur por el Bloque 53 campo Sigue y al sur-oeste por los campos Frontera y Tapi-Tetete, cubriendo un área aproximada de 3466 hectáreas. La figura 1 muestra la ubicación de campo (Petroamazonas EP & IGAPÓ S.A., 2017).

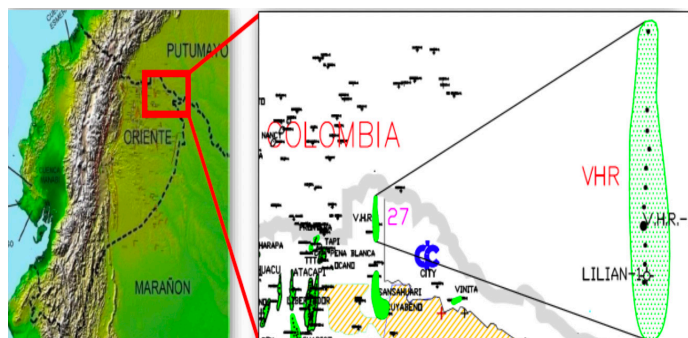


Figura 1. Ubicación del campo Víctor Hugo Ruales

Fuente: Petroamazonas EP e IGAPÓ S.A., 2017

### Generalidades del Campo VHR

El campo Víctor Hugo Ruales (VHR), actualmente manejado por la empresa estatal Petroamazonas EP., pertenece al Activo Cuyabeno, fue descubierto por la Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana (CEPE) el 17 de junio de 1988 con la perforación del pozo Cantagallo-1, actualmente conocido como VHR-001, con una producción de 10,600 BPPD de 32° API, de las arenas productoras: Basal Tena, "U" superior, "U" media, "U" inferior y "T" superior, (Cárdenas, 2018, p. 7).

El campo tiene 28 pozos produciendo, 3 reinyectores de agua de formación, 1 abandonado. Para marzo de 2019 la producción total fue de 30,985 BFPD, con 7,122 BPPD, y 23,863 BAPD con un corte de agua de 77%. La producción acumulada de petróleo del campo VHR es de 56.68 MMBIs. Los reservorios de U aportan con el 66% de la producción acumulada, y la arena en estudio M-2 aporta el 10%, es decir 5.6 MMBIs. Esta producción tiene su respectiva declinación, lo que requiere optimizar la producción día a día, mediante la implementación de nuevas tecnologías y diferentes métodos para incrementar o mantener su producción (Petroamazonas EP e IGAPÓ S.A., 2017, p. 13).

### Propiedades Petrofísicas de M-2

Las principales propiedades petrofísicas de la arena M-2 del campo VHR se describen a continuación en la Tabla 1:

Tabla 1. Propiedades petrofísicas de M-2

Pi [psi]	3190	°API	29.2
Temp [°F]	197	k [md]	159
μoi [cp]	5.83	Salinidad [ppm]	40000
Pb [psi]	480	Swirr [%]	10
Rs [MSCF/STB]	167	Sor [%]	21
Bob [BY/BN]	1.182	m	1.08
μob [cp]	1.540	n	2.45

Fuente: Petroamazonas EP e IGAPÓ S.A., 2018.

## POES y Reservas

El campo VHR al año 2018 reporta un POES de 50 MMBls para el reservorio M-2. Las reservas remanentes han sido estimadas en 2.9 MMBls. El factor de recobro actual del reservorio es 17.5%.

La tabla 2, a continuación, muestra el cálculo del POES y reservas remanentes:

**Tabla 2. Cálculo de reservas**

<b>Reservorio</b>	M-2	FR Final Estimado [%]	17.5
<b>Volumen Total [acre-pie]</b>	354,928.00	Factor de Recobro Actual al 31-Dic-2018 [%]	11.8
<b>Área [acres]</b>	7,929.78	Recuperación Final estimadas	8,769,696
<b>Espesor [pies]</b>	7.83	Producción acumulada al 31-Dic-2018	5,912,656
<b>Volumen Neto [acre-pie]</b>	90,897.00	Reservas Probadas Produciendo	2,656,472
<b>Porosidad [%]</b>	13.36	Reservas Probadas (1P)	2,857,039
<b>Sw [%]</b>	37.21	Reservas Probadas + Probables (2P)	2,857,039
<b>Boi [By/Bn]</b>	1.182	Reservas Probadas + Probables + Posibles (3P)	2,857,039
<b>POES [Bls]</b>	50,113,244		

Fuente: Petroamazonas EP e IGAPÓ S.A., 2018.

## Inyección de Agua con Solventes

La inyección de solventes se encuentra dentro de los procesos de inyección miscibles, ya que con la miscibilidad del solvente y los fluidos existentes en el yacimiento se garantiza una buena eficiencia de este proceso de desplazamiento, ya que en varios estudios la inyección de solventes afecta considerablemente en la humectabilidad de la roca, presión capilar de los poros, tensión interfacial de los fluidos y aumento viscoso del fluido desplazante, reduciendo la movilidad, factores muy importantes en la recuperación del petróleo. Entre los fluidos más utilizados en la operación se encuentran: alcoholes orgánicos, cetonas, hidrocarburos refinados (Salager, 2005, p. 56).

El solvente usado es un alcohol proporcionado por una empresa Nacional que se dedica a la estimulación de pozos petroleros.

## Ecuación de Flujo Fraccional

“La ecuación de flujo fraccional relaciona la fracción de fluido desplazante en la corriente de fluido total,

en cualquier punto del reservorio” (Herrera, 2013, p. 74), Leverett fue quien desarrolló esta ecuación, y para su deducción tomó en consideración un desplazamiento tipo pistón con fugas, en el cual el fluido desplazado es petróleo y el fluido desplazante es agua (Criollo, 2011, p. 58).

La ecuación 1, permite determinar el flujo fraccional, asumiendo que los efectos del gradiente de presión capilar y los efectos de la gravedad son despreciables:

$$f_w = \frac{1}{1 + \frac{\mu_w k_{ro}}{\mu_o k_{rw}}} \quad \text{Ec. (1)}$$

Dónde:

$\mu_w$  = Viscosidad de agua [cp].

$\mu_o$  = Viscosidad de petróleo [cp].

$k_{ro}$  = Permeabilidades relativa al petróleo [md].

$k_{rw}$  = Permeabilidades relativa al agua [md].

## Factor de recobro

El factor de recobro en un proceso de recuperación secundaria o mejorada en campo, se calcula con la siguiente ecuación:

$$F_R = E_V \times E_A \times E_D \quad \text{Ec. (2)}$$

Dónde:

FR = Factor de recobro

EV = Eficiencia de desplazamiento vertical

EA = Eficiencia de desplazamiento areal.

ED = Eficiencia de desplazamiento microscópico

ES = Eficiencia de desplazamiento volumétrico.

$$E_S = E_V \times E_A \quad \text{Ec. (3)}$$

El Factor de recobro para un proceso de inyección en laboratorio se calcula con la ecuación:

$$F_R = \frac{\text{Volumen de petróleo recuperado}}{\text{Volumen de petróleo en el plug}} \times 100\% \quad \text{Ec. (4)}$$

En la primera etapa el screening realizado en el software EOR DETECT, desarrollado en la Carrera de Petróleos de la FIGEMPA en el 2016 por José Bolaños permitió hacer una buena selección del método de inyección. El mejor método que se ajustó a las condiciones operaciones del campo fue la inyección de solventes con el 73% de aplicabilidad sobre los demás métodos. Ver figura 2.

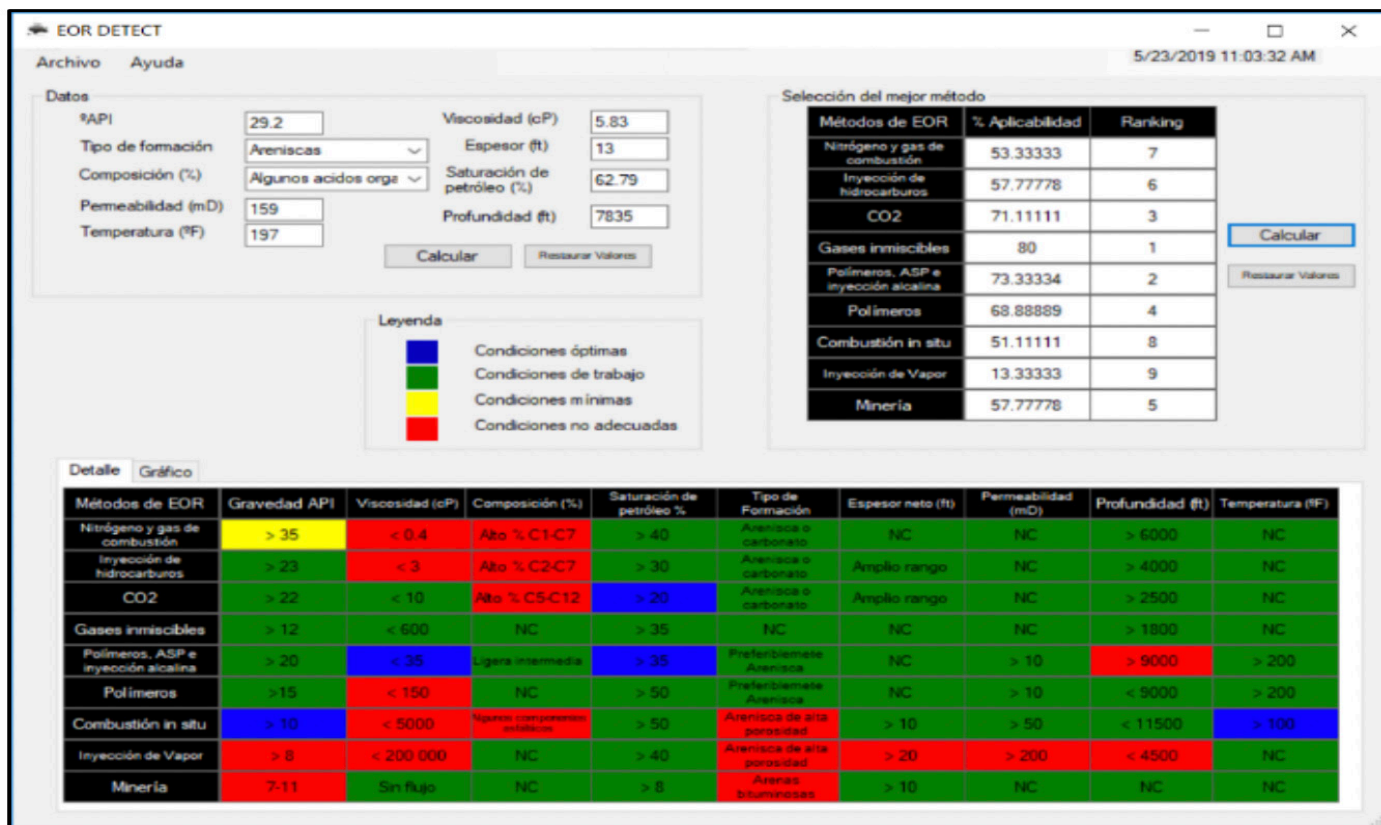


Fig. 2 Screening de método EOR usando el EOR - DETECT

Tabla 3. Propiedades físicas y químicas de solvente

DATOS			
Área [acres]	247.9	$\mu_w$ [cP]	0.80
Qiny [Bls/día]	1000	$\mu_w +$ solvente [cP]	1.10
$\Phi$ [%]	16.7	H [ft]	15
K [md]	159	Swi [%]	10
Bo [By/BN]	1.182	°API	29.2
$\mu_o$ [cP]	5.83		

Fuente: MSDS Cia. Dynadrill, 2019.

La selección de la profundidad de muestreo se efectuó teniendo en cuenta la profundidad del intervalo de aporte en el pozo, razón por la cual se decidió seleccionar una muestra de 7839.8 ft, ver figura 3.

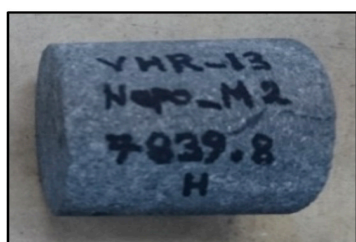


Figura 3. Core arena M-2, VHR-13

Fuente: Laboratorio CIQ Petroamazonas EP, 2019.

La preparación a la cual fue sometido el core para su posterior desplazamiento con agua de formación y solvente, se describe, a continuación:

Del core se cortó un plug de 1.5" de diámetro y 8 cm de longitud, ver figura 4.



Figura 4. Plug arena M-2, VHR-13

Fuente: Laboratorio CIQ Petroamazonas EP, 2019.

Posteriormente, se realizó un perfilado para obtener una muestra cilíndrica de caras paralelas, los hidrocarburos del plug se han eliminado con circulación de tolueno bajo una cámara extractora de gases, después para eliminar la humedad en los espacios porosos la muestra se introdujo en un horno al vacío por 24 horas a 60° C, para posteriormente saturar la muestra al 100% con agua de formación del reservorio M-2 en un cilindro saturador a 1500 psi, por tres días. Ver figura 5.



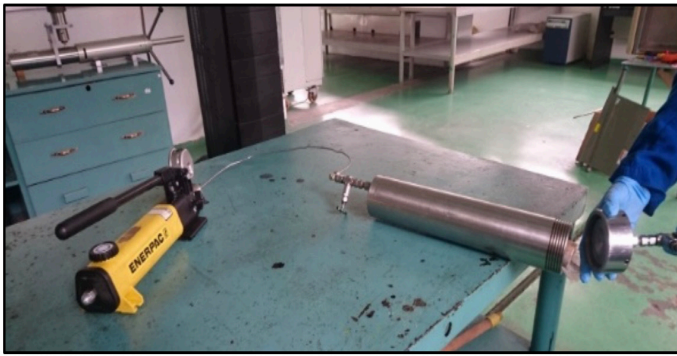


Figura 5. Saturación con agua de formación, plug arena M-2, VHR-13  
Fuente: Laboratorio CIQ Petroamazonas EP, 2019.

Ensamblado el plug en el core holder del equipo FDS-350, ver figura. 6, y sometido a presión y temperatura de reservorio, se saturó de petróleo inyectando 15 volúmenes porosos de la muestra, luego este plug saturado de petróleo se lo introdujo en el equipo DIN STAR para ser sometido a un proceso de destilación que permitió determinar que el plug contiene  $0.4 \text{ cm}^3$  de agua, equivalentes a 6.67% y  $5.59 \text{ cm}^3$  de petróleo, igual al 93.33%.



Figura 6. Equipo FDS-350  
Fuente: Laboratorio CIQ Petroamazonas EP, 2019.

Se realizó el desplazamiento al plug en el equipo FDS-350 con agua de formación inyectando 10 volúmenes porosos de la muestra, el fluido producido fue recogido en una probeta graduada, ver figura 7, que previamente contenía  $30 \text{ cm}^3$  de JP1 y dos gotas de demulsificante de acción rápida para evitar emulsiones.

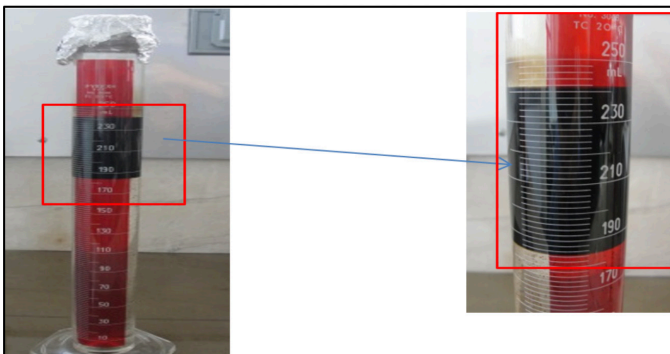


Figura 7. Fluido obtenido, desplazamiento con agua de formación  
Fuente: Laboratorio CIQ Petroamazonas EP, 2019.

En la tercera etapa, a las mismas condiciones, y después de restar el petróleo recuperado en la primera inyección, se inició el desplazamiento del contenido del plug utilizando la mezcla, constituida de  $999 \text{ cm}^3$  de agua y  $1 \text{ cm}^3$  de solvente en una cantidad de 10 volúmenes porosos de la muestra, que permitió recoger en una probeta graduada, ver figura 8, que al igual que en la fase anterior contenía  $20 \text{ cm}^3$  de JP1 y dos gotas de demulsificante.

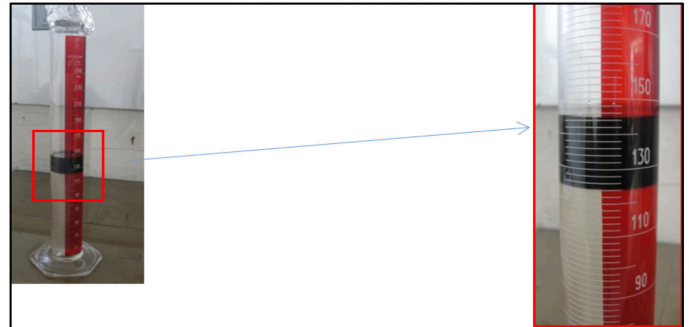


Figura 8. Fluido obtenido, desplazamiento con agua de formación y solvente  
Fuente: Laboratorio CIQ Petroamazonas EP, 2019.

A continuación, se realizó el cálculo analítico usando la ecuación de flujo fracción de Buckley-Leverett y avance frontal para posteriormente hacer una comparación con los datos obtenidos en laboratorio.

Con los datos obtenidos en laboratorio y en campo, principalmente la viscosidad del agua y viscosidad del agua más solvente se obtuvieron los siguientes resultados, Ver tabla 4:

Tabla 4. Datos para el cálculo del proyecto

DATOS			
Área [acres]	247.9	$\mu_w$ [cP]	0.80
$Q_{iny}$ [Bls/día]	1000	$\mu_w + \text{solvente}$ [cP]	1.10
$\Phi$ [%]	16.7	H [ft]	15
K [md]	159	$Sw_i$ [%]	10
$B_o$ [By/BN]	1.182	$^\circ\text{API}$	29.2
$\mu_o$ [cP]	5.83		

Fuente: Petroamazonas EP e IGAPÓ S.A., 2019.

Estos valores permitieron realiza la tabla 5, donde están los cálculos de las permeabilidades relativas al agua y petróleo, también el cálculo de  $f_w$  (flujo fraccional del agua de formación y  $f_w^*$  (flujo fraccional del agua de formación con solvente).

Con estos datos se realizaron los gráficos de fw y fw\*, contra Sw como se lo puede observar en la figura 9.

Los valores de las permeabilidades relativas al agua y al petróleo se calcularon con las ecuaciones 5 y 6 respectivamente (Stosur et al., 2003):

$$K_{rw} = K_{rw@Sor} * \left[ \frac{Sw - Swirr}{1 - Sor - Swirr} \right]^n \quad \text{Ec. (5)}$$

$$K_{ro} = K_{ro@Swirr} * \left[ \frac{1 - Sor - Sw}{1 - Sor - Swirr} \right]^m \quad \text{Ec. (6)}$$

Tabla 5. Cálculo de los flujos fraccionales

Sw	So	Krw	Kro	fw	fw'
0.1000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
0.1400	0.0580	0.0009	0.9375	0.0072	0.0052
0.1800	0.1159	0.0051	0.8754	0.0407	0.0299
0.2200	0.1739	0.0138	0.8136	0.1098	0.0823
0.2600	0.2319	0.0279	0.7521	0.2125	0.1641
0.3000	0.2899	0.0481	0.6910	0.3367	0.2696
0.3400	0.3478	0.0752	0.6302	0.4652	0.3875
0.4000	0.4348	0.1299	0.5400	0.6369	0.5605
0.4200	0.4638	0.1522	0.5102	0.6850	0.6126
0.4400	0.4928	0.1766	0.4804	0.7281	0.6608
0.4600	0.5217	0.2031	0.4509	0.7665	0.7048
0.4700	0.5362	0.2172	0.4361	0.7840	0.7253
0.4800	0.5507	0.2319	0.4214	0.8004	0.7447
0.4995	0.5790	0.2621	0.3929	0.8294	0.7796
0.5180	0.6058	0.2929	0.3659	0.8537	0.8092
0.5400	0.6377	0.3321	0.3341	0.8787	0.8405
0.5500	0.6522	0.3509	0.3196	0.8889	0.8533
0.5601	0.6668	0.3705	0.3051	0.8985	0.8655
0.5800	0.6957	0.4110	0.2767	0.9154	0.8873
0.6000	0.7246	0.4543	0.2484	0.9302	0.9065
0.6106	0.7400	0.4782	0.2334	0.9372	0.9157
0.6400	0.7826	0.5485	0.1924	0.9541	0.9379
0.6515	0.7993	0.5776	0.1765	0.9597	0.9455
0.6700	0.8261	0.6262	0.1512	0.9679	0.9564
0.7000	0.8696	0.7101	0.1108	0.9790	0.9714
0.7900	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000

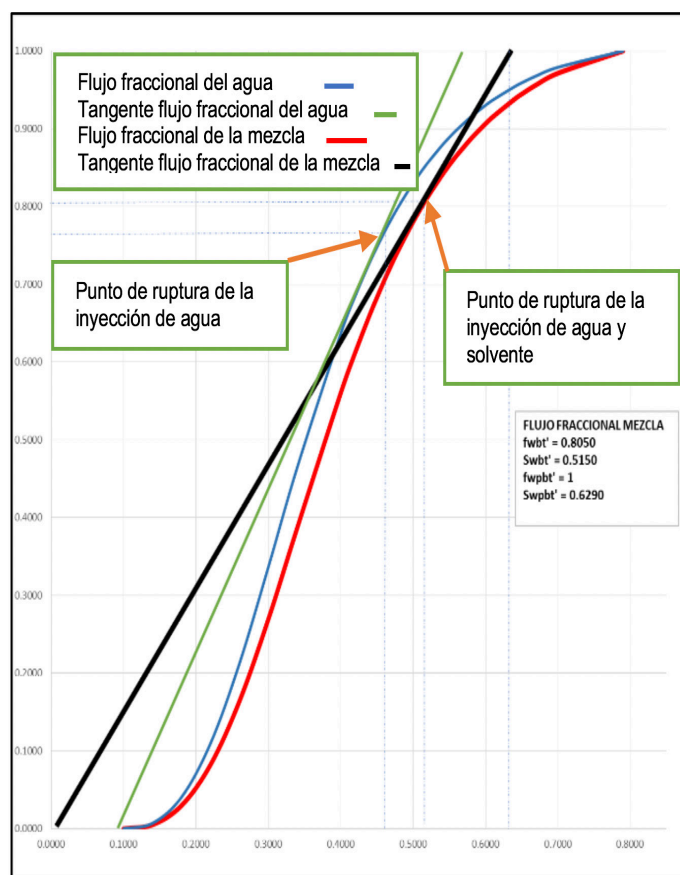


Figura 9. Flujo fraccional con agua de formación y solvente

De la figura 9, se pudo determinar el valor de las siguientes variables (tabla 6) para la curva de flujo fraccional del agua.

Tabla 6. Variables de la curva de flujo fraccional agua

CURVA DE FLUJO FRACCIONAL AGUA	
Swc (Saturación de Agua Connata)	0.1
Swbt (Saturación de agua al momento de la ruptura)	0.4350
Swpbt (Saturación promedio de agua en el frente de barrido al momento de la ruptura)	0.5500
fwc (flujo Fraccional del Agua Connata)	0
fwbt (Flujo fraccional de agua al momento de la ruptura)	0.7178
fwpbt (Flujo fraccional promedio de agua en el frente de barrido al momento de la ruptura)	1
Pendiente (∂fx/∂Sw)	2.45

De la figura 9, se determinaron los valores de las variables (tabla 7), para la curva de flujo fraccional de agua y solvente.



**Tabla 7. Variables de la curva de flujo fraccional de la mezcla (agua y solvente)**

CURVA DE FLUJO FRACCIONAL MEZCLA	
Swbt' (Saturación de la mezcla después del punto de ruptura)	0.5150
Swpbt' (Saturación promedio de la mezcla en el frente de inundación después del punto de ruptura)	0.6290
Fwbt' (Flujo fraccional de la mezcla después del punto de ruptura)	0.8050
Fwpbt' (Flujo fraccional promedio de la mezcla en el frente de inundación después del punto de ruptura)	1
Pendiente ( $\partial f_x / \partial S_w$ )	1.71

## RESULTADOS

En laboratorio, la recuperación de petróleo mediante el desplazamiento con agua de formación fue de 1.44 cm<sup>3</sup> del volumen total de 5.59 cm<sup>3</sup>, mediante la aplicación de la ecuación 4, se determinó el factor de recobro igual a 25.7%.

Del volumen restante de 4.15 cm<sup>3</sup> presentes en el plug, se realizó el desplazamiento con agua de formación y solvente recuperándose 0.75 cm<sup>3</sup> adicional, igual al 18.07%, es decir, la recuperación total fue de 2.19 cm<sup>3</sup>, equivalente al 43.77%.

En el método analítico, a partir de la figura 9 y tabla 6 respectivamente, permitió determinar el factor de recobro por la inyección de agua de formación, (tabla 8)

**Tabla 8. Resultados de inyección de agua de formación hasta el momento de ruptura**

RESULTADOS			
Atrans =	1.1316	Acres	Área transversal
Edbt =	50.00%		Eficiencia de barrido hasta ruptura
Npbt =	970,621	Bls	Petróleo barrido hasta rupture
Frbt =	34.92 %		Factor de recobro hasta ruptura
tbt =	1039	Días	Tiempo de ruptura
Wibt =	1'038,952	Bls	Agua acumulada hasta la ruptura

De igual manera con la figura 9 y tabla 7 respectivamente, se determinó el factor de recobro por la inyección de agua de formación con solvente, ver tabla 9:

**Tabla 9. Resultados de inyección de la mezcla en el frente inundado**

RESULTADOS			
Edbt' =	58.78%		Eficiencia de desplazamiento
$\Delta N_{pbt}$ =	418,445	Bls	Petróleo barrido por la mezcla posterior a la ruptura
Frbt' =	15.05 %		Factor de recobro posterior a la ruptura
Frtota l =	49.97 %		Factor de recobro total
Tbt' =	1490	Días	Tiempo posterior a la ruptura
Wibt' =	1'490,475	Bls	Agua acumulada posterior a la ruptura

La inyección durante 84.3 meses en el pozo inyector, recupera en los pozos productores, ver tabla 10:

**Tabla 10. Resultados de factor de recobro**

Fluido	Np [Bls]	Factor de recobro
Agua	970,621	35.92%
Mezcla	418,445	15.05%
Total	1,389,066	49.97%

La diferencia entre los factores de recobro de laboratorio y el método analítico es de 6.2%, para comprender mejor este criterio ver la tabla 11 a continuación:

**Tabla 11. Diferencia en los factores de recobro**

Fluido	Laboratorio	Método Analítico	Diferencia
Agua	25.7%	34.92%	9.22%
Mezcla	18.07%	15.05%	3.02%
Total	43.77%	49.97%	6.2%
	1'216,618.41 Bls	1,389,066 Bls	172,447.6 Bls

El fluido total inyectado a la arena M-2 del campo VHR, para obtener el petróleo total recuperado, es de 2'529,427 barriles, de los cuales 1'490,475 barriles son de la mezcla.

## CONCLUSIONES

- El desplazamiento con agua de formación hecho en laboratorio recuperó el 25.7% del volumen total, y con en el método analítico se recuperó el 34.92%, este último asumiendo un desplazamiento uniforme tipo pistón, donde se desprecian la presión capilar, y la gravedad, las cuales son tomadas en cuenta en el laboratorio, razón por la cual existe una variación con el método analítico, en la recuperación final de petróleo.
- Se determinó que el desplazamiento con agua de formación y solvente en laboratorio recuperó el 18.07% adicional, con el método analítico se recuperó un 15.05%, este último no considera los efectos de presión y temperatura del reservorio, por tal razón su eficiencia es baja, en comparación al laboratorio donde la presión y temperatura afectan a las propiedades del solvente mejorando así el barrido del petróleo dentro de lo espacios porosos.
- La inyección de agua de formación hasta el punto de ruptura se tarda 1039 días en comparación de la inyección de agua de formación con solvente

que tarda 1490 días, determinando que el solvente hace que el fluido desplazante retarda su llegada al punto de ruptura por su aumento en la viscosidad.

- La saturación de agua ( $S_w$ ) aumenta una vez alcanzado el punto de ruptura, 0.55 para el agua de formación y 0.629 para la mezcla, haciendo que la inyección de agua con solvente no sea eficiente una vez alcanzado este punto, porque los espacios porosos tienen más agua que petróleo.
- La movilidad del fluido desplazante garantiza su efectividad, el agua de formación tiene movilidad alta porque su viscosidad es 0.8 cP, en cambio la movilidad de la mezcla es baja ya que su viscosidad es de 1.1 cP. Es decir, la movilidad es inversamente proporcional a la viscosidad.
- Se determinó que el solvente inyectado presenta buen desempeño en el desplazamiento del petróleo, demostrado en laboratorio, al igual su concentración es mínima debido a su eficiencia, lo que conlleva a una baja inversión inicial para la puesta en marcha de un proyecto de recuperación mejorada en el Campo VHR.

## RECOMENDACIONES

- Durante la ejecución del proyecto, la inyección de agua debe tener un monitoreo continuo de filtrado, caudal, presiones de inyección, permeabilidad, presión del reservorio, presión de fractura, viscosidad, que afectan directamente al factor de recobro.
- Agregar la cantidad adecuada de solvente a la mezcla ya que, si se excede en la cantidad, la viscosidad puede incrementarse haciendo que la eficiencia se reduzca ya que puede taponar los espacios porosos.
- Realizar una simulación matemática para corroborar los datos referentes a los factores de recobro tanto de laboratorio y método analítico.
- Realizar los procesos de EOR, desde el inicio de la vida productiva de un campo, lo que aumentaría su factor por encima del 50%.

## REFERENCIA

Bolaños, J. (2016). Desarrollo de Software para la selección de Métodos de Recuperación

Mejorada de Petróleo. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.

Cárdenas, K. (2018). Determinación del comportamiento de la presión de los reservorios del campo Víctor Hugo Ruales mediante análisis de pruebas de restauración de presión para desarrollar propuestas de optimización de producción. Tesis de grado. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.

Criollo, S. (2011). Water and surfactant Flooding at Different Wettability Conditions. Tesis de Posgrado. University of Stavanger, Noruega.

Dynadrill, S.A. (2019). MSDS. Quito, Ecuador.

Herrera, L. (2013). Estudio de alternativas de recuperación mejorada para la incorporación de nuevas reservas y aumento de la Producción en la Formación Napo "T" Inferior del Campo Tiguino. Tesis de grado. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.

Petroamazonas EP & IGAPÓ S.A. (2017). Plan de desarrollo del campo Víctor Hugo Ruales, Quito, Ecuador.

Petroamazonas EP, (2019). Manual de Laboratorio CIQ, Quito, Ecuador.

Petroamazonas, EP & IGAPÓ S.A. (2018). Plan de desarrollo del campo Víctor Hugo Ruales, Quito, Ecuador.

Petroamazonas, EP & IGAPÓ S.A. (2019). Plan de desarrollo del campo Víctor Hugo Ruales, Quito, Ecuador.

Salager J. L. (2005), Cuaderno FIRP s357c, Recuperación Mejorada del Petróleo, Mérida-Venezuela.

Stosur, G., Hite, J., Carnahan, N. and Miller, K. (2003). The alphabet soup of IOR, EOR and AOR: effective communication requires a definition of terms. [online] OnePetro. Available at: <https://doi.org/10.2118/84908-MS> [Accessed 2 Mar. 2018].



Universidad Central Del Ecuador  
SPE Student Chapter



La Sociedad de Ingenieros Petroleros, es una organización profesional sin fines de lucro, cuya misión es recopilar, difundir e intercambiar conocimientos técnicos concernientes a la exploración, desarrollo y producción de recursos de petróleo y gas, se encarga de proveer oportunidades para el desarrollo, el mejoramiento de las capacidades y competencias de profesionales, docentes y estudiantes. Está conformado por 158.000 miembros, que comprenden ingenieros, científicos, administradores y educadores, aproximadamente 73.000 estudiantes que provienen de 123 países. El capítulo estudiantil de la Universidad Central del Ecuador, fue fundado en 1999 por el Ing. Gustavo Pinto Arteaga, respaldado por estudiantes de la carrera de Ingeniería de Petróleos.

### Contribución de SPE hacia la Universidad Central del Ecuador

Los docentes y estudiantes de la Universidad Central del Ecuador, han sido beneficiados de formar parte de la red de profesionales de la industria del Petróleo y Gas, desde 1999, participando de eventos magistrales, concursos, desarrollo de habilidades y participación continua en todos los ámbitos que ofrece dicha organización, actualmente nuestro capítulo estudiantil, cuenta con 300 miembros, de todas las carreras de la Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental, teniendo acceso a la Biblioteca Mundial "OnePetro", gestionada por docentes y estudiantes que forman parte de la directiva de SPE UCE Student Chapter, que cuenta

con más de 50.000 publicaciones de artículos científicos e investigaciones sobre la industria del Petróleo y Gas.

### Directiva SPE período 2018-2019:

**Presidente:** Patricio Rubén Espinosa Domínguez

**Vicepresidente:** Glen Alejandro Obando Paez

**Tesorera:** Camila Abigail Andrade Cueva

**Oficiales:** Dipson Ricardo Paredes Paz; Mario Santiago Duque Dávila; Diego Andrés Onofa Rojas; Cristian Geovanny Hartos Paredes; Luis Esteban Torres Ordóñez.

### Objetivos logrados: (Noviembre 2018 – Junio 2019)

- Renovación de biblioteca virtual "OnePetro"
- Curso de Seguridad, Salud y Medio Ambiente – Certificación de LADS.
- Conferencias técnicas de varios temas de la industria hidrocarburífera
- Mayor número de membresías alcanzado.
- Uso de herramientas tecnológicas en plataformas digitales de SPE
- Segundo y cuarto lugar en PETROTEST 2019. (Equipos UCE 1 y UCE 2).
- Mejor participación como equipo ecuatoriano en PETROBOWL REGIONAL 2019.



## CAPÍTULO ESTUDIANTIL

El Capítulo Estudiantil de la Universidad Central del Ecuador se creó en junio de 2018, con el apoyo de la Sección Local del SME en Perú, convirtiéndose en el primer capítulo estudiantil en la ciudad de Quito-Ecuador.

Como es de nuestro conocimiento la industria minera ecuatoriana ha logrado grandes avances en los últimos años con el desarrollo de la gran minería, con la llegada de empresas multinacionales que están más consolidadas, y con una nueva frontera minera, que implica un nuevo desafío para estudiantes, profesionales y profesores relacionados al campo. De igual manera la Sociedad Minera, Metalúrgica y de Exploración (SME) aumenta su presencia en nuestro país, a través de la formación de capítulos de estudiantes en diferentes ciudades como Cuenca y Guayaquil en años anteriores, aspectos destacados que han fortalecido la academia y la industria a través de vínculos creados entre instituciones.

El período 2018-2019 del capítulo estudiantil SME-UCE, fue un año de grandes logros, consolidándose un excelente grupo gracias a la gestión de la directiva y miembros principales encabezados por Luis Noboa, su Presidente actual, y el apoyo e implementación de nuevos miembros, totalmente encaminados con un enfoque académico para su desarrollo integral y profesional.

Todos quienes conforman el capítulo estudiantil SME – UCE participaron de las diferentes actividades académicas y sociales, mediante comités previamente establecidos para el desarrollo de eventos y talleres de capacitación dirigidos al ámbito

minero-geológico, entre los cuales se desarrolló el “Curso especializado de software Minero GEMCOM”, impartido por el ingeniero chileno Rubén Robles, y el curso de “Topografía con drones aplicados a la Minería”.

Uno de los mayores logros impulsados por este grupo de trabajo bajo la tutela del Ing. Danny Burbano, Director de la Carrera de Ingeniería de Minas, y Faculty Sponsor del Capítulo, fue el “Conversatorio a la Reforma de la Ley Orgánica de Minas”, con la participación de la asambleísta Patricia Henríquez, dando inicio a las “Primeras Jornadas Técnico – Académicas-Mineras” realizadas durante tres días para el enriquecimiento académico de los estudiantes y público en general.

Gracias a las herramientas que la Sociedad Minero, Metalúrgica y de Exploración (SME) ofrece a los estudiantes universitarios a nivel mundial, el Capítulo Estudiantil SME-UCE ha establecido sus cimientos en pro al desarrollo académico, técnico y social de sus miembros, cumpliendo sus objetivos y estableciendo nuevas metas en dirección al crecimiento y el desarrollo continuo de la industria minera.

Si deseas formar parte de esta gran familia, puedes contactar directamente con el Capítulo Estudiantil SME-UCE a través de su página oficial en Facebook: SME-Universidad Central del Ecuador.

Mayor información en la Carrera de Ingeniería de Minas-FIGEMPA, estarán gustosos de ayudarte.



**SEG UCE - FIGEMPA**  
Society of Economic Geologists  
2018 – 2019

Promover, adquirir y difundir conocimientos en el área de ciencias de la tierra con participación de estudiantes, docentes, y profesionales, mediante cursos teóricos, prácticos y salidas de campo generadas por la gestión de miembros del capítulo estudiantil, para contribuir con la Investigación Técnica-Científica, son parte de los objetivos de SEG.

El Ing. Marcello Llerena a dado un impulso importante a las actividades que a desarrollado el SEG conjuntamente con el dinamismo demostrada por su directiva encabezada por Vanessa Espinoza.

**CURSO TEÓRICO-PRÁCTICO DE GEOLOGÍA ESTRUCTURAL APLICADO A EXPLORACIONES (enero 2019)**

Visita técnica al Proyecto Minero El Corazón - provincia de Imbabura, análisis estructural en galerías y frentes de explotación y procesamiento de datos estructurales en software especializado, con el asesoramiento del Ingeniero Luis Ayala, técnico de EXPLOROCK.SAC (Perú).



**FIELD TRIP PERÚ (marzo 2019)**

Visita a los proyectos mineros La Arena (Huamachuco), Yanacocha y Tantahuatay (Cajamarca); yacimientos de tipo pórfidos y epitermales de alta-media sulfuración. Apoyo y coordinación del capítulo SEG de la Universidad Mayor de San Marcos (Lima-Perú).

**CUMBRE DE MINERÍA RESPONSABLE Y FIELD TRIP ECUADOR (abril 2019)**

Western University Canadá en coordinación con SEG UCE FIGEMPA Student Chapter, desarrollaron la cumbre de minería responsable con la participación de representantes de la actividad minera en el país, así como la intervención de representantes de los pueblos Shuar que respaldan la actividad. Análisis del potencial minero del Ecuador y visita técnica a los proyectos mineros Cascabel, El Domo, Lost Cities y Fruta del Norte, así como un recorrido por los volcanes Cotopaxi, Chimborazo y Laguna del Quilotoa.



Descripción. Delegación participante de REDCCA en el III CONGRESO INTERNACIONAL DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO. Abril 2018.

## RED ECUATORIANA DE CARRERAS EN CIENCIAS AMBIENTALES

La razón de ser de REDCCA es la de generar lazos interinstitucionales gestionando un trabajo en conjunto, promoviendo la colaboración en proyectos de investigación basada en una organización de cooperación académico – científica; que en coordinación de acciones entre Instituciones de Educación Superior Ecuatorianas busca fomentar y habilidades beneficiosas para una formación profesional de calidad.

### Visión

Potenciar las Carreras de Ciencias Ambientales a nivel nacional como un pilar vital dentro del ámbito profesional, logrando el reconocimiento local, regional y nacional a través de la investigación y el desarrollo integral universitario.

### Objetivos.

- Fomentar y generar impulso académico – científico en los estudiantes que conforman parte de REDCCA.

- Difundir eventos (cursos, seminarios, congresos, talleres, jornadas, conferencias) relacionados con el ámbito ambiental en pro del desarrollo estudiantil.
- Promover el intercambio de experiencias a través de la realización de proyectos de investigación, desarrollo y eventos académicos relacionados con la sostenibilidad ambiental.







# GUÍA PARA LA PRESENTACIÓN Y APROBACIÓN DE ARTÍCULOS

La revista FIGEMPA: INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO, indexada en Latindex (Directorio, Catálogo, Electrónica) con registro ISSN 1390-7042 e ISSN-e 2602-8484 para la versión digital, 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, Ingeniería Ambiental, Tecnología, Ciencias de la Tierra, Investigación, Seguridad y el Aprovechamiento Sustentable y Sostenible de los Recursos Naturales No Renovables. Es un espacio interdisciplinario de discusión en aspectos teóricos como de aplicación en las áreas indicadas. Su publicación es semestral.

## 1. Normas de presentación: Originalidad

Los artículos presentados deben ser originales e inéditos y no estar postulados para su publicación en ninguna otra revista o publicación científica, se excluye también las presentaciones simultáneas.

Si se trata un artículo basado un trabajo de titulación, éste debe constar en las referencias.

### Uso ético de la información:

Comercialismo. El material de naturaleza comercial es inaceptable en un documento técnico por la Revista FIGEMPA.

Las descripciones genéricas pueden sustituir a los nombres comerciales.

El plagio. El plagio de la obra de otros es inaceptable. Si se detecta, se aplicarán criterios de similitudes conforme a las recomendaciones técnicas de la SENESCYT, y el artículo no será aceptado.

## Estructura

El artículo deberá contener: resumen en español e inglés, palabras claves en español e inglés, introducción, metodología, discusión de resultados, conclusiones y referencias bibliográficas

## Formato

Su extensión no deberá ser mayor a 8000 palabras ni a 8 páginas incluidos gráficos, tablas y fotografías.

Evitar hacer afirmaciones que no están claramente apoyadas por resultados de otras investigaciones o que han sido validados con estudios rigurosos. El idioma de la revista es español.

Mencione las figuras con la abreviatura: Fig. 1, a menos que sea al inicio de la oración.

### 1.1 Título principal

El título principal debe contener no más de 15 palabras. Deberá también presentarlo en inglés y una fotografía en 300 dpis, afín al artículo

### 1.2 Nombres de los autores y sus e-mails

- Los nombres de los participantes
- Foto del autor en jpg y en 250 dpis
- Título más importante que ha obtenido
- El nombre de la institución a la que pertenece y/o trabaja.
- Correos electrónicos

### 1.3 Gráficos, fotografías y tablas

Todos los gráficos, fotografías y tablas se deben centrar. Todo debe de incluirse en el artículo. Recuerde que la calidad de los gráficos, fotografías y tablas deben tener una buena resolución.

No colocar figuras antes de su primera mención en el texto. Los ejes de las figuras deberán tener nombres y no símbolos.

Está permitido si es necesario que sus figuras, diagramas y tablas sean de página completa.

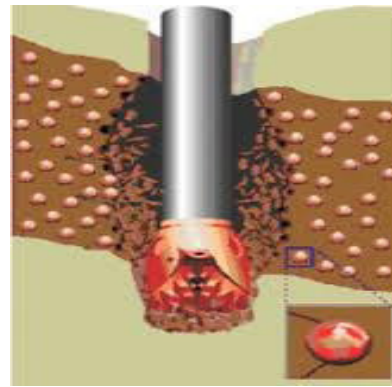
Use mayúsculas sólo en la primera palabra de cada título de las figuras y de las Tablas. Las figuras y las tablas se deben numerar separadamente. Por ejemplo: "Figura 1. Los títulos de la figura deberán estar centrados debajo de las figuras. Los títulos de las tablas deberán estar centrados arriba de las tablas.

**Ejemplos:**

**Tabla 1.xxxxxxxx.**

Fuente: xxxxxxxxxxxxxxxx

MEDIDAS MÍNIMAS DE LOS ORIFICIOS DE VENTILACIÓN, LLENADO Y DRENAJE REQUERIDO POR LA LONGITUD DE LA SECCIÓN											
Diametro del tubo (mm)	≤ 50	60 - 76	89	102 - 114	127 - 152	165	219	245	273	324	335
Medidas	50 x 30	80 x 40	80 x 80	100 x 50	100 x 80	200 x 100	180 x 180	200 x 200	300 x 200	400 x 200	300 x 300
RMS (mm)	60 x 80	70 x 70	120 x 60	120 x 80	120 x 120	150 x 150	250 x 150	220 x 220	250 x 250	450 x 250	450 x 250
Longitud (m)	50 x 60	70 x 20	100 x 20	100 x 100	150 x 100	150 x 100			200 x 200		
	Medida del orificio (mm)										
1	10 (12)	10 (12)	10 (12)	12 (2x10)	16 (2x12)	20 (2X16)	25 (2X20)	30 (2X25)	30 (2X25)	40 (2X30)	40 (2X30)
2	10 (12)	10 (12)	12 (2x10)	12 (2x10)	16 (2x12)	20 (2x16)	25 (2X20)	30 (2X25)	30 (2X25)	40 (2X30)	50 (2X40)
3	10 (12)	12 (2x10)	12 (2x10)	12 (2x10)	16 (2x12)	20 (2x16)	25 (2X20)	30 (2X25)	40 (2X30)	50 (2X40)	50 (2X40)
4	12 (2x10)	12 (2x10)	16 (2x12)	16 (2x12)	16 (2x12)	25 (2X20)	25 (2X20)	30 (2X25)	40 (2X30)	50 (2X40)	2X50 (1X40)
5	12 (2x10)	16 (2x12)	16 (2x12)	16 (2x12)	16 (2x12)	25 (2X20)	25 (2X20)	30 (2X25)	40 (2X30)	50 (2X40)	2X50 (1X40)
6	12 (2x10)	16 (2x12)	20 (2x16)	20 (2x16)	25 (2X20)	25 (2X20)	30 (2X25)	30 (2X25)	40 (2X30)	2X50 (1X40)	2X50 (1X40)
7	16 (2x12)	16 (2x12)	20 (2x16)	20 (2x16)	25 (2X20)	25 (2X20)	30 (2X25)	30 (2X25)	40 (2X30)	2X50 (1X40)	2X50 (1X40)
8	16 (2x12)	16 (2x12)	20 (2x16)	25 (2X20)	25 (2X20)	2X25 (1X20)	30 (2X25)	30 (2X25)	2X50 (1X40)	2X50 (1X40)	2X50 (1X40)
9	16 (2x12)	16 (2x12)	25 (2X20)	25 (2X20)	2X25 (1X20)	2X25 (1X20)	30 (2X25)	2X50 (1X40)	2X50 (1X40)	2X50 (1X40)	2X50 (1X40)
10+	20 (2x16)	25 (2X20)	25 (2X20)	25 (2X20)	2X25 (1X20)	2X25 (1X20)	30 (2X25)	2X50 (1X40)	2X50 (1X40)	2X50 (1X40)	2X50 (1X40)



**Figura 3. Ejemplo de Figura**

Las citas, referencias y ecuaciones deberán de seguir los siguientes criterios:

**1.3.2 Ecuaciones**

Por favor utilice símbolos que estén disponibles en inglés y en español, en las versiones de procesadores de textos.

Las ecuaciones deberán estar numeradas con el número entre paréntesis y al margen derecho del texto, Ej.

$$V_{GS} \quad V_{GG} \quad I_D \quad R_S \quad \text{Ec. (1)}$$

Para su mención utilice la abreviatura Ec. (1).

Otro ejemplo:

$$\int_0^{\infty} \tilde{F}(r, ) dr d \quad [r_2 / (2_0)] \quad \text{Ec. (2)}$$

$$\exp(|z_i z_i|) \quad J_1(r_2) \cdot J_0(r_i) d .$$

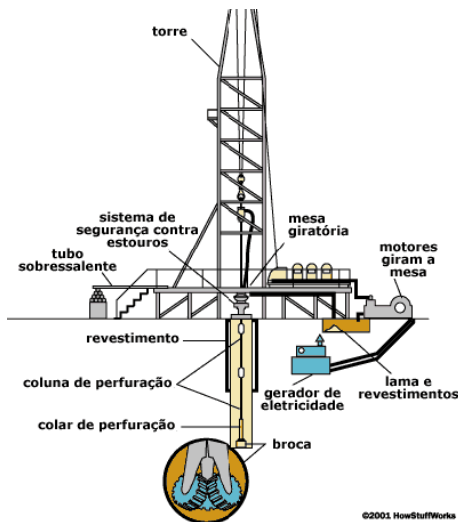
Utilice explícitamente la notación exponencial, es decir,  $5.6 \times 10^{-3}$

**1.4 Citas**

Emplear el sistema de citación Harvard de Autor-Fecha y siempre se privilegia la señalización del número de página, para las citas textuales y para la paráfrasis.

**Las citas textuales o directas:**

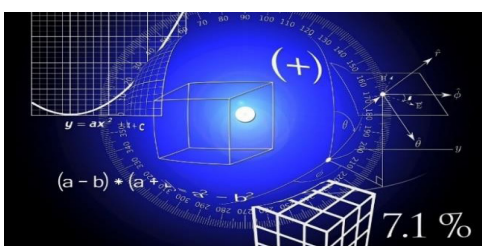
Estas reproducen de forma exacta el material, sin cambios o añadidos. Se debe indicar el autor, año y número de página. Si la fuente citada no tiene paginación, entonces se escribe el número de párrafo.



**Figura 1. Esquema de perforación. Fuente: xxxxxx**

**1.3.1 Imágenes a color**

Está permitido el uso de imágenes a color.



**Figura 2. Ejemplo de Figura**

Si la cita tiene menos de 40 palabras se coloca como parte del cuerpo del texto, entre comillas y al final entre paréntesis se señalan los datos de la referencia.

Ejemplos:

- Al analizar los resultados y según la opinión de Machado (2010): "Todos los participantes..." (p.74)

- Al analizar los resultados de los estudios previos encontramos que: "Todos los participantes..." (Machado, 2010, p. 74)

Si la cita tiene más de 40 palabras debe escribirse en un párrafo aparte, sin comillas, alineado a la izquierda y con un margen de 2,54 cm o 5 espacios de tabulador. Todas las citas deben ir a doble espacio.

Ejemplos:

- Maquiavelo (2011) en su obra El Príncipe afirma lo siguiente:

Los hombres, cuando tienen un bien de quien creían tener un mal, se obligan más con su benefactor, deviene el pueblo rápidamente en más benévolo con él que si con sus favores lo hubiese conducido al principado (p. 23)

- Es más fácil que el príncipe no oprima al pueblo y gobernar para ellos, porque:

Los hombres, cuando tienen un bien de quien creían tener un mal, se obligan más con su benefactor, deviene el pueblo rápidamente en más benévolo con él que si con sus favores lo hubiese conducido al principado (Maquiavelo, 2011, p. 23)

### Citas indirectas o paráfrasis

En estos casos se reproduce con propias palabras la idea de otro. Siguen las normas de la citación textual, a excepción del uso de comillas y citas en párrafo aparte.

Ejemplo:

- Según Huizinga (1952) son características propias de la nobleza las buenas costumbres y las maneras distinguidas, además la práctica de la justicia y la defensa de los territorios para la protección del pueblo.

- Así aparecen las grandes monarquías de España, Francia e Inglaterra, las cuales

intentaron hacerse con la hegemonía europea entablando guerra en diversas ocasiones (Spielvogel, 2012, p. 425).

En los únicos casos en donde se puede omitir de forma deliberada el número de página es en los de paráfrasis y esto cuando se estén resumiendo varias ideas expresadas a lo largo de toda una obra y no una idea particular fácilmente localizable en la fuente citada.

### Otras normas de citado:

**Dos autores:** Machado y Rodríguez (2015) afirma... o (Machado y Rodríguez, 2015, p.\_)

**Tres a cinco autores:** cuando se citan por primera vez se nombran todos los apellidos, luego solo el primero y se agrega et al. Machado, Rodríguez, Álvarez y Martínez (2015) aseguran que... / En otros experimentos los autores encontraron que... (Machado et al., 2015)

**Seis o más autores:** desde la primera mención se coloca únicamente apellido del primero seguido de et al.

**Autor corporativo o institucional con siglas o abreviaturas:** la primera citación se coloca el nombre completo del organismo y luego se puede utilizar la abreviatura. Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP, 2016) y luego OPEP (2016); Organización Mundial de la Salud (OMS, 2014) y luego OMS (2014).

**Autor corporativo o institucional sin siglas o abreviaturas:** Instituto Cervantes (2012), (Instituto Cervantes, 2012).

**Dos o más trabajos en el mismo paréntesis: se ordenan alfabéticamente siguiendo el orden de la lista de referencias:** Muchos estudios confirman los resultados (Martínez, 2012; Portillo, 2014; Rodríguez; 2014 y Zapata, 2015).

**Fuentes secundarias o cita dentro de una cita:** Carlos Portillo (citado en Rodríguez, 2015)

**Obras antiguas:** textos religiosos antiguos y muy reconocidos. (Corán 4:1-3), Lucas 3:2 (Nuevo Testamento). No se incluyen en la lista de referencias.

**Comunicaciones personales:** cartas personales, memorándums, mensajes electrónicos, etc.

Manuela Álvarez (comunicación personal, 4 de junio, 2010). No se incluyen en la lista de referencias.

**Fuente sin fecha:** se coloca entre paréntesis s.f. Alvarado (s.f), Bustamante (s.f).

**Fuente anónima:** se escriben las primeras palabras del título de la obra citada (Informe de Gestión, 2013), Lazarillo de Tormes (2000).

**Citas del mismo autor con igual fecha de publicación:** en estos casos se coloca sufijación al año de publicación para marcar la diferencia (Rodríguez, 2015a), (Rodríguez, 2015b). Se ordena por título alfabéticamente, en la lista de referencias.

### 1.5 Abreviaturas y acrónimos

Defina las abreviaturas y acrónimos la primera vez que sean utilizadas en el texto. Evite emplear abreviaturas en el título, salvo que resulte imprescindible.

### 1.6 Conclusiones

Una sección de conclusiones se requiere. En una conclusión puede repasar los puntos principales del documento, no reproduzca lo del resumen como conclusión. Una conclusión podría extender la importancia del trabajo o podría hacer pensar en aplicaciones y extensiones. El seguimiento de las normas indicadas permitirá que su trabajo no sólo se destaque por su contenido, sino que también resulte visualmente atractivo.

### 1.7 Recomendaciones

De ser necesarias y conforme al artículo.

### Agradecimientos (opcional)

Exponga reconocimientos a instituciones y grupo de apoyo.

### 1.8 Referencias

Se organiza alfabéticamente y se le coloca sangría francesa.

**Libro:** Apellido, A. A. (Año). Título. Ciudad, País: Editorial

**Libro con editor:** Apellido, A. A. (Ed.). (Año). Título. Ciudad, País: Editorial.

**Libro electrónico:** Apellido, A. A. (Año). Título. Recuperado de <http://www...>

**Libro electrónico con DOI:** Apellido, A. A. (Año). Título. DOI: xx

**Capítulo de libro:** únicamente en los casos de libros compilatorios y antologías donde cada capítulo tenga un autor diferente y un compilador o editor: Apellido, A. A., y Apellido, B. B. (Año). Título del capítulo o la entrada. En A. A. Apellido. (Ed.), Título del libro (pp. xx-xx). Ciudad, País: Editorial.

**Publicaciones periódicas formato impreso:** Apellido, A. A., Apellido, B. B., y Apellido, C. C. (Fecha). Título del artículo. Nombre de la revista, volumen(número), pp-pp.

**Publicaciones periódicas con DOI:** Apellido, A. A., Apellido, B. B. y Apellido, C. C. (Fecha). Título del artículo. Nombre de la revista, volumen(número), pp- pp. DOI: xx

**Publicaciones periódicas online:** Apellido, A. A. (Año). Título del artículo. Nombre de la revista, volumen(número), pp-pp. Recuperado de <http://www...>

**Artículo de periódico impreso:** Apellido A. A. (Fecha). Título del artículo. Nombre del periódico, pp-pp. O la versión sin autor: Título del artículo. (Fecha). Nombre del periódico, pp-pp.

**Artículo de periódico online:** Apellido, A. A. (Fecha). Título del artículo. Nombre del periódico. Recuperado de <http://www...>

**Tesis de grado:** Autor, A. (Año). Título de la tesis (Tesis de pregrado, maestría o doctoral). Nombre de la institución, Lugar.

**Tesis de grado online:** Autor, A. y Autor, A. (Año). Título de la tesis (Tesis de pregrado, maestría o doctoral). Recuperado de <http://www...>

**Referencia a páginas webs:** Apellido, A. A. (Fecha). Título de la página. Lugar de publicación: Casa publicadora. Recuperado de <http://www...>

**Fuentes en CDs:** Apellido, A. (Año de publicación). Título de la obra (edición) [CD-ROM]. Lugar de publicación: Casa publicadora.



**Películas:** Apellido del productor, A. (productor) y Apellido del director, A. (director). (Año). Nombre de la película [cinta cinematográfica]. País: productora.

**Serie de televisión:** Apellido del productor, A. (productor). (Año). Nombre de la serie [serie de televisión]. Lugar: Productora. Video: Apellido del productor, A. (Productor). (Año). Nombre de la serie [Fuente]. Lugar.

**Podcast:** Apellido, A. (Productor). (Fecha). Título del podcast [Audio podcast]. Recuperado de <http://www...>

**Foros en internet, lista de direcciones electrónicas y otras comunidades en línea:** Autor, (Día, Mes, Año) Título del mensaje [Descripción de la forma] Recuperado de <http://www...>

**Ejemplo:**

Barceló Miller, M. (1997). La lucha por el sufragio femenino en Puerto Rico 1896 – 1935. San Juan, Puerto Rico: Ediciones Huracán.

Granda, J., Alemany, I., y Canto, A. (2000). Multiculturalidad y formación de maestros. Una propuesta para el currículo formativo de docentes de educación física. En O. Contreras (coord.), La formación inicial y permanente del profesorado de educación física, Actas del XVIII Congreso Nacional de Educación Física. (pp. 343-355). Cuenca: Ediciones de la Universidad de Castilla – La Mancha.

Juste, M. R. P. (2008). Educación para la salud con personas mayores: Descripción de una experiencia. Global Health Promotion, 15 (3), pp. 58- 62. DOI: 10.1177/1025382308095665

Parker, O. (director), y Finlay, T. (guión). (2010). El retrato de Dorian Gray, [DVD] [interpretes Ben Barnes, Colin Firth]. Madrid: Aurum produccione

Ramos, M. (2010). Aprendizaje en un centro comunitario el cine y el programa Stroybool Weaver como núcleos generadores de cuentos. [Tesis doctoral inédita]. Universidad de Alcalá, Facultad de Psicopedagogía, España.

Sparks, D., Chase, D. y Coughlin, L. (2009). We have a problem: a review of self-reported We related injuries. Informatics In Primary Care, 17 (1), pp.

55-57. Recuperado de la base de datos Pubmed.

Torres, R. y Ceberio, M. (5 de julio 2011). La SGAE mantiene a Bautista, pero una comisión rectora asumirá sus funciones. El País. Recuperado de: [http://www.elpais.com/articulo/cultura/SGAE/mantiene/Bautista/comisio\\_n/rectora/asumira/funciones/elpepucul/20110705elpepucul\\_1/Tes](http://www.elpais.com/articulo/cultura/SGAE/mantiene/Bautista/comisio_n/rectora/asumira/funciones/elpepucul/20110705elpepucul_1/Tes)

**2. DE LA PRESENTACIÓN**

Los autores que deseen que se publique un artículo de su autoría deben seguir el siguiente procedimiento:

- a. Remitir el artículo en el formato planteado para la revista que debe estar firmado por sus autores con nombres y apellidos y/o declaración de autor institucional, a la plataforma de la Revista <http://revistadigital.uce.edu.ec>
- b. La convocatoria para la presentación de artículos es abierta
- c. Para subir el artículo debe realizar lo siguiente:
  - I. Ingresar a la plataforma: <http://revistadigital.uce.edu.ec>
  - II. Seleccionar la opción FIGEMPA.
  - III. Luego ir a la opción registrarse.
  - IV. Llenar los datos que le solicitan en minúsculas.
  - V. Ingresar con el usuario que le llegará al correo electrónico ingresado.
  - VI. Seleccionar la opción nuevo envío y llenar los datos solicitados.

Toda la información recibirá al correo electrónico registrado.

**3. DE LA SELECCIÓN**

Una vez recibido un artículo para su publicación, se seguirá el siguiente proceso independiente que seleccionará aquellos a ser publicados en la revista indexada FIGEMPA:

### Evaluación Etapa 1:

Verificación de que el Tema esté en las líneas de publicación aprobadas por LATINDEX y que son Ciencias de la Ingeniería, Ciencias Exactas y Naturales, Energía, Geología, Ingeniería Minera, Ingeniería Petrolera, Tecnología, Ciencias de la Tierra y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales no renovables. La realiza el Consejo Editorial.

### Evaluación Etapa 2:

Verificación del cumplimiento de requerimientos académicos y éticos como son: declaración de originalidad y de que el artículo no ha sido enviado a otra revista para su publicación, que no exista indicios de plagio, información de autores y filiación, cumplimiento de políticas y del formato para la publicación como son que no exceda de 8000 palabras, fotografías, tablas, gráficos, ecuaciones y presentación adecuada de referencias. La realiza una subcomisión del Consejo Editorial que informa a éste de los resultados para que se traslade a conocimiento de los autores.

### Evaluación Etapa 3:

Evaluación Técnico - científica que considera:

- a. El Consejo Editorial dispone de una base de datos con nombres de profesores, investigadores y colaboradores técnicos internos y externos a la FIGEMPA para que actúen como revisores y evaluadores para todas las áreas en que ha sido calificada por Latindex.
- b. Cada artículo será remitido a un Par académico Revisor conjuntamente con un formulario para la evaluación donde constan los indicadores técnicos que deben cumplir para su aprobación, quien mediante una evaluación objetiva informará si cumple con los criterios requeridos y proporcionará retroalimentación constructiva sobre cómo podría mejorarlo. Esta es una evaluación conocida como Doble Ciego, ya que el Revisor no conoce los nombres de los autores ni los autores conocen los nombres de sus Evaluadores.
- c. En caso de que existan observaciones, la Dirección de la Revista las remite a los autores para que las incorporen de

considerarlas pertinente, y una nueva versión se recibe y se vuelve a enviar al Revisor.

- d. El Consejo Editorial de la Revista conocerá y a través de la Dirección notificará a los autores los resultados de la evaluación.
- e. Los artículos que sean aprobados pasarán a las fases de Edición Técnica y Gráfica y publicación
- f. Los artículos seleccionados deberán presentarse en un congreso.

### REFERENCIAS

Diccionario de la Real Academia Española. 2018. [www.rae.es](http://www.rae.es).

Formato y Guía de presentación de artículos económicos, de investigación, desarrollo e innovación. Revista FIGEMPA Investigación Y Desarrollo. 2018. Quito.

Normas Harvard. 2018. disponible en <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/45402/8/Estilo-Harvard.pdf>



## SISTEMA DE ARBITRAJE: EVALUACIÓN EXTERNA POR PARES Y ANÓNIMA

La Revista FIGEMPA: investigación y desarrollo es una publicación científica, con periodicidad semestral, en formato papel y digital, que publica trabajos originales, nunca antes editados o difundidos en otras revistas, libros, congresos, seminarios, etc. Queda establecido un sistema de arbitraje para la selección de artículos que se publican en cada número mediante dos revisores externos - sistema doble ciego - siguiendo los criterios habituales establecidos para las publicaciones científicas seriadas. La Revista FIGEMPA admite propuestas redactadas en español e inglés. Los títulos, resúmenes y palabras clave se publican también en lengua inglesa. La revista dedica su mayor parte a artículos de investigación, y posee también apartados dedicados a artículos de opinión, editoriales, reseñas bibliográficas. Va dirigida a profesionales de ciencias de la tierra, ingenierías, tecnologías, innovación, seguridad, investigación científica, investigadores y profesionales relacionados con la práctica y la teoría. A partir de 2016 ha iniciado una nueva etapa, con una dirección y comité editorial renovados, así como un comité científico de especialistas de reconocido prestigio, constituido por investigadores pertenecientes a universidades ecuatorianas, latinoamericanas, estadounidenses y europeas. La nueva gestión editorial, el envío y recepción de originales, su revisión y edición, se lleva a cabo mediante la plataforma digital OPEN JOURNAL SYSTEMS (OJS).

El Comité Editorial de la revista FIGEMPA: Investigación y Desarrollo, una vez comprobado que el artículo cumple con las normas relativas a estilo y contenido indicadas en las normas a los autores para la presentación de originales, lo enviará a dos expertos revisores anónimos y ajenos al Comité Editorial, según el modelo doble ciego.

La valoración incidirá en el interés del artículo, su contribución al conocimiento del tema tratado, las novedades aportadas, la corrección de las relaciones establecidas, el juicio crítico desarrollado, los referentes bibliográficos manejados, su correcta redacción, el uso ético de la información, etc., indicando recomendaciones, si las hubiera, para su posible mejora.

Basándose en las recomendaciones de los revisores, el editor de la revista comunicará a los autores el resultado motivado de la evaluación por correo electrónico, en la dirección que estos hayan utilizado para enviar el artículo. El editor comunicará al autor principal el resultado de la revisión (publicación sin cambios; publicación con correcciones; no aconsejable para su publicación), así como las observaciones y comentarios de los revisores.

Si el manuscrito ha sido aceptado con modificaciones, los autores deberán reenviar una nueva versión del artículo, atendiendo a las demandas y sugerencias de los evaluadores externos.

Los artículos con correcciones importantes podrán ser remitidos al Comité Editorial para verificar la validez de las modificaciones efectuadas por el autor.

Atendiendo al grado de cumplimiento de las modificaciones solicitadas, el Comité Científico se pronunciará sobre si procede o no la publicación del artículo.

La decisión final será tomada por los miembros del Comité Editorial. Dicha decisión será comunicada al autor por el editor de la revista.



Equipo de trabajo construyendo la Facultad, la Universidad y el Ecuador que queremos.



Ing. Ronny Parra, encargado de la planificación del Instituto de Investigaciones Hidrocarburíferas

## 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 hidrocarburíferos, mineros

- e industriales
- Asesoría en sistemas de gestión
- Auditorías ambientales
- Monitoreos ambientales (agua, aire, suelos, ruido y sedimentos)
- Elaboración de reglamento de seguridad
- Estudios de riesgos laborales
- Sistemas de información geográfica (GIS)
- 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

## CURSOS DE CAPACITACIÓN Y EDUCACIÓN CONTÍNUA

- **Dirección:** Ciudadela Universitaria, calle Jerónimo Leyton y Gatto Sobral
- **Correo:** decanato.figempa@uce.edu.ec
- **Telfs:** (593-2) 2550-588 / (593-2) 2566-726

- **Extensiones:**
- 118: Decanato
- 149: Subdecanato
- 123: Dirección Ambiental

- 136: Dirección Geología
- 121: Dirección Minas
- 124: Dirección Petróleos
- 102: Posgrado

## OFERTA EN TODAS LAS ÁREAS

- 139: Laboratorio
- Horarios de atención: Administración: 08:00 a 16:00 Clases: 07:00 a 20:00