

ISSN:2602-8484

ISSN:1390-7042



FIGEMPA

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Universidad Central del Ecuador

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL

AÑO 2018 / VOLUMEN 1 / NÚMERO 1

QUITO - ECUADOR



VALORES Y PRINCIPIOS

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

IDENTIDAD

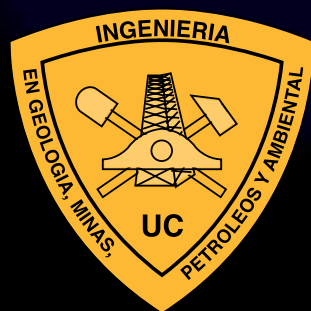
Partiendo del orgullo de ser centralino, fortalecer la creación y difusión de ciencia, tecnología y conocimiento nacionales.



HONESTIDAD

Basada en la práctica de la verdad y transparencia, garantizar la veracidad y el uso ético de la información como mecanismo para enfrentar la corrupción académica





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 Gordón A - BORBOLETA **PORTADA** TDG. Cecilia Gordón A - BORBOLETA

CORRECCIÓN DE ESTILO: Dr. Marco González Escudero, M. Sc; EAPS / Ing. Gustavo Pinto Arteaga, Mgtr. / Sr. Gabriel Armas Arroba / Dr. Jorge Ortiz Herrera / Ing. Susana Cadena Vela M.Sc.

FOTOGRAFÍA: Autores / TDG. Cecilia Gordon **IMPRESIÓN:**  0984605849



En la Portada:

La combinación perfecta de los cuatro elementos (agua, aire, fuego, tierra) permitieron la creación de la vida, un proceso en el que, a través de la historia, el ser humano es el de mayor incertidumbre como lo plantea Sartre: “El hombre..... empieza por no ser nada. Sólo será después, y será tal como se haya hecho” y sobre el que se han dado diferentes concepciones, las cuales de una u otra manera, determinan que es un ser en camino. Su código genético le ha permitido ser la criatura dotada de razón y voluntad, proyectado a un futuro que se espera sea mejor siempre. Una historia continua e infinita que revela la posibilidad de ser libre, decidir y elegir dentro de la pluridimensionalidad de la vida cotidiana y que lo hace único entre millones de iguales y por ser único le permite aprovechar eficaz, eficiente, racional y responsablemente los recursos naturales que lo rodean.

En este contexto la Revista *FIGEMPA*: Investigación y Desarrollo, cumple con el objetivo de difundir los estudios realizados por docentes, profesionales, estudiantes para poder responder las preguntas que nos acompañan cada momento: ¿de dónde venimos?, ¿dónde estamos? y ¿hacia dónde vamos?

AUTORIDADES UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR JULIO 2018

RECTOR: Dr. Fernando Sempértegui Ontaneda, Ph.D

VICERRECTOR ACADÉMICO Y DE POSGRADO: Dr. Nelson Rodríguez Aguirre

VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN, DOCTORADOS E INNOVACIÓN: Dr. Washington Benítez Ortiz

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO Y FINANCIERO: Econ. Marco Posso Zumárraga

SECRETARIO GENERAL: Dr. Silvio Toscano Vizcaino.

PROCURADOR: Dr. Ramiro Acosta Cerón

DIRECTORA GENERAL ACADÉMICA: Dra. Margarita Medina Nicolalde

DIRECTOR GENERAL DE POSGRADO: Dr. Rubén Páez Landeta

DIRECTORA GENERAL DE INVESTIGACIÓN: Dra. Bertha Estrella Cahueñas

DIRECTOR GENERAL DE INNOVACIÓN Y DOCTORADOS: Dr. Angel Guevara Espinoza, Ph.D

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL

CONSEJO DIRECTIVO

DECANO:	Ing. Francisco Viteri Santamaría, M.Sc.
SUB DECANO:	Dr. Jorge Ortiz Herrera, M.Sc.
REPRESENTANTE DOCENTE:	Ing. Diego Palacios Serrano, M.Sc.
REPRESENTANTE DOCENTE:	Ing. Liliana Troncoso Salgado, M.Sc.
REPRESENTANTE ESTUDIANTIL:	Sr. Fernando Cedeño Lucas
DIRECTOR CARRERA DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA:	Ing. Jorge Bustillos Arequipa, M.Sc.
DIRECTOR CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS:	Ing. Carlos Ortiz Chapalbay, M.Sc.
DIRECTOR CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL:	Ing. Eduardo Espín Mayorga, M.Sc.
DIRECTOR (E) CARRERA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS:	Químico Bolívar Enríquez Vallejo Mgtr.
DIRECTOR DE POSGRADO FIGEMPA:	Ing. Marco Zaldumbide Ph.D.
PRESIDENTE ASOCIACIÓN DE PROFESORES:	Ing. Teresa Palacios Cabrera, M.Sc.
PRESIDENTE ASOCIACIÓN DE EMPLEADOS Y TRABAJADORES:	Sra. Juanita Tulcanaza Quelal
PRESIDENTE ASOCIACIÓN DE ESTUDIANTES:	Sr. Benjamín Saltos Mancheno

CONSEJO EDITORIAL

NOMBRE	INSTITUCIÓN	CARGO	CORREO
Ing. Gustavo Pinto Arteaga, Mgtr.	FIGEMPA - UCE	DIRECTOR - EDITOR GENERAL	grpa54@yahoo.es grpinto@uce.edu.ec
Dr. Marco González Escudero, M.Sc..	COMITÉ DE ÉTICA UCE	EDITOR TÉCNICO	magonzaleze@uce.edu.ec magonzalesro@hotmail.com
Dr. Jorge Ortiz Herrera	FIGEMPA – UCE	EDITOR ACADÉMICO	jdortiz@uce.edu.ec
Ing. Francisco Viteri Santamaría	FIGEMPA – UCE	EDITOR ASOCIADO	frviteri@uce.edu.ec
Dr. Juan Solano Mora	CONSULTOR	SECRETARIO DE REDACCIÓN	solmor37@hotmail.com
Ing. Susana Cadena Vela, M.Sc.	DTIC – UCE	ASESORA TECNOLÓGICA	scadena@uce.edu.ec
Dr. Félix Andueza Leal, Ph.D.	FIGEMPA - UCE	ASESOR CIENTÍFICO	fdandueza@uce.edu.ec felixandueza@hotmail.com
Lcdo. Christian Ortiz Villarreal	COMITÉ DE ÉTICA-UCE	ASISTENTE DE COMUNICACIÓN	caortiz@uce.edu.ec khryss2406@gmail.com
Ing. Carolina Bernal, Ph.D.	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	COORDINADOR GEOLÓGICO MINERO	Isabel.bernal@epn.edu.ec
Ing. Johnny Zambrano, Ph.D.	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	COORDINADOR HIDROCARBUROS	johnny.zambrano@epn.edu.ec
Ing. Miguel Cazorla, Ph.D..	UNIVERSIDAD DE ALICANTE –ESPAÑA	COORDINADOR TECNOLOGÍA	miguel.cazorla@ua.es
Ing. Ernesto de La Torre, Ph.D.	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	COORDINADOR PROCESOS	ernesto.delatorre@epn.edu.ec
Ing. José Augusto Rosero, Ph.D.	FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS - UCE	COORDINADOR CIENCIAS EXACTAS	jarosero@uce.edu.ec

COMITÉ CIENTÍFICO

NOMBRE	INSTITUCIÓN	CORREO
Ing. Ernesto de la Torre, Ph.D.	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	ernesto.delatorre@epn.edu.ec
Ing. Johnny Zambrano, Ph.D.	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	johnny.zambrano@epn.edu.ec
Ing. Caroliona Bernal, M.Sc.	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	Isabel.bernal@epn.edu.ec
Ing. Boroshilv Castro Merizalde, M.Sc.	FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS - UCE	gbcm_2006@yahoo.com gbcastro@uce.edu.ec
Dr. Fernando Novillo Logroño, Ph.D.	FACULTAD CIENCIAS QUÍMICAS - UCE	fnovillo@uce.edu.ec
Ing. Alberto Castillo, M.Sc.	CONSULTOR	ajcastillo@uce.edu.ec
Dr. Ovadia Shoham Ph.D.	TULSA UNIVERSITY, USA	ovadia-shoham@utulsa.edu
Dr. Félix Andueza Leal, Ph.D.	FIGEMPA – UCE	fdandueza@uce.edu.ec felixandueza@hotmail.com

COMITÉ ASESOR

NOMBRE	INSTITUCIÓN	CORREO
Ing. Susana Cadena Vela	DIRECCIÓN DE TECNOLOGÍA DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN, DTIC, UCE	scadena@uce.edu.ec
Ing. Carolina Bernal, M.Sc.	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	Isabel.bernal@epn.edu.ec
Ing. Manuel Cazorla, Ph.D.	UNIVERSIDAD DE ALICANTE –ESPAÑA	miguel.cazorla@ua.es
Ing. Daniel Philco C., M.Sc.	CONSULTOR	danelo99@yahoo.ca
Ing. Fernando Reyes Cisneros, Mgtr.	CONSULTOR	Rrramirofer9@gmail.com

COMITÉ INTERNACIONAL

NOMBRE	INSTITUCIÓN	CORREO
Ing. Ovadia Shoham, Ph.D.	TULSA UNIVERSITY, USA	ovadia-shoham@utulsa.edu
Ing. Jhon Bolaños, Ph.D.	CONSULTOR, ECUADOR	
Ing. Jorge Romero, Ph.D.	UNIVERSIDAD DE ATACAMA, CHILE	

EVALUADORES PARES INTERNOS FIGEMPA

NOMBRE	INSTITUCIÓN	CORREO
Ing. Marlon Ponce Zambrano, M.Sc.	FIGEMPA – UCE	mrponce@uce.edu.ec marlon.ponce23@gmail.com
Dr. Carlos Ordoñez Campain, M.Sc.	FIGEMPA – UCE	cordonez@uce.edu.ec
Ing. Luis Villacís Buenaño, M.Sc.	FIGEMPA – UCE	lfvillacis@uce.edu.ec
Ing. Galo Albán Soria, MSc.	FIGEMPA – UCE	gfalban@uce.edu.ec
Ing. Gustavo Pinto Arteaga, Mgtr.	FIGEMPA – UCE	grpa54@yahoo.es grpinto@uce.edu.ec
Químico Bolívar Enríquez Vallejo, Mgtr.	FIGEMPA – UCE	bgenriquez@uce.edu.ec
Ing. Nelson Suquilanda. Duque, Dipl, Sup	FIGEMPA – UCE	nhsuquilanda@uce.edu.ec suquialanda@yahoo.es
Ing. Marcelo Llerena Carrera, Mgtr	FIGEMPA – UCE	marcelollerenc@gmail.com
Ing. Jorge Erazo Basantes, Mgtr.	FIGEMPA – UCE	jaerazob@uce.edu.ec
Ing. Marco Zaldumbide V, Ph.D.	FIGEMPA – UCE	mzaldumbide@uce.edu.ec



EVALUADORES PARES EXTERNOS

NOMBRE	INSTITUCIÓN	CORREO
Dr. Fernando Novillo, Ph.D..	FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS – UCE	fnovillo@uce.edu.ec
Ing. Johnny Zambrano, Ph.D..	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	johnny.zambrano@epn.edu.ec
Ing. Carolina Bernal MSc.	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	Isabel.bernal@epn.edu.ec
Ing. Marco Rosero, M.Sc.	FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA – UCE	mvrosero@uce.edu.ec
Ing. Miguel Cazorla, Ph.D..	UNIVERSIDAD DE ALICANTE –ESPAÑA	miguel.cazorla@ua.es
Ing. Luis Mejía Vallejo, M.Sc..	CONSULTOR	luismejiavallejo@gmail.com
Ing. Christian Vallejo, Ph.D..	CONSULTOR	
Ing. Jaime Gutiérrez, M.Sc..	FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS - UCE	jhgutierrez@uce.edu.ec
Ing. Daniel Philco C., M.Sc..	CONSULTOR	danelo99@yahoo.ca
Ing. Boroshilv Castro, M.Sc.	FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS - UCE	gbcm_2006@yahoo.com
Ing. Alberto Castillo, M.Sc.	CONSULTOR	ajcastillo@uce.edu.ec
Ing. Ernesto de la Torre, M.Sc	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	ernesto.delatorre@epn.edu.ec
Ing. Pablo Dejavayan, Ph.D.	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO, UNACH	pdjabayan@gmail.com
Ing. Gerardo Medina, Ph.D.	ESCUELA POLITÉCNICA DEL CHIMBORAZO, ESPOCH	medinag47@gmail.com
Ing. Pedro Almagro Blanco, Ph.D.	GRUPO DE MODELADO DE SISTEMAS COMPLEJO – UCE	palmagroblanco@googlemail.com palmagro@uce.edu.ec
Ing. René Ayala, M.Sc.	FUNDACIÓN FERLAT	rayala@ferlat.org
Ing. Roberth Enríquez MSc.	FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS, UCE	renriquez@uce.edu.ec
Dr. Moisés Logroño M.Sc	FACULTAD DE FILOSOFÍA, LETRAS Y CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN - UCE	moiseslogrono@yahoo.com rlogrono@uce.edu.ec
Dr. Fabián Rodríguez Ph.D	UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE	ffrodriguez3@espe.edu.ec
Ing. Lucía Jiménez M.Sc	UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE	lejimenez@espe.edu.ec
Ing. Sabino Menolasina, Ph.D.	ESCUELA POLITÉCNICA DEL DEL CHIMBORAZO, ESPOCH	menolasina1960@gmail.com
Ing. Edwin León, M.Sc.	INIGEM	edwin.leon@geoinvestigacion.gob.ec
Econ. Bernardo Brito	CONSULTOR	bernardo.brito@geostrats.com
Ing. Jorge Viteri Moya, M.Sc.	FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA-UCE	viterim@hotmail.com jrviteri@uce.edu.ec
Ing. Ana Gabriela Haro, Ph.D.	UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE	agharo@espe.edu.ec
Ing. Pablo Caiza	UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE	pecaiza1@espe.edu.ec

ÍNDICE

MENSAJE / <i>Francisco Viteri Santamaría DECANO FIGEMPA</i>	7
UNA HISTORIA DE LOGROS / <i>Jorge Ortiz Herrera SUBDECANO FIGEMPA</i>	7
EDITORIAL / <i>Gustavo Pinto Arteaga DIRECTOR - EDITOR GENERAL REVISTA FIGEMPA</i>	8
ARQUITECTURA ESTRUCTURAL Y ESTRATIGRÁFICA DE LA SECUENCIA PRE-APTIENSE DE LA CUENCA ORIENTE ECUATORIANA / STRUCTURAL AND STRATIGRAPHIC ARCHITECTURE OF THE PRE-APTIAN SEQUENCE OF THE ORIENTE BASIN / <i>Angulo Andrea / Bustos Jairo / Rivadeneira Marco / Navarrete Johanna / Baby Patrice / Palacios Diego</i>	9
OPTIMIZACIÓN DE UNA OPERACIÓN MINERA (GEOMETALURGIA) – CASO DE ESTUDIO MINEREICIS S.A. / OPTIMIZATION OF A MINING OPERATION (GEOMETALURGIA CASE STUDY – MINEREICIS S.A.) / <i>Salazar Ana Milena / Lozada Darío</i>	15
PERSPECTIVA PARA ZONIFICACIÓN DEL RIESGO POR DESLIZAMIENTOS PARA EL CANTÓN RIOBAMBA / PERSPECTIVE FOR ZONING THE RISK BY SLIDES FOR THE RIOBAMBA CANTON / <i>Bustamante Calderón Diana Patricia</i>	20
SEG STUDENT CHAPTER – UCE FIGEMPA / <i>Llerena Carrera Marcelo</i>	29
TRATAMIENTO DE DESECHOS ORGÁNICOS EMPLEANDO MICROORGANISMOS CELULOLÍTICOS / TREATMENT OF ORGANIC WASTE AT FAMILY ALDAZ'S SLAUGHTERHOUSE, EMPLOYING CELLULOLYTIC MICROORGANISMS / <i>Nacimba Nacimba Gabriela Alexandra / Santafé Sari Diana Carolina / Félix Daniel Andueza Leal</i>	30
BOLSA DE EMPLEO EN LA INDUSTRIA PETROLERA / <i>Jácome Granda Erick, Cuzco Bautista Nathaly, Rosero Arteaga Marisol, Cueva Luna Romina., Quinto Semestre Ingeniería de Petróleos 2018 - 2018</i>	40
EMPLEO DE BIOCATALIZADORES EN LA DEGRADACIÓN DE MATERIAL LIGNOCELULÓSICO: PRINCIPALES IMPACTOS / USE OF BIOCATALIZERS IN THE DEGRADATION OF MATERIAL LIGNOCELLULOSE: MAIN IMPACTS / <i>Salvador Pinos Carmen / González Erenio / Rojas Maira / Mesa Leyanis / Batallas Fernando / Pérez-Martínez Amaury / Concepción Diana.</i>	41
USO DE SUELOS CALCINADOS PARA MINIMIZAR LA EUTROFIZACIÓN MEDIANTE ADSORCIÓN DE FOSFATOS EN CHONE, ECUADOR / USE OF CALCINED SOILS TO MINIMIZE EUTROPHICATION THROUGH ADSORPTION OF PHOSPHATES IN CHONE, ECUADOR / <i>Palacios Orejuela Iván Fernando / Carrera Villacrés David Vinicio / Ushiña Huera Dennis Paúl</i>	47
MODELO PARA DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE HORMIGÓN UTILIZANDO LÓGICA DIFUSA / A MODEL FOR CONCRETE MIXTURE DESIGN USING FUZZY LOGIC / <i>Santamaría Jorge / Pilaluisa José / Morales Luis</i>	54
ESTUDIO DE UN COMPUESTO CEMENTANTE FOTOLUMINISCENTE Y SU APLICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN / A STUDY OF A PHOTOLUMINESCENCE CEMENTITIOUS COMPOSITE AND ITS APPLICATIONS IN CONSTRUCTION / <i>Flor Margarita / Carpio Andrés / Santamaría Jorge.</i>	62
INFLUENCIA DE LA AUTOMATIZACIÓN DE ENSAYOS DE FLUJO LUMINOSO TOTAL EN EL CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE COMBINADA Y EN EL TIEMPO DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO / INFLUENCE OF THE AUTOMATION OF THE TOTAL LUMINOUS FLUX TEST ON THE CALCULATION OF THE COMBINED UNCERTAINTY AND THE PERIOD OF EXECUTION OF THE TEST / <i>De la Bastida Ronny. / Espín Francisco. / Velásquez Carlos.</i>	71
PROBLEMÁTICAS EN LA FUNCIÓN INVESTIGATIVA DESDE LA PERSPECTIVA DEL PROFESORADO NOVEL UNIVERSITARIO / PROBLEMATICS IN THE INVESTIGATIVE FUNCTION FROM THE PERSPECTIVE OF THE UNIVERSITY NOVEL TEACHER / <i>Guerrero Gallardo Héctor Iván</i>	79
GUÍA PARA LA PRESENTACIÓN Y APROBACIÓN DE ARTÍCULOS	87
SISTEMA DE ARBITRAJE: EVALUACIÓN EXTERNA POR PARES Y ANÓNIMA	93
SPE STUDENT CHAPTER UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR / <i>Guerrero Cevallos William</i>	94

INVESTIGACIÓN

NOTICIAS



Mensaje del Decano

La publicación de este nuevo número es un aporte importante al desarrollo investigativo y a la generación de un espacio para la difusión del conocimiento a través de documentos técnicos de interés, es así que la Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental de la Universidad Central del Ecuador, sigue en una posición significativa a nivel nacional e internacional como uno de los centros educativos de importancia por su liderazgo y proyección, gracias al esfuerzo de las autoridades, docentes, estudiantes y trabajadores.

Dentro de la Universidad Central y en la Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental estas actividades de difusión han sido uno de los parámetros claves para la conducción académica y administrativa. Actualmente, estamos viviendo un proceso de transformación y todos estamos trabajando para superar etapas improductivas.

Como respuesta y responsabilidad y al ser parte de un centro de estudios universitarios, con gran beneplácito la FIGEMPA de la Universidad Central del Ecuador, presenta a la comunidad científica y al país en general un nuevo volumen de la Revista FIGEMPA – INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO, órgano de difusión de resultados de estudios técnicos e investigaciones que se han gestado y desarrollado en las aulas, en el campo y espacios académicos de esta facultad.

Presento mi saludo a los autores por el esfuerzo, colaboración, participación y dedicación por su aporte para la publicación de esta revista, y mis congratulaciones al Comité Editorial, es una nueva contribución de gestión para la FIGEMPA, por su compromiso para un mejor desarrollo y un futuro excelente al que aspiramos.

Ing. Francisco Viteri Santamaria , M.Sc.

DECANO



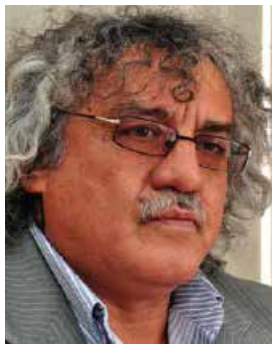
Una Historia de logros

La Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental; conocida y apreciada por sus miembros y amigos como FIGEMPA; tiene en su historia logros de significativa relevancia tanto en la Educación Superior como en la vida del Ecuador. Su tradición educativa forjada en las aulas y en el campo, siempre ha estado ligada a la formación de calidad como un elemento impulsor en la formación de profesionales de grado y posgrado; todos sus egresados son testigos vivenciales de la permanente búsqueda de la verdad en el conocimiento, una verdad que se encuentra en permanente construcción, que se apoya en las ciencias básicas, en el desarrollo de la tecnología, en la experimentación permanente a la búsqueda de soluciones a problemas de la profesión. La trayectoria académica en la FIGEMPA es un espacio en la vida

de sus estudiantes que exigió esfuerzo tesonero, significó un cambio en sus vidas y abrió las puertas de la realización profesional y personal. La FIGEMPA, por tanto se concentra en la búsqueda de soluciones a los problemas en los ámbitos de Geología (exploración, valorización, seguimiento a la extracción), Minas (diseño, explotación, salud y seguridad minera), Petróleos (producción, reservas y perforación) y Ambiental (prevención de riesgos, remediación y educación ambiental). Carreras que se integran entre sí, concebimos a nuestros profesionales para el trabajo en equipo e incluimos a otras profesiones. El camino en el Ecuador para nuestros profesionales será un trabajado solvente y patriótico en la extracción de los recursos hidrocarbúricos y mineros; se hará la exploración, explotación y tratamiento de la riqueza de nuestro suelo, todo ello con el mayor respeto a la naturaleza y a la sociedad, hemos podido contribuir a explicar la labor de la explotación racional a la sociedad, comunidades y población que pudo sentirse afectada, con ello se ha logrado el apoyo a la actividad responsable sobre el manejo de recursos. En esta trayectoria universitaria, la publicación de su producción científica es necesaria para sus docentes y estudiantes, por ello la importancia de la Revista FIGEMPA: Investigación y desarrollo; para la difusión de los avances en las Ciencias de la Tierra.

Dr. Jorge Ortiz Herrera

SUBDECANO



Editorial

En un mundo contemporáneo cada vez más complejo en cuanto a las relaciones sociales y producción de conocimiento y cultura, adquiere gran importancia la producción de revistas científicas de impacto. La universidad ecuatoriana tiene en este campo un enorme reto. Más allá de los resultados que arrojan las diferentes investigaciones, es imprescindible hoy más que nunca proponer soluciones a las diferentes problemáticas que tenemos como país, y en ello las publicaciones científicas nacionales son la muestra palpable de que a la comunidad científica no les son indiferentes los distintos dilemas que se plantea la sociedad.

Indispensable en ese contexto, resaltar la necesidad de cooperación y diálogo entre autoridades e investigadores que más que competir entre grupos busque construir ambientes de solidaridad que permitan alcanzar objetivos comunes. En este proceso, los jóvenes investigadores juegan un papel importante en conjunto con la sabiduría de los investigadores con mayor experiencia, debiendo posibilitarse la participación de los estudiantes.

Es necesario la generación de políticas de estado e institucionales que incluyen un mayor apoyo financiero de las instituciones del estado responsables de la educación superior e investigación, de la Universidad y de las Facultades, tanto para actividades de investigación y estudios técnicos cuanto para las publicaciones de sus resultados a través de las revistas especializadas. Se debe generar nuevos mecanismos y estrategias que vinculen al sector privado para el impulso de estas importantes actividades en la búsqueda de solución a problemas específicos de la industria y de la sociedad.

Pese a las limitaciones existentes, en el campo de las ingenierías, la producción de artículos basados en investigaciones y estudios técnicos se ha incrementado de manera notable, y se refleja en la gran demanda y expectativa que genera la revista FIGEMPA "INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO" entre docentes e investigadores, tanto al interior de la institución como fuera de ella. Hoy más que nunca, estamos convencidos de los pasos dados en la búsqueda de la calidad que consolide nuestra publicación, que es de ustedes, habiendo conseguido la asignación por parte de Latindex de nuestro registro ISSN para revistas electrónicas, integrado a otras redes internacionales de publicaciones científicas y conformado de un equipo editorial y asesor de primerísimo nivel, muestra de que la revista se va adaptando a los nuevos tiempos.

El compromiso social de los autores que confían en nuestra revista, es innegable, que en la presente edición se manifiesta en cada uno de los artículos publicados que abarcan distintas áreas del conocimiento en la rama de las ingenierías, el medio ambiente y el aprovechamiento sustentable de los recursos. Pedimos disculpas a los autores de los artículos que habiendo pasado todos los procesos de evaluación y aprobada su publicación, por falta de espacio no se ha podido integrar a este número.

Agradecemos a todos quienes cada día hacen posible el fortalecimiento de FIGEMPA "INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO", y esperamos que este aporte de la Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental de la Universidad Central del Ecuador al universo científico del país, perduren el tiempo como un testimonio del avance de la investigación y el compromiso social del Alma Máter del Ecuador.

Ing. Gustavo Pinto Arteaga , Mgtr.

DIRECTOR - EDITOR GENERAL

Arquitectura estructural y estratigráfica de la secuencia pre-aptiense de la cuenca oriente ecuatoriana

Structural and stratigraphic architecture of the pre-aptian sequence of the oriente basin



Angulo Andrea
e-mail: andriu_2909@hotmail.com



Navarrete Johanna
Docente Universidad Central
e-mail: janavarrete@uce.edu.ec



Bustos Jairo
e-mail: jgbustos@uce.edu.ec

Baby Patrice
Géoscience Environnement Toulouse
e-mail: patrice.baby@ird.fr



Rivadeneira Marco
Ministerio de Hidrocarburos
e-mail: mrvadeneira80@gmail.com



Palacios Diego
Docente Universidad Central
e-mail: dgpalacios@uce.edu.ec

Resumen

La configuración estructural y estratigráfica de la secuencia pre-Aptiense en la Cuenca del Oriente, se deriva del desarrollo de dos eventos tectónicos superpuestos. El primero pertenece a la aparición de un régimen extensional durante el Jurásico Medio-Valanginiense, representado por depresiones de hemi-graben y graben que constituyen los tres dominios tectónicos de la cuenca. En el graben Sacha-Shushufindi, el relleno sedimentario son representados por sedimentos volcanoclásticos continentales de la Formación Chapiza, parcialmente contemporáneos con la actividad del arco volcánico Jurásico Misahuallí (Tschopp, 1953), que se desarrolla en el margen occidental de la cuenca. Probablemente, la extensión está vinculada a los períodos de retroceso de un slab que se evidencia por el desarrollo de una zona de subducción y un control extensional en la región de arco posterior. El segundo episodio representa la inversión de fallas normales a inversas producidas a partir de una tectónica de compresión, lo que resulta en mega estructuras positivas (Anticlinales Sacha y Shushufindi). La edad de la inversión podría estar relacionada con la época volcánica Hauteriviense de la Formación Chapiza Superior o Miembro Yaupi, que se desarrollan en una sola operación contra la estructura invertida de Sacha.

Palabras clave: pre-aptiense; formación chapiza; extensión trasarco; inversión tectónica

Abstract

The structural and stratigraphic configuration of the pre-Aptian sequence in the Oriente Basin, is derived from the development of two overlapping tectonic events. The first, belongs to the appearance of an extensional regime during the Middle Jurassic-Valanginian, represented by half-graben and graben depressions that constitute the three tectonic domains of the basin. At the Sacha-Shushufindi graben the sedimentary filling are continental volcanoclastic sediments of the Chapiza Formation, partially contemporaneous with the activity of the Jurassic Misahuallí volcanic arc (Tschopp, 1953), that is developed in the western margin of the basin. Probably the extension is linked to slab roll-back periods by the development of a subduction zone and an extensional control in the back-arc region. The second episode represents the inversion of normal to inverse faults produced from a compressive tectonics, which results in mega positive structures (Sacha and Shushufindi Anticlinalines). The age of the inversion could be related to the Hauterivian volcanic of the Upper Chapiza Formation or Yaupi Member, which are developed in onlap against the Sacha inverted structure.

Keywords: pre-aptian; chapiza formation; back-arc extension; tectonics inversion

Introducción

La secuencia estratigráfica pre-Aptiense de la Cuenca Oriente se encuentra constituida por una cubierta sedimentaria marino-continental del Paleozoico-Mesozoico, superpuesta a un basamento cratónico pre-Cámbrico (Díaz et al., 2014). Está caracterizada por una arquitectura estructural relacionada a la inversión de un sistema de fallas extensionales, que han fracturado la cuenca en tres dominios tectónicos: Faja Plegada y Corrida Subandina (FPCS), Corredor Sacha-Shushufindi (CSS), y Sistema Invertido Capirotón Tiputini (SICT) (Baby et al., 2013).

En el presente estudio, se examinó la configuración estratigráfica y estructural principalmente de la zona norte del CSS, misma que permite comprender el desarrollo de los eventos tectónicos, extensivo y compresivo, que actúan durante el pre-Aptiense. De esta forma, adicionalmente se contribuye con un modelo tectono-estratigráfico más acertado y aporta a la comprensión de un posible sistema petrolífero en el pre – cretácico ecuatoriano.

Material y métodos

Para el desarrollo de la investigación, se consideró nueva información de sísmica 3D y de pozos: una franja orientada N-S de varios cubos sísmicos (1.930 Km²), posicionados en los campos petroleros más importantes de la cuenca (Libertador, Shushufindi y Sacha); y el levantamiento estratigráfico de dos pozos: IP-17 y BE x-1 localizados en la FPCS en el campo Pungarayacu (Figura.1), complementado con análisis bioestratigráficos y radiocronológicos llevados a cabo en los laboratorios de Petroamazonas EP, y Australian National University para dos muestras datadas por U-Pb SHRIMP en circones, una en cada pozo.

Resultados

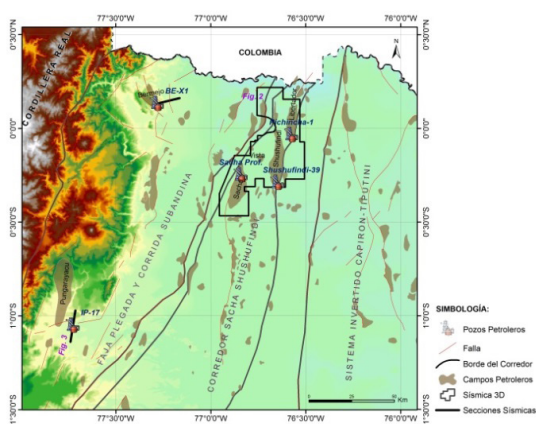


Figura 1. Esquema de perforación.

Se definieron seis unidades sismo-estratigráficas, "USE", agrupadas desde el punto de vista de evolución tectónica – estratigráfica en tres estadios de desarrollo estratigráfico: 1) pre-extensivo, 2) sin-extensivo y 3) sin-inversión.

Estratigrafía pre-extensiva

Consiste de las unidades geológicas que preceden el desarrollo de un sistema extensivo.

- USE-1-Basamento: está caracterizado por una configuración caótica y difusa, sin reflexiones dominantes (Fig. 2a, 2b y 3). Su litología consiste de rocas ígneas y metamórficas del Escudo Cratónico pre-Cámbrico Guayano-Brasileño (Tschopp, 1953; Díaz et al., 2014).
- USE-2-pre-Pumbuiza: muestra reflectores dispuestos paralelamente, con alta amplitud y continuidad, marcando el inicio de la subsidencia y primera sedimentación depositada sobre el basamento. Esta unidad no ha sido atravesada por ningún sondeo, pero probablemente se correlacione con la Fm. Contaya en Perú, constituida de lutitas graptolíticas intercaladas con areniscas del Ordovícico (Spencer, 1973). Al norte del CSS, se evidencia el desarrollo de posibles facies arcillosas o salífera, que deforma la secuencia suprayacente, posterior a su sepultamiento. En total se identifican 3 grandes cuerpos, estos representan probablemente a diapiros, dispersos bajo el campo Vista (Fig. 2a). Esta unidad está ausente en la FPCS, así lo demuestra el registro litológico del pozo IP-17 (Fig. 4) y la sísmica 2D (Fig. 3). Probablemente se limita al borde oeste del CSS y se extiende hacia el oriente.

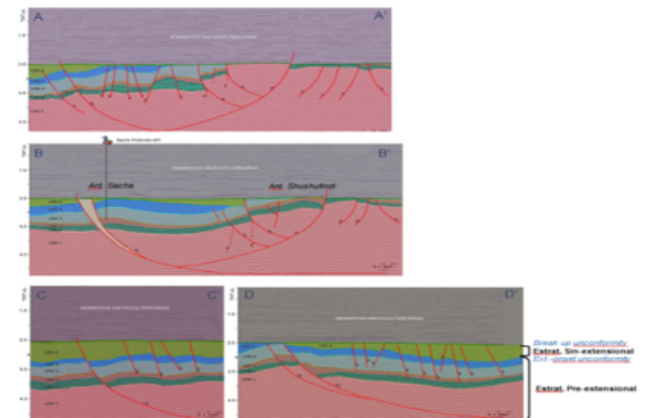


Figura 2a Tres secciones sísmicas transversales y una longitudinal al CSS ilustran la geometría de la secuencia pre-Aptiense y de sus cuerpos sedimentarios.

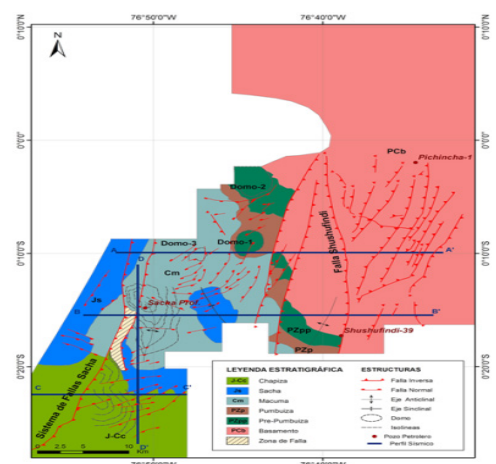


Figura 2b: mapa geológico de subsuelo (-2505 ms) de la sección norte del CSS.



- USE-3-Pumbuiza: sus reflectores registran menores amplitudes y media a baja continuidad (Fig. 2 y 3). Su litología ha sido descrita por los pozos Sacha Profundo y Shushufindi-039 en el CSS, que está constituida de areniscas y lutitas del Devónico. En la FPCS, los ripios del pozo IP-17 y BE X-1 definen un paquete homogéneo de lutitas, con rangos de TOC entre 0.5-2 % (Regular), Kerógeno tipo III con calidad pobre a regular proveniente de restos vegetales terrestres depositados en ambientes marino-someros (Fig. 4)

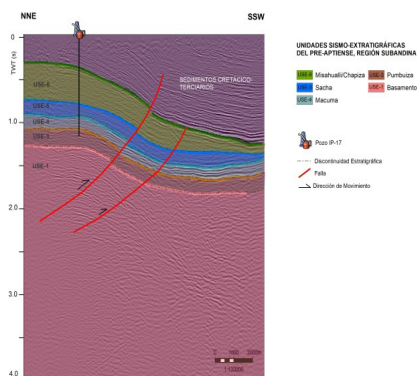


Fig. 3: Sección sísmica longitudinal a la FPCS (parte sur, ver Fig.1), mostrando un anticlinal asociado al desarrollo de fallas inversas, atravesada por el pozo. IP-17.

USE-4-Macuma: registra un cuerpo de reflectores claros y continuos dispuestos paralelamente considerado como una plataforma carbónica, con potentes estratos de caliza bioclástica y dolomitas, intercaladas de lutitas, limolitas y areniscas finas del Pensilvánico-Pérmico (Díaz et al., 2014). Hacia la región Subandina, los estratos mayormente calcáreos, pasan a ser intercalados en la base con facies volcano-sedimentarias de origen aún desconocido (Fig. 4).

- USE-5-Sacha: muestra un pequeño onlap contra la superficie subyacente, por encima continúa con un arreglo paralelo a divergente de baja continuidad y moderada amplitud (Fig. 2b). Dentro del pozo Sacha Prof., se constituye de una secuencia de capas rojas, datadas en su límite inferior del Triásico Tardío (Rivadeneira y Sánchez, 1989). Volcánicos del Sinemuriense (195±3Ma), datados en el presente estudio por U-Pb SHRIMP en circones, fueron encontrados en los pozos IP-17 y BE X-1, correspondiendo cronológicamente al Ciclo Santiago/Sacha (Fig. 4). La base de este ciclo en ambos dominios tectónicos no presenta la misma edad, por lo que se puede interpretar un límite diacrónico más joven hacia la FPCS.

Estratigrafía sin-extensional

Las características de relleno de la USE-6, considerada como la Fm. Chapiza, definen a esta unidad como una secuencia sin-extensional, que se acomoda sobre una marcada superficie estratigráfica, extensional-onset unconformity, misma que define el límite con la secuencia pre-extensional (Fig. 2-C y D). Esta unidad se compone de una alternancia

de reflectores de alta a baja amplitud y continuidad, configurados estructuralmente en una cuña de material sin-extensional, asociado al basculamiento y movimiento del bloque colgante sobre el fallamiento normal principal a vergencia este que controla la subsidencia.

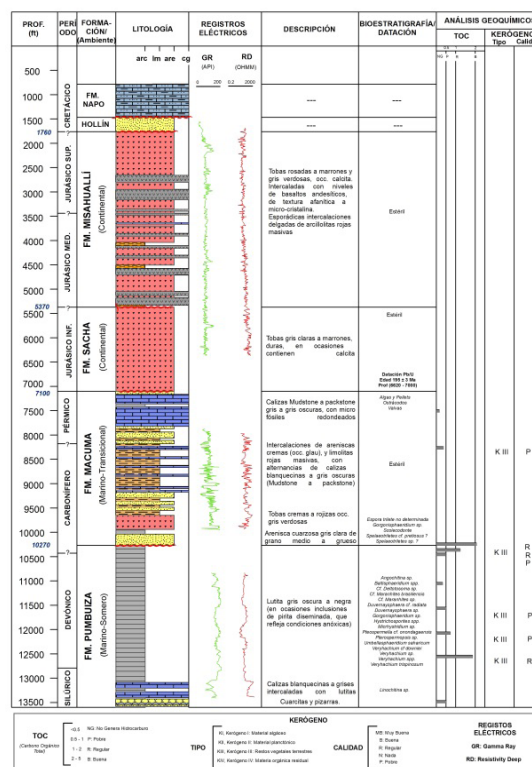


Fig. 4: Columna litológica, nuevas dataciones y niveles de roca madre de la secuencia pre-Aptiense del pozo IP-17.

Esta secuencia comprende una espesa serie de capas rojas y sedimentos volcanoclásticos continentales, considerados parcialmente coetáneos con la actividad del arco magmático jurásico Misahuallí (Tschopp, 1953). Con estas consideraciones y en base al contacto estratigráfico con la Fm. Sacha del Triásico Superior-Jurásico Inferior (Rivadeneira y Sánchez, 1989), se designa una edad del Jurásico Medio, para el inicio de la sedimentación Chapiza y por tanto el inicio de la extensión.

Estratigrafía sin-inversión

El registro litológico del pozo Sacha Prof. señala tobos y basaltos gris oscuros al tope de la Fm. Chapiza o Miembro Yaupi, datados por palinología y radiometría en los ríos Yaupi y Chapiza de 132 Ma (Hauterivienese), lo que los diferencian de los volcánicos Misahuallí (Jaillard, 1997). Sus características geoquímicas y significado geodinámico son aun inciertos, pero en base al desarrollo de onlaps contra la estructura invertida Sacha (Fig. 2b), se presume que marquen la edad de una inversión, probablemente desarrollada entre el

Hauteriviense y Barremiense, anterior a la deposición de la Fm. Hollín.

Estructura y evolución tectónica

La región norte del CSS (Fig. 2) expone el desarrollo de un sistema extensivo, con una configuración estructural tipo graben, cuyo relleno sedimentario, lo constituyen los depósitos de la Fm. Chapiza. Está controlado en sus márgenes, por el Sistema de fallas Sacha al oeste y falla Shushufindi al este, de tipo lístricas y dirección de inclinación opuesta, que delinear su geometría y orientación NE-SO. Fallas normales planas están acentuadas entre los márgenes del graben, con diferencia de estilos estructurales entre un segmento norte y un segmento sur. Al norte, el rumbo de las fallas es subparalelo con respecto al eje principal del graben y su buzamiento es hacia el NO; mientras que al sur, presentan una orientación oblicua al eje principal, con buzamientos hacia el SE (Fig. 2).

Las fallas principales de carácter lístrico que controlaron los márgenes del graben, fueron reactivadas durante una tectónica compresiva, provocando el desplazamiento de las secuencias pre y sin-extensionales, que dan resultado a las mega estructuras positivas, correspondientes a los anticlinales Sacha y Shushufindi (Fig. 2b).

Estructuras extensivas preservadas o con débil inversión

Los controles estructurales vigentes durante la etapa extensional, están mayormente preservados al sur del campo Sacha, donde la estructura original de la extensión se ha conservado sin mayores alteraciones. La sección sísmica exhibe una estructura extensional sin-sedimentaria, anticlinal de rollover, que muestra el desarrollo del flexuramiento del bloque sedimentario por encima de la falla lístrica Sacha. Los sedimentos sin-extensionales (USE-6) descienden y rellenan el espacio producido durante la apertura de la falla, formando un cuerpo convexo. Fallas normales planas sintéticas se acentúan a intervalos de tiempo regulares durante la extensión, y deforman el rollover.

Estructuras invertidas

Las estructuras Sacha y Shushufindi, que representan los máximos del desplazamiento inverso, consisten en anticlinales formados por la propagación de las fallas del borde durante la inversión en su movimiento. La parte superior de las estructuras muestra una contracción neta, mientras que en profundidad mantienen signos de extensión (Figura 2-B). Están alineadas paralelamente al eje de la cuenca, alcanzando longitudes de alrededor de 20 Km, y 6 Km de ancho (Fig. 2). Si bien ambos márgenes de la cuenca presentan

el mismo estilo de deformación, el margen oriental registra un mayor levantamiento, generando durante la cinemática de contracción la aparición de fallas inversas antitéticas al fallamiento Shushufindi, que levanta la secuencia y decapita antiguas fallas normales (Fig. 2b). Por detrás, se genera un retrocorrimiento controlado por fallas transpresivas, las mismas que probablemente formen parte de una gran estructura en flor (Baby et al., 2013).

En la FPCS, la sísmica 2D que atraviesa el pozo IP-17 (Fig. 3) manifiesta el desarrollo de un anticlinal, en respuesta a la inversión del movimiento de la falla normal previa, que controló la deposición de la secuencia sin-extensional Chapiza. El movimiento de falla contraccional desplazó la secuencia sin y pre-extensional sobre el bloque superior fallado, por encima de la elevación regional predeformada (Fig. 3).

Modelo de evolución

La interpretación estratigráfica y estructural de la sísmica 3D expuesta anteriormente, permitió reconstruir el modelo de evolución para la secuencia pre-Aptiense dentro del CSS, durante la etapa de extensión y posterior compresión, desarrolladas en el Jurásico Medio-Cretácico Inferior. Explicado en la Figura 5.

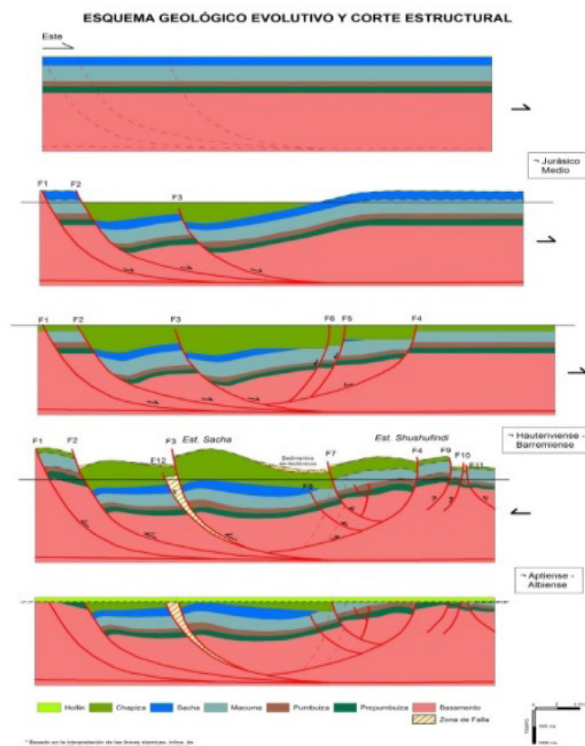


Fig. 5: Esquema geológico evolutivo de la cinemática de deformación entre el Jurásico Medio y el Cretácico Inferior, en el CSS.

El inicio de la activa extensión ocurrió aproximadamente en el Jurásico Medio, con el desarrollo de un fallamiento extensional lístrico en el borde occidental durante la deposición de la Fm. Chapiza. En esta



etapa, actuaron fallas lítricas sintéticas (F1, F2 y F3), involucrando el basamento, que se unen en profundidad en una superficie de despegue, con sentido de desplazamiento hacia el oriente. El movimiento de falla, produce un fuerte basculamiento de la secuencia sedimentaria por encima del fallamiento lítrico, lo que da origen a una geometría de semi-graben, con desarrollo de estructuras extensionales sin-sedimentarias de tipo anticlinal de rollover, preservadas al sur del campo Sacha (Fig.2-B).

Con el aumento de la extensión, la geometría inicial evolucionó a un graben, desarrollando fallas normales antitéticas al fallamiento lítrico principal; encabezada por la falla Shushufindi (F4), que representa el borde oriental del graben, seguida de fallas escalonadas con similar dirección de movimiento (F5 y F6), que avanzan hacia el interior del graben. La sedimentación muestra un incremento en su extensión, rellenando todo el graben.

En el Hauteriviense aproximadamente, las fallas directas que controlaron el desarrollo inicial de la cuenca invierten su movimiento y levantaron toda la secuencia sedimentaria, manteniendo signos de extensión en profundidad y mostrando contracción asociada a crecimiento de anticlinales hacia la superficie (estructura Sacha y Shushufindi). Con la deformación progresiva, durante el levantamiento del borde este de la cuenca sobre la falla Shushufindi, se desarrollan fallas antitéticas (F7 y F8), que cortan las fallas normales F5 y F6 impidiendo su reactivación; además del desarrollo de un retrocorrimiento que se propaga hacia el este (F10, F11 y F12).

Para el Aptiense, después de un periodo de erosión, la cuenca es sellada por depósitos clásticos fluviales, correspondientes a la Fm. Hollín (Baby et al., 2013).

Discusión

A partir de la interpretación estructural y estratigráfica de los datos sísmicos y de los pozos seleccionados, se estableció un control tectónico extensional durante la depositación de la Fm. Chapiza, a la que se asigna una edad Jurásico Medio y Cretácico Inferior, sobre la base de su posición estratigráfica. Con ello se reevalúa y posteriormente se invalidó la edad Triásico Tardío-Jurásico Temprano de una extensión, antiguamente propuesta sobre la base de la definición de una supuesta depositación sin-rift de las Fms. Sacha/Santiago, descrito en el CSS y al sur de la Región Subandina propuesta por Díaz, 2014.

La extensión probablemente de edad Jurásico Medio y Valanginiense, es desarrollada en forma concomitante a una zona de subducción, definida sobre la base del arco volcánico Misahuallí del Liásico Tardío y Jurá-

sico Superior, ubicado al oeste de la Cuenca Oriente (Romeuf et al., 1997). Este importante elemento geotectónico lleva a la idea de un sistema extensional de tipo back-arc, cuyo desarrollo probablemente esté ligado a periodos de slab roll-back, en el cual el slab de subducción retrocede y se verticaliza (Martinod, et al. 2006), provocando la propagación de una extensión detrás del arco, que deja como resultado los sistemas de semi-graben y graben que forman los tres dominios tectónicos.

En la FPCS, la fuerte tectónica transpresiva a la que ha sido sometida, por su posición en la zona de wedge-top de la actual cuenca de foredeep Oriente (Baby et al., 2013), ha modificado en su mayoría las evidencias de extensión, resultando complejo su caracterización. En el CSS, las estructuras preservadas la definen como un graben, relleno de depósitos volcano-sedimentarios de la Fm. Chapiza, considerados como facies proximales al arco Misahuallí (Díaz et al., 2014). Hacia el este, las evidencias extensionales se conservan en importantes semi-graben, conocidos dentro del SICT. El más representativo es el semi-graben Tambococha, cuyo relleno sin-extensional, consiste en depósitos marino-someros del Jurásico Tardío-Neocomiense definidos como la Fm. Tambococha, la misma que es considerada equivalente lateral a la Fm. Chapiza y atribuida a facies distales del arco (Díaz et al., 2014).

El cierre del sistema extensional, marcado por la discordancia angular regional a la base de la Fm. Hollín, probablemente se desarrolla en el Hauteriviense-Barremiense, inferido por los basaltos al tope de la Fm Chapiza de 132 Ma (K/Ar), asociados a un cambio geodinámico (Jaillard, 1997), y desarrollados en onlap contra la estructura positiva Sacha. Probablemente la compresión que generó la inversión del sistema extensivo, este relacionada a la propagación hacia el oeste de la ruptura Tethys de Laurasia y Gondwana durante la apertura inicial del Océano Atlántico, expresando deformación tectónica en el borde del Pacífico (Jaillard et al., 1995). Las cuencas de Acre de Brasil y Solimões invertidas en el Jurásico Tardío durante la Orogenia Juruá (Caputo, 2014), coinciden con la gran compresión y cizallamiento en los países andinos, por lo que se podría atribuir a la orogenia brasileña Juruá (Caputo, 2014).i)

Conclusiones

La arquitectura estructural y disposición estratigráfica de la secuencia pre-Aptiense a lo largo de la sección norte del CSS, responde al desarrollo de una cuenca extensional, activa durante la depositación de la Fm. Chapiza (Jurásico Medio-Valanginiense). Este perio-

do estuvo controlado por un sistema de fallas lístricas (S. de fallas Sacha al oeste y Shushufindi al este), que delinearon la orientación y geometría de la cuenca, formando una depresión alargada tipo graben con rumbo preferentemente NE-SW.

Anticlinales asociados a movimientos contraccionales (Anticlinales Sacha y Shushufindi), en los bordes de la cuenca, manifiestan una inversión tectónica posterior (Hauteriviense-Barremiense), probablemente vinculada a los volcánicos de la parte superior de la Fm. Chapiza de 132 Ma (Hauteriviense) (Hall & Calle in Jaillard, 1997), considerada por Jaillard (1997) como el Miembro Yaupi, que se desarrollan en onlap contra la estructura Sacha.

En forma concomitante con el desarrollo del régimen distensivo, en la Región Subandina se desarrollaba el arco volcánico Misahuallí (Liásico Tardío y Jurásico Superior) (Romeuf, et al., 1997; Jaillard, 1997), que permite inferir un sistema extensional de backarc que evolucionó detrás del arco magmático. Probablemente los tres dominios tectónicos estuvieron controlados por un régimen extensional de amplia distribución detrás del arco volcánico Misahuallí, ligado a periodos de slab rollback.

La inversión tectónica podría estar relacionada con la propagación hacia el oeste de la ruptura Tethys, durante la apertura inicial del Océano Atlántico expresando deformación tectónica en el continente, conocida como la Orogenia Juruá, en Brasil (Caputo, 2014).

El levantamiento estratigráfico en los pozos IP-17 y BE X-1 muestran una continuación lateral de las unidades del pre-Aptiense, a excepción de la Fm. Pre-Pumbuiza. El registro sedimentario empieza con la Fm. Pumbuiza en inconformidad sobre el basamento. Los estratos mayoritariamente calcáreos de la Fm. Macuma pasan a ser intercalados por volcano-sedimentos hacia la FPCS. Volcánicos del Sinemuriense (Jurásico Inferior), datados por U-Pb SHRIMP en circones, sobreyacen a la Fm. Macuma, en ambos pozos, cronológicamente se correlacionan con el Ciclo Santiago/Sacha (Triásico Superior-Jurásico Inferior). La base de este ciclo no presenta la misma edad en ambos dominios tectónicos, por lo que se puede considerar un límite diacrónico más joven hacia la FPCS. El Ciclo Misahuallí/Chapiza, sin-extensional, es mucho más potente en la FPCS por su cercanía con el arco volcánico Misahuallí.

Referencias bibliográficas

Baby, P., Rivadeneira, M., Barragán, R., & Christophoul, F. (2013). Thick-skinned tectonics in the Oriente foreland basin of Ecuador. *Geological So-*

ciety, London, Special Publications, 377, 59-76.

Caputo, M. V. (2014). Juruá Orogeny: Brazil and Andean Countries. *Brazilian Journal of Geology*, 44(2), 181-190.

Díaz, M., Baby, P., Rivadeneira, M., & Christophoul, F. (2014). El pre-Aptiense en la Cuenca Oriente Ecuatoriana. En P. Baby, M. Rivadeneira, & R. Barragán, *La Cuenca Oriente: Geología y Petróleo* (págs. 31-50). Quito: Travaux de l'Institut Français d'Études Andines.

Jaillard, E. (1997). Síntesis Estratigráfica y Sedimentológica del Cretáceo y Paleógeno de la Cuenca Oriental del Ecuador. Informe Final, Convenio Orstom-Petroproducción, Quito.

Jaillard, E., Sempère, T., Soler, P., Carlier, G., & Marocco, R. (1995). The role of Tethys in the evolution of the Northern Andes between Late Permian and Late Eocene times. En A. Nairn, L. Ricou, B. Vrielynck, & J. Dercourt, *The Ocean Basins and Margins: 8. The Tethys Ocean* (págs. 463-492). New York: Plenum Press.

Martinod, J., Espurt, N., Guillaume, B., Funicello, F., Faccenna, C., & Farías, M. (2006). Control de la velocidad de placas y de la densidad del slab sobre la dinámica de la subducción oceánica y el régimen tectónico de la placa superior: Análisis de modelos análogos. *XI Congreso Geológico Chileno*, 2, 275-278.

Rivadeneira, M., & Sánchez, C. (1989). Consideraciones geológicas del Preaptense de la Cuenca Oriente. *Sexto Congreso Ecuatoriano de Ingeniería en Geología, Minas y Geotecnia*, 214-252.

Romeuf, N., Munch, P., Soler, P., Jaillard, E., Pik, L., & Aguirre, R. (1997). Mise en évidence de 2 lignées magmatiques dans le volcanisme du Jurassique inférieur de la zone subandine équatorienne. *Comptes Rendus Academie of Sciences*, 324, 361-368.

Spencer, A. (1973). *Geological Survey of the Rio Santa Catalina to Contaya Dome area*. Lima, Perú.

Tschopp, H. (1953). *Oil explorations in the Oriente of Ecuador*. Quito: AAPG Bulletin.

Optimización de una operación minera (geometalurgia) – caso de estudio Minereicis S.A.

Optimization of a mining operation (geometalurgia) - case study – Minereicis S.A.



Salazar Ana Milena
Supervisora de Mina en MINEREICIS S.A
e:mail: anitasmile.01@gmail.com



Lozada Darío
Profesor de la Carrera de Ingeniería en Minas de la UCE
e:mail: ddlozada@uce.edu.ec

Resumen

La empresa minera MINEREICIS S.A ubicada en el cantón Ponce Enríquez provincia del Azuay radica sus labores en función de la extracción de minerales portadores de oro y cobre, ha detectado oro en los relaves finales, adicionalmente en los concentrados de flotación tienen un porcentaje de arsénico que es penalizado en la comercialización. Expuesto esto se realizó una investigación a detalle en puntos estratégicos de trabajo de interior mina y planta de beneficio durante un tiempo estimado de 8 meses previo la propuesta de optimización de la operación desde un enfoque geometalúrgico que proporciona información para la evaluación de recursos, definir los métodos de explotación y la técnica de beneficio de minerales. Se realizó la caracterización mineralógica del yacimiento muestreando de manera metodológica a las vetas para la formación de un compuesto para someterlos a los ensayos granulométricos, toda esta información suministró las variables que utiliza la geometalurgia para la optimización de un proceso minero. La hipótesis planteada es: realizando un estudio Geometalúrgico aplicando protocolos de muestreo y análisis respectivos, permitirá optimizar identificar variables de optimización en el proceso metalúrgico de recuperación de oro y concentrado. Marco Referencial: geología minera del Distrito Bella Rica y estado actual de la Planta de Beneficio.

Palabras clave: geometalurgia; concentrados de flotación; oro; cobre; caracterización; mineralogía

Abstract

The mining company MINEREICIS SA located in the canton of Ponce Enríquez province of Azuay dedicated to the extraction of gold and copper bearing minerals has detected gold in the final tailings, additionally in the flotation concentrates it has a percentage of arsenic, which penalizes its commercialization. Having explained this, a research was carried out to optimize the operation from the geometalurgy. The geometalurgy characterization of the deposit, provides the information for the evaluation of resources, to define the methods of exploitation and the technique of benefit of minerals. The mineralogical characterization of the deposit was carried out by sampling methodically the veins for the formation of a composite to submit them to the metallurgical tests. All this information does not derive from the variables that geometalurgy uses for the optimization of the mining process. The hypothesis is: conducting a technical - scientific research will optimize the metallurgical process of recovery of gold and concentrate. Referential Framework: mining geology of the Bella Rica District, current status of the Benefit Plant. Theoretical Framework: parameters of the veins, comminution operations.

Keywords: mercury; gold; mining artisanal direct fusion; pretreatments

Introducción

El presente trabajo expone la situación actual del sistema de explotación y beneficio realizando una evaluación sistemática del material mineralizado el cual se ha caracterizado en los aspectos geometalúrgicos que permitirán recomendar variables para la optimización en el beneficio y recuperación del oro y concentrado. La implementación y aplicación de estándares técnicos surgen partiendo del muestreo en puntos específicos en la planta de tratamiento (trituration, molienda, concentración gravimétrica, flotación y cianuración) donde se identificó zonas de mayor atención que necesitan reforzarse para cumplir con el proceso de mejoras. El presente estudio tuvo la duración de 8 meses entre salidas de campo, pruebas de laboratorio y revisión bibliográfica.

Los aspectos claves en un proyecto minero, son la evaluación del potencial económico; y el desarrollo de un diseño de operación eficiente (Acuña, 2011). Se recopiló y analizó información referente a: Geología Regional y Local, asociaciones mineralógicas, método de explotación, facilidades para la perforación durante la explotación o exploración, concentración de elementos deseables o indeseables durante un proceso, dureza del material (facilidad de molienda), conocimiento de la mejor malla de liberación de las partículas minerales, recuperación metalúrgica, relaciones de la mena con el consumo de reactivos.

La Mina y Planta de beneficio pertenecientes a la Compañía Minera "MINEREICIS S.A.", se ubican al Sureste del Ecuador, en la parte más baja de la Cordillera de Los Andes y en la zona costanera de esta región. Políticamente, el proyecto minero industrial, se encuentran en la provincia de Azuay, jurisdicción del cantón y parroquia Camilo Ponce Enríquez, sector La López. Con el estudio geometalúrgico se dio propuestas para que la compañía minería pueda organizar técnicamente los trabajos que se realizan tanto en interior mina como en la planta de tratamiento del mineral; de esta manera aumentar la eficiencia de los diferentes trabajos, beneficiándose la Compañía Minera MINEREICIS S.A. con resultados técnico, operativo económicos favorables, garantizando de esta manera la producción.

La geometalurgia para ser aplicada necesita de datos mineralógicos y de las pruebas metalúrgicas (liberación, grado de liberación, distribución granulometría, flotación, concentración gravimétrica, recuperación etc.) (Dominy, SC., O'Connor L. y Xie Y., 2016).

El campo mineral de Ponce Enríquez, situado dentro del Subdistrito Machala-Naranjal, en la parte occidental del Distrito Azuay, es conocido por sus depósitos de Cu-Au-Mo en pórfidos y vetas, brechas y stockworksepi-mesotermiales desarrollados dentro de las rocas de caja volcánicas (INIGEMM,2014),

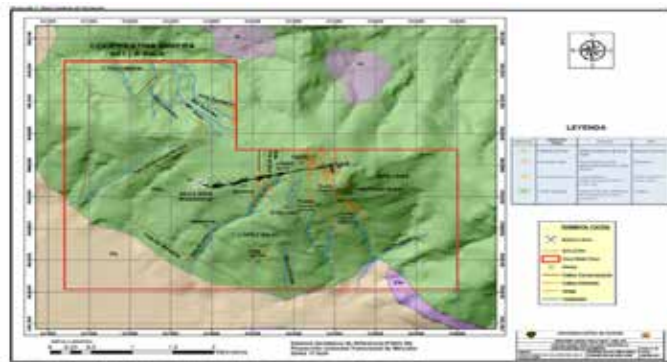


Figura 1.- Mapa geológico del yacimiento. (Elaboración propia).

(CODIGEM,2000). Las labores mineras subterráneas efectuadas en la Empresa MINEREICIS S.A., se han definido muy bien algunas vetas y vetillas de cuarzo aurífero con dirección principal NNW-SSE, estas han sido afectadas por fallas transversales, en su mayoría de tipo normales, destacándose la falla transversal inversa (sobrecorrimiento), que separa Bella Rica de Pueblo Nuevo, podemos observar el mapa geológico del yacimiento en la figura 1. El Campo Minero Ponce Enríquez ocupa la parte central de este subdistrito donde la Unidad Pallatanga principalmente expuesta y forma una banda casi continua limitada por fallas a lo largo de las estribaciones occidentales de la Cordillera Occidental. La Unidad comprende: basaltos tolióticos lávicos masivos y almohadillas con instrucciones básicas y cantidades subordinadas de volcanoclásticas, sedimentos pelágicos y rebanadas tectónicas ultramáficas. La base de esta unidad no está expuesta y, hacia el Este, está cubierta discordantemente por rocas volcánicas, de composición intermedia a silíceo calcoalcalina del Grupo Saraguro. El espesor de esta Unidad ha sido estimado en más de 1 km, al Este de Ponce Enríquez (Lara, 2011).

Materiales y métodos

Preparación de las muestras

Las muestras fueron recopiladas e identificadas en interior mina, se guardaron en fundas plásticas debidamente etiquetadas para ser transportadas a los respectivos laboratorios, mientras las muestras correspondientes a los procesos de la Planta de Beneficio fueron sometidas a procesos de trituración y secado y cuarteo previo la realización de los respectivos ensayos.

Muestreo interior Mina

Aplicando la técnica de muestreo tipo canal, se recogieron 15 muestras representativas de la calidad o condiciones medias de los cuerpos mineralizados para cada zona de estudios lo largo de los frentes de trabajo habilitados. Se realizó también una descripción in situ de cada una de las vetas para conocer sus características estructurales y mineralógicas como lo muestra la figura 2.



Figura 2.- Esquema del muestreo tipo canal en yacimientos vetiformes. (Elaboración propia).

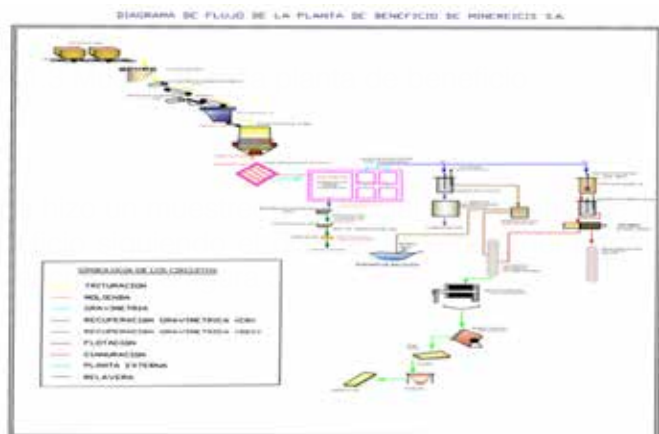


Figura 3.- Diagrama de flujo del proceso de beneficio de minerales. (Elaboración propia).

Para abarcar todo el material proveniente de la mina, se establecieron puntos estratégicos de muestreo: 1 en la tolva de almacenamiento se realizó el muestreo del material que llega directamente de la mina, muestreo en la banda transportadora que conduce el material hasta los molinos chilenos, se hizo el muestreo en una especie de redes tomando las muestras de todos los sectores y piscinas de sedimentación, para obtener valores más exactos basándonos en la teoría fundamental del muestreo de Pierre de Gy (1971). El muestreo se lo realizó durante ocho días consecutivos y con frecuencias de 1-2 horas, tomando en cuenta evitar la segregación por peso (Pitard, 2002).

Para el muestreo de las pulpas las piscinas de sedimentación, se utiliza el muestreador de la figura 4 denominado coliwasa (composited liquid waste sampler), el cual permite obtener un espécimen representativo realizando un mallado de muestreo en las piscinas de sedimentación para luego obtener un compuesto ya que se hace una mezcla de las arenas desde las ubicadas a profundidad hasta las que se encuentran cercanas a la superficie.



Figura 4.- Muestreo en piscinas de sedimentación con aplicación de mallado y utilización del muestreador coliwasa. (Elaboración propia).

Figura 4.- Muestreo en piscinas de sedimentación con aplicación de mallado y utilización del muestreador coliwasa. (Elaboración propia).

En la figura 5 tenemos las muestras de la sección de molienda secadas para luego ser empacadas y puestas los códigos correspondientes.



Figura 5.- Secado, empacado y codificación de las muestras de la planta de beneficio. (Elaboración propia)

Caracterización

Química

El análisis químico fue muy importante para la cuantificación de metales, se determinaron de leyes promedio de metales (Au, Ag, Cu, As) en los 4 bloques de explotación así mismo se pudo determinar leyes de oro mediante los análisis de ensayo al fuego para las muestras de la planta de beneficio: determinación de leyes de cabeza en la tolva de finos, banda transportadora, desfuegos del molino chileno, canalones y piscinas de sedimentación. Adicionalmente se realizó análisis de ensayo al fuego por malla valorada en el estudio granulométrico del material captado en los desfuegos del molino chileno para ver si existe efecto pepita.

Física

Valoración de las propiedades físicas de las muestras del macizo rocoso, material mineralizado (vetas), material triturado, producto de la molienda (pulpas) junto con la distribución granulométrica. Para la realización de la distribución granulométrica se utilizando el equipo de la figura 6.



Figura 6.- Montaje del vibrotamiz para análisis granulométrico. (Fuente: Laboratorio Geocientífico INIGEMM)

Mineralógica

La observación microscópica, generalmente es el primer paso de toda investigación mineralógica, debido a que permite realizar estudios rápidos en

base a la expectación y comparación de la morfología mineralógica (Marshall, 2014). Los minerales útiles tenemos oro nativo, oro ocluido, en los minerales secundarios tenemos a la esfalerita, calcopirita, blenda y galena, por último, los minerales traza tenemos a la esfalerita, arsenopirita, pirita y pirrotina.

Para el desarrollo de este ensayo se seleccionaron previamente las muestras representativas de cada una de las vetas, tomando en cuenta indicadores comunes como: color, dureza, magnetismo, asociaciones mineralógicas, de esta manera establecer el corte adecuado para las secciones pulidas y láminas delgadas para ser analizadas en el Microscopio OLYMPUS BX51, en el caso de las láminas delgadas se utilizó luz natural y polarizada mientras que para secciones pulidas se analizaron mediante luz reflejada. En la figura 7 tenemos la ilustración de una lámina delgada.



Figura 7.- Estructura de la ficha de secciones pulidas. (Elaboración propia).

Las muestras obtenidas en campo, se describieron petrográficamente previo a la selección y elaboración de 7 láminas delgadas y 3 secciones pulidas (briquetas) en el laboratorio de petrografía de la FIGEMPA, de igual manera en el Laboratorio de Petrografía del Instituto Nacional de Investigación Geológico Metalúrgico en adelante INIGEMM, se contó con la autorización para elaboración de 5 secciones pulidas e interpretación de 8 briquetas y 7 láminas delgadas en el área de Petrografía.

Discusión

Por medio del análisis mineralógico, distribución granulométrica y análisis químicos se pudo identificar la presencia de oro ocluido como podemos observar en la figura 8. Se hace referencia a las principales formas con que el oro se presentó en las muestras recolectadas.

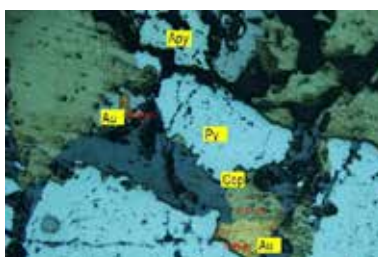


Figura 8.- Asociaciones mineralógicas determinadas en microscopía. (Elaboración propia).

El cálculo para la malla de liberación se lo realizó por el método de S. Bouchard (2001) se determinó que la malla de liberación es a los 163 µm. Concluyendo que la mayor liberación de partículas está comprendida entre las mallas #80-100. La Malla de liberación, es decir, el diámetro que debe tener la partícula para que el mineral precioso sea liberado satisfactoriamente se determina mediante observación al microscopio; corresponde a la fracción granulométrica donde prácticamente no existen granos mixtos (granos de ganga que incluyen partículas de Au) (Neely, 2004).

Con esta información observemos la distribución granulométrica del producto del molino del tipo chileno de la planta de beneficio en la figura 9. Se utilizó el equipo de la figura 6.

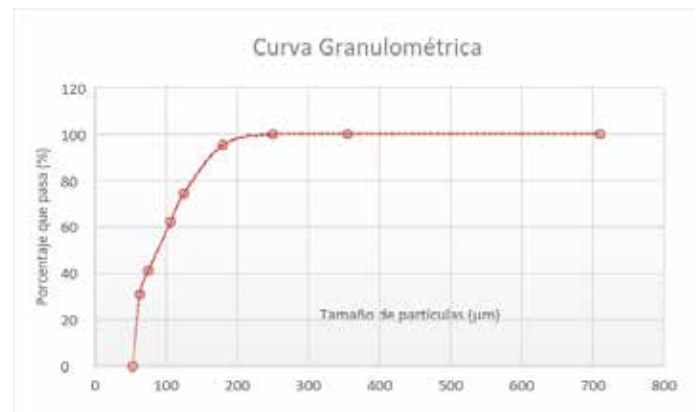


Figura 9.- Curva granulométrica de la muestra No.1- Pulpa de los desfogues del Molino Chileno #3 (Fuente: Elaboración Propia).

Este dato de malla de liberación fue corroborado aplicando la ecuación de GAUDIN – SHUMAN [Ec.1] a diferentes datos de granulometría para obtener una función de distribución granulométrica:

$$\text{Función G-S} \quad Y = \left(\frac{X}{214}\right)^{0.892}$$

Ec.1.- Función de distribución granulométrica para determinar el D80 (Fuente: Elaboración propia)

Al despejar el tamaño de liberación a 80 %, dio como resultado 163 µm respaldando el resultado obtenido por el método de S. Bouchard (2001). El d80 de la salida del molino chileno está en 250 µm, por lo tanto, podemos afirmar que se necesita mejorar la molienda hasta obtener los 163 µm que se necesita para liberar a las partículas de oro ocluidas en los sulfuros.

Flotación

En los concentrados de flotación se determinó que poseen más del 1% en cantidad de Arsénico por lo cual está siendo penalizado al momento de su venta. Para esto se ha planteado la necesidad de la realización de un estudio en flotación selectiva en donde el objetivo sería concretar los sulfuros del ar-



sénico separándolos de los concentrados de cobre. Al momento la empresa solo realiza una flotación bulk en donde todos los sulfuros son flotados y acopiados como concentrados.

Conclusiones

Los minerales claros observados cualitativamente en el análisis macroscópico corresponden a silicatos (cuarzo, plagioclasas, feldespato potásico, arcillas), se observó sulfuros (pirita, calcopirita, arsenopirita, galena, tetraedrita, pirrotina, blenda, hematita) y carbonatos (calcita).

En el análisis microscópico promedio de las muestras se registraron los siguientes porcentajes de minerales: arsenopirita (19.90%), esfalerita (8.70%), pirrotina (13.60%), galena (24.06%) y cuarzo (32.50%), calcopirita (1,24 %).

Se visualizó oro refractario en algunas secciones pulidas, con dimensiones entre 160 y 190 μm , las partículas se encuentran ocluidas en la red cristalina de sulfuros.

La malla de liberación más óptima esta entre la #80 y la # 100, dado que la malla de trabajo de los molinos chilenos está en #60 se debe trabajar en la implantación de alguna mejora para alcanzar la malla entre 80 a 100 porque ahí se tendrá la liberación de oro ocluido.

La mayor distribución del contenido de oro esta sobre la malla 80 (170 micrones), razón por la cual este oro puede ser recuperado mediante concentración gravimétrica directamente.

Recomendaciones

En la literatura se recomienda realizar una molienda hasta # 200 en este caso llegar a esa malla se necesita cambiar el molino chileno a molino de bolas que económicamente es bastante difícil de ahí que se sugiere realizar un estudio de conminución para saber si se puede llegar hasta una malla # 100 (que se podría tener liberado al oro según la microscopia obtenida).

Se recomienda realizar un trabajo de investigación relacionado con la flotación selectiva para eliminar a la arsenopirita del concentrado de flotación y así tener una mejor rentabilidad en cuanto la venta del nuevo concentrado.

Se recomienda realizar un estudio sobre la correcta disposición de los relaves tomando en cuenta la mineralogía que queda después de las operaciones de beneficio.

Agradecimiento

Se extiende un agradecimiento al INIGEMM por su colaboración y ayuda en este trabajo de investigación aplicada.

Referencias bibliográficas

Acuña, A. (2011). Evaluación económica del proyecto minero San Antonio óxidos. (pp.15-21). [Tesis tercer nivel]. Universidad de Chile. Facultad de ciencias Físicas y matemáticas. Chile.

Lara, C. (2011). Caracterización Geomecánica del Masiso Rocos para el diseño de las labores Mineras e implementación de un sistema de fortificación en el 5to nivel de Producción de la empresa minera Somilor S. A. Ecuador.

Marshall, D (2014). Ore Mineral Atlas. Mineral Deposits Division Series. PP. 112. EU.

Neely, E.(2004). Metalurgia y Materiales Industriales. LIMUSA.EU.

Pitard, F. (2002). Practical and Theoretical Difficulties When sampling gold. Society for Mining, Metallurgy and Exploration (SME). pp. 77-93. Australia.

Pierre, G.(1971). L'échantillonnage des minerais en vrac – Tome 2. Numéro spéciale de la Revue de l'Industrie Minière. France.

Instituto Nacional de Investigación Geológica Minero Metalúrgico (INIGEMM). (2014). Memoria técnica de la hoja geológica de Machala. No publicado.

Bouchard, S. (2001). Traitement du minerai. Flottation. Méthodes physiques. Le Griffon d'argile, Sainte-Foy. Canadá Québec.

Dominy, SC., O' Connor, L. y Xie, Y. (2016). Sampling and Test Work Protocol Development for Geometallurgical Characterisation of a Sheeted Vein Gold Deposit. Geomet. pp 1-2. Australia.

Perspectiva para zonificación del riesgo por deslizamientos para el cantón Riobamba

Perspective for zoning the risk by slides for the Riobamba canton



Bustamante Calderón Diana Patricia
Gobierno de la Provincia de Chimborazo
e-mail: ingdiana22@gmail.com

Resumen

El objetivo principal de este trabajo es zonificar el riesgo por deslizamientos para el cantón Riobamba, empleando procedimientos de estadística multivariada y Sistemas de Información Geográfica (SIG) como una alternativa metodológica que permita a autoridades y entes gubernamentales encargados de la Gestión del Riesgo Cantonal tomar decisiones óptimas en pro del beneficio de la ciudadanía que habitan las zonas más riesgosas así como para el entorno en general. Asimismo, se presenta una metodología desarrollada por el equipo científico de Infraestructura de Datos Espaciales en Europa (INSPIRE, 2012) que relaciona variables clave para el análisis de información entre ellos: Vulnerabilidad, Exposición y Riesgo; para el cantón Riobamba el 13% de su superficie tiene un alto riesgo de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa.

Palabras clave: zonificación; riesgo; peligrosidad; exposición; vulnerabilidad y deslizamiento

Abstract

The main objective of this work is to zonify the landslide risk for the canton of Riobamba, using multivariate statistical procedures and Geographic Information Systems (GIS) as a methodological alternative that allows authorities and governmental entities in charge of Cantonal Risk Management to make decisions optimal for the benefit of citizens who live in the most risky areas as well as the environment in general. Likewise, a methodology developed by the scientific team of Spatial Data Infrastructure in Europe (INSPIRE, 2012) is presented, which relates key variables for the analysis of information among them: Vulnerability, Exposure and Risk; for the Riobamba canton, 13% of its surface has a high risk of occurrence of mass removal phenomena.

Keywords: zoning; risk; hazard; exposure; vulnerability and sliding

Introducción

Los desastres en la región Centroamericana y específicamente los deslizamientos, en la última década, han puesto en evidencia la corta recurrencia de las amenazas y la enorme vulnerabilidad de la región. La deforestación, el cambio climático y la pobreza han contribuido al incremento de la vulnerabilidad (GTZ, 2007). Ecuador es considerado uno de los países de mayor biodiversidad, fertilidad de suelos y dotación de recursos naturales, sin embargo, contrasta con este potencial de desarrollo, el hecho de ser uno de los países de la región con mayor proba-

bilidad de ocurrencia de desastres naturales. Tanto por el incremento de las condiciones de vulnerabilidad (inadecuado uso del suelo, densidad poblacional, incremento de la frontera agrícola) como por la cada vez más frecuente, manifestación de fenómenos de origen geológico-geomorfológico (sismos, erupciones volcánicas, y deslaves o deslizamientos) e hidrometeorológicos. Dentro de estos últimos se destacan los fenómenos de lluvia locales como también los regionales a través de fenómenos de lluvias intensas y prolongadas que llegan a originar con frecuencia inundaciones relacionados con la ocu-

rrencia de “El Niño” (SENPLADES, 2009). En Chimborazo, eventos históricos han marcado presentes desastrosos, es así, el terremoto de 1797 obligó a reconstruir Riobamba en otro sitio, las erupciones del Tungurahua marcan la historia de Guano y de Penipe. Los deslizamientos han obligado a cambiar el trazado de la carretera en Alausí, Chunchi, Guamoto y Pallatanga (Fig. 1). Las inundaciones son frecuentes en Cumandá; los incendios forestales en Pallatanga y Colta, y las heladas y sequías en varias zonas agrícolas (FLACSO, 2009). Por otra parte, estudios recientes realizados por la organización Geólogos del Mundo en la provincia de Chimborazo confirmaron que las edificaciones de la ciudad de Riobamba no están preparadas para soportar un sismo de magnitud mayor a 7 y que la población tampoco está capacitada (Telégrafo, 2013).

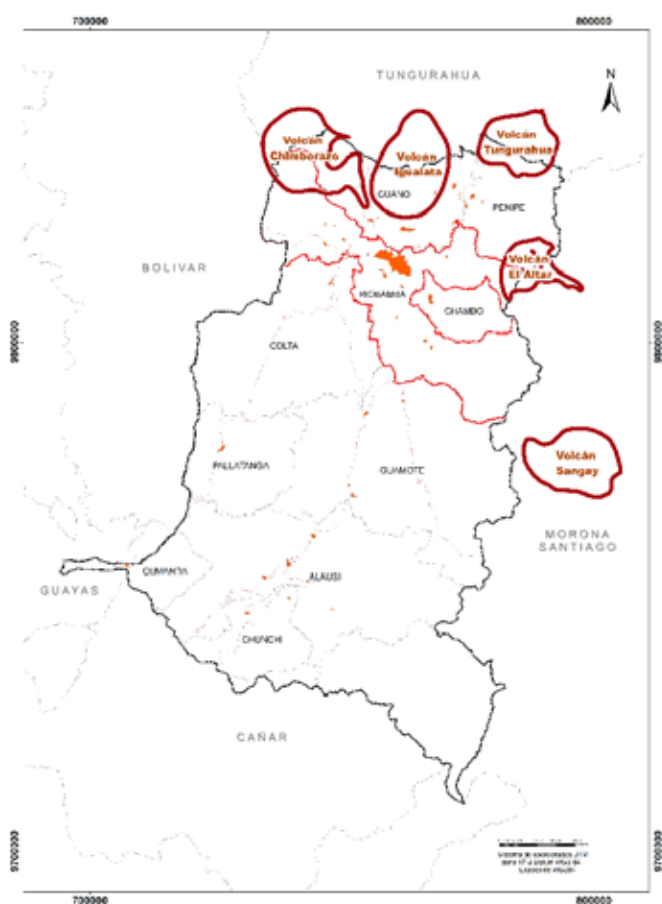


Figura 1. Ubicación de áreas afectadas históricamente por erupciones volcánicas en Chimborazo

En el cantón Riobamba, territorio altamente expuesto a amenazas de origen natural (volcánicas, sísmicas, hidroclimáticas, geomorfológicas) y antrópico (tecnológicas, incendios, explosiones); hecho que a su vez se combina con el aumento de la vulnerabilidad como resultado del crecimiento desordenado de la población, poca preparación de la población para hacer frente a desastres, problemas de accesibilidad (GADMR, 2015).

Los registros históricos con respecto a los deslizamientos para el cantón se dan desde 1940, datan la

desaparición del pueblo de Cacha, cerca de 5000 muertos aproximadamente. En otra parroquia de Riobamba, Químiag, en el 2006 el mismo fenómeno ocasionó la evacuación de la zona por seguridad. Las familias afectadas perdieron sus viviendas y cultivos. En el mismo año en San Juan se registró la muerte de algunos habitantes así como también la pérdida de viviendas y unidades de producción agrícolas.

El inventario de movimientos en masa de la SNGR (2012) que se muestra en la figura 2 permite visualizar el deslizamiento calificado como “extremadamente grande”, ocurrido al sur de Cacha. Le siguen en un orden menor de magnitud, dos registros de deslizamientos “grandes” en Químiag y al norte de Cacha. Además se presentan en Licto movimientos “medio grandes”. Existen otros eventos poco influyentes cuya magnitud va de “muy pequeño” a “medio” ubicados en las parroquias, Punín, Flores, Pungalá y Químiag.



Figura 2. Ubicación de eventos históricos de deslizamientos ocurridos en el cantón Riobamba desde el año 2012 a la actualidad

Por lo antes expuesto, el objeto del presente trabajo es conocer la distribución del riesgo por deslizamiento en el cantón Riobamba y contribuir con herramientas que ayuden a la ordenación del territorio.

Materiales y métodos.

La metodología a utilizarse en el presente estudio establece dos fases: la primera la recopilación de información y la segunda el análisis de las coberturas mediante herramientas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Recopilación de información.

Luego de la recopilación de información de diferentes organismos rectores, se depuraron las variables para eliminar las coberturas que no poseían los metadatos necesarios para presentar la información.

Las variables utilizadas se seleccionaron en función de la metodológica de INSPIRE (2012), quienes conciben al riesgo como la expresión: riesgo (risk) = peligrosidad (hazard) x exposición (exposure) x vulnerabilidad (vulnerability). En este enfoque queda clara la distinción entre los conceptos de “riesgo” y de “peligrosidad” pues presenta una nueva visión en la evaluación de la amenaza. A diferencia de enfoques como el de Mora y Varson (1991) quienes consideraban factores intrínsecos o de susceptibilidad y factores externos o “de disparo” cuyo producto terminan por conformar la amenaza. Otros enfoques metodológicos, como la de Newman et al. (1978) presentaba importantes avances pero un poco incipientes para la era actual.

Mora y Varson (1991) han permitido generar centenares de mapas de amenazas con herramientas SIG. Sin embargo nuevas tendencias y enfoques establecido por INSPIRE (2012) han permitido incluir un análisis más robusto y confiable.

En el análisis de información se decidió trabajar con coberturas raster, con un tamaño de pixel de 5x5 y los valores de los factores que conforman el componente de vulnerabilidad reclasificados en 4 categorías con las siguientes consideraciones: clase 1 (vulnerabilidad baja), clase 2 (vulnerabilidad media baja), clase 3 (vulnerabilidad media alta) y clase 4 (vulnerabilidad alta). Con esta información y a través de la herramienta Map Algebra se elaboraron las consultas matemáticas necesarias para definir las zonas de riesgo del cantón Riobamba.

Tabla 1. Identificación de componentes de riesgo.

Componente	Variable	Parámetro	Indicador	Datos	Fuente
Vulnerabilidad	Densidad Poblacional	V.Social	Número de población en km2	2010	INEC a nivel de sector dispersos
	Tipo de vivienda	V. Física	Tipo de viviendas en las que habita la población	2010	INEC nivel de sector dispersos
	NBI	V. Económica	Necesidades Básicas Insatisfechas	2010	INEC nivel parroquial
	Uso del suelo	V. Ambiental	Tipo de uso de suelo	2013	GADPCH Escala: 1:25000
	Manejo del riesgo	V. Institucional	Número de eventos presentados vs número de eventos atendidos	2015	SNGR Y GADMR
	Zonificación rural en el Plan de Uso de Suelo	V. Institucional	El uso permitido en los sectores más vulnerables y de mayor peligrosidad	2017	GADMR
Peligro	Precipitación	Físico	Distribución espacial en el área del municipio de la precipitación	2014	MAE: 1:100000
	Pendientes	Físico	Distribución espacial en área del municipio de la inclinación del terreno	SIN AÑO	SIGAGRO Escala: 1:250000
	Geología	Físico	Definición tipo de roca	2005	INIGEM: Escala: 1:250000
Exposición	Susceptibilidad a movimientos en masa	Físico	Áreas altamente susceptibles a movimientos en masa	2003	MAGAP – STGR Escala: 1:250000

Análisis de las coberturas sig.

Los primeros análisis en zonificación de riesgos para procesos de remoción de masa fueron llevados a cabo por Newman et al. (1978). Por otra parte,

Componente vulnerabilidad.

La vulnerabilidad es concebida por Castro et.al. (1995) como la susceptibilidad al daño o destrucción de elementos culturales por un fenómeno ex-



tremo. La vulnerabilidad o las amenazas, por separado, no representan un peligro. Pero si se juntan, se convierten en un riesgo, en la probabilidad de que ocurra un desastre. Sin embargo los riesgos pueden reducirse o manejarse.

Para la zona en estudio el abordaje de la vulnerabilidad de acuerdo a la realidad territorial cantonal de Riobamba se realizó a través de las siguientes variables: densidad poblacional, tipo de vivienda, necesidades básicas insatisfechas, uso del suelo y manejo del riesgo.

a) Densidad Poblacional. En el cantón Riobamba, de acuerdo al INEC (2010), existen 225714 Habitantes, 106840 son hombres y 118901 mujeres. En este cantón, capital de la provincia de Chimborazo se concentra el 49.7% de toda la población provincial y su densidad poblacional alcanza los 2654 hab/km² en contraposición a la parroquia Pungalá, localidad con la menor densidad poblacional de la provincia (21.16 hab/km²). En la tabla 2 se muestra la asignación de pesos para la densidad poblacional en el cantón Riobamba.

Tabla 2. Valoración de la densidad poblacional del cantón Riobamba.

Valor densidad (hab/km ²)	Peso	Vulnerabilidad
0 - 55,230341	1	Baja
55,230341 - 191	2	Media baja
191 - 326,769659	3	Media alta
326,769659 - 382	4	Alta

Fuente: INEC, 2010

b) Tipo de vivienda. Según el tipo de vivienda en el cantón Riobamba se puede determinar que los materiales utilizados para la construcción de las viviendas varían desde los utilizados en los techos como: hormigón (55%), asbesto (10%) y zinc (8.7%); los utilizados para las paredes exteriores: ladrillo (86%), adobe (6.9%) y hormigón (5.8%); y los empleados en los pisos como: ladrillo (26.20%), duela (25.18%) y cerámica (21.5%).

Para el uso de esta variable se realizó una evaluación previa que relaciona el tipo de material que se utiliza en el techo, paredes y en el piso de las viviendas. Y la posterior valoración para el análisis de vulnerabilidad. En la tabla 3 se exponen los distintos rangos obtenidos de dicha reclasificación y el paso y categorización de vulnerabilidad asignados a cada uno de ellos.

Tabla 3. Valoración del tipo de vivienda.

Tipo de material	Peso	Vulnerabilidad
0 - 8,128083	1	Baja
8,128083 - 10,055556	2	Media baja
10,055556 - 11,983028	3	Media alta
11,983028 - 20,111111	4	Alta

Fuente: INEC, 2010

c) Índice de Necesidades Básicas Insatisfechas. En función a los valores de este índice, en el cantón Riobamba la población en situación de pobreza alcanza los 103.056 habitantes. Siendo Cacha, Químiag y Flores las parroquias con mayor inyección de este rango pues allí el 99% de la población se encuentra incluida dentro de los niveles de pobreza (INEC, 2010). La asignación de pesos para el índice NBI en el cantón Riobamba se muestra en la siguiente la tabla 4.

Tabla 4. Valoración de las necesidades básicas insatisfechas.

Índice de densidad poblacional	Peso	Vulnerabilidad
2277 - 5536,541583	1	Baja
5536,541583 - 5850,97705	2	Media baja
5850,97705 - 9110,518633	3	Media alta
9110,518633 - 42900	4	Alta

Fuente: INEC, 2010

d) Uso del suelo. En el cantón Riobamba el principal uso de suelo es el de conservación y producción (65.8%), seguido del uso agrícola (13%) y del pecuario con el 10%. Existen otros usos como el agropecuario mixto, tierras improductivas, nubes y aguas inferiores al 5%. Para la valoración de "usos del suelo" necesaria para crear un mapa de vulnerabilidad ambiental, se clasificaron los usos del suelo de 1 a 4 en función de su vulnerabilidad frente al peligro de movimientos en masa, los usos como tierras improductivas o desnudas tendrán una vulnerabilidad igual a 4 y los de conservación y producción tendrán una vulnerabilidad igual a 1.

Tabla 5. Valoración del Uso del suelo.

Uso	Peso	Vulnerabilidad
Agrícola	3	Media alta
Agropecuaria mixto	3	Media alta
Agua	2	Media baja
Antrópico	4	Alta
Conservación y producción	1	Baja
Nube	1	Baja
Pecuario	2	Media baja
Tierras improductivas	4	Alta

Fuente: GADPCH, 2014

e) Manejo del riesgo. En el Ecuador, de acuerdo a la normativa legal, existe un manual que establece las acciones que deben ejecutar las instituciones integrantes de los Comités de Operaciones de Emergencia (COE) en los niveles nacionales, provinciales, municipal/metropolitano, así como, en los de Comisiones Parroquiales ante emergencias. Los integrantes del comité actuarán en representación de sus respectivas instituciones. Para la definición del manejo del riesgo se consideraron para el cantón Riobamba a las unidades de gestión de riesgos establecidas en los niveles provincial, cantonal y las comisiones parroquiales, así como el accionar concreto frente a eventos naturales adversos, mientras mayor sea el número de entidades al servicio de emergencias naturales menor será la vulnerabilidad que presenta la parroquia para superar el riesgo. En la tabla 6 se muestra la categorización de la vulnerabilidad en función de las unidades de gestión identificadas. De esta manera se asigna una categoría de vulnerabilidad alta a las parroquias que cuentan con el menor número de unidades de gestión.

Tabla 6. Valoración del Manejo del riesgo.

Manejo del riesgo	Peso	Vulnerabilidad
4.6- 6	1	Baja
3.1-4.5	2	Media baja
1.6 - 3	3	Media alta
0-1.5	4	Alta

Fuente: SNGR, 2017

f) Zonificación rural en el Plan de Uso de Suelo. Luego del evento sísmico adverso ocurrido en el Ecuador el 16 de abril de 2016, se adoptaron una serie de medidas y normativas que conllevaron a la implementación de la ley orgánica de ordenamiento territorial, uso y gestión de suelo, que compromete a los niveles cantonales a zonificar el cantón en pro de los usos permitidos en la extensión territorial de su competencia. De acuerdo a lo que establece la Zonificación para el cantón Riobamba, el 57.27% de la extensión territorial está permitido el uso para protección y conservación, el 39.9% para producción agropecuaria, y el 2.7% para aprovechamiento extractivo. En la tabla 7 se muestra la clasificación de vulnerabilidad asignada a cada uno de los usos.

Tabla 7. Valoración de la Zonificación rural en el Plan de Uso de Suelo.

Uso Principal	Peso	Vulnerabilidad
Producción Agropecuaria	1	Baja

Protección y Conservación	2	Media baja
Producción Agropecuaria	3	Media alta
Aprovechamiento Extractivo (AE)	4	Alta

Fuente: GADMR, 2017

g) Creación del mapa de vulnerabilidad. Para crear el mapa síntesis de vulnerabilidad se utilizó la herramienta sum del "raster calculator" en el Spatial Analysis Tools/Map Algebra: Raster1 + Raster2 + Raster3 + Raster4+ Raster 5 + Raster 6. De esta manera, el raster resultante contendrá valores comprendidos entre 4 y 16. En la tabla 8 se muestra las categorización de la vulnerabilidad en función de este rango de valores, la cual guió la construcción la reclasificación de las capas ráster correspondientes a cada variable de vulnerabilidad.

Tabla 8. Valoración de la Vulnerabilidad.

Vulnerabilidad	Peso	Vulnerabilidad
0-6	1	Baja
7-12	2	Media baja
13-18	3	Media alta
19-24	4	Alta

Elaborado por: El autor

Componente peligro

Existen varios puntos de vista cuando al hablar de peligro se refiere, una de ellas es la presentada por Castro et.al (1995) quienes la describe como la fragilidad del sistema, la recurrencia del evento y la energía del fenómeno.

a) Precipitación. Según GADMR (2015:264), la precipitación anual promedio en el cantón es de 564,5 mm. Este valor está determinado por datos agrometeorológicos que sitúan a los meses de enero, marzo, abril, mayo como los de mayor cantidad de lluvia mientras que febrero, julio, agosto son los meses de menor registro pluviómetro. Las parroquias de Pungalá, Licto y Flores presentan altos niveles de precipitación los cuales se pueden presentar de forma lenta o gradual y de forma violenta o súbita, mientras que las parroquias de Punín, San Luis, Cacha, Riobamba, Licán, Cubijíes y Químiag presentan una mediana precipitación y las parroquias de San Juan y Calpi presentan una baja precipitación lo que conlleva a zonas desérticas y de baja productividad. La asignación de pesos para la precipitación en el cantón Riobamba se muestra en la tabla 9.

**Tabla 9. Valoración de la precipitación.**

Milimetraje (mm)	Peso	Peligrosidad
478,296875 - 715,489781	1	Baja
715,489781 - 1016,976624	2	Media baja
1016,976624 - 1400,185032	3	Media alta
1400,185032 - 1887,266602	4	Alta

Fuente: INEC, 2010

- b) Pendientes. La superficie del territorio del cantón Riobamba, posee pendientes abruptas mayores al 70%, predominantes en las parroquias de San Juan, Cacha, Pungalá y Químiag. Las pendientes muy fuertes, escarpados que van del 50-70%, ubicadas en las parroquias de Pungalá, Químiag y San Juan mayoritariamente. Pendientes fuertes colinadas de 25-50% predominantes en todo el cantón con una mínima presencia en el área correspondiente a las parroquias Riobamba y Cubijíes. Existen también pendientes irregulares con ondulación moderada 12-25% en Químiag, San Juan y Pungalá. Pendiente con una inclinación regular, suave o ligeramente ondulada 5-12% en los alrededores de la Parroquia Riobamba con predominio en las parroquias de Químiag, San Luis, Licán y el área de la Parroquia urbana de Yaruquíes. También presenta pendientes planas o casi planas 0-5%, ubicadas en las parroquias Punín, Licto y San Luis y en menor proporción en las parroquias San Juan, Calpi y Riobamba (PDyOT, 2015). En la tabla 10 se muestra la asignación de pesos para las pendientes del cantón.

Tabla 10. Valoración de las pendientes.

Nro. de Habitantes	%	Peso	Peligrosidad
Plano o casi plano	0 – 5	1	Baja
Suave o ligeramente inclinado	6 – 12	1	Baja
Moderadamente ondulado	13 – 25	2	Media baja
Colinado	26 – 50	3	Media alta
Escarpado	51 – 70	4	Alta
Montañoso	Más de 70	4	Alta

Fuente: FAO, 2000.

- c) Geología. La geología del cantón Riobamba está caracterizada por afloramientos de rocas volcánicas, constituidas por depósitos de piroclastos y lavas intermedias, presente en las parroquias de Químiag y Pungalá. Las principales formaciones son la Piñón presente con lavas basálticas, tobas, brechas, rocas ultrabásicas y la Yunguilla con Lutitas, calizas, volcanoclastos (3000 m).

Las Unidades Apagua presentes en el cantón con: lutitas, grauwacas (2000m), Lavas andesíticas a rio-

líticas, piroclastos (3000m); La Unidad Guamote con pizarras, cuarcitas; la Unidad Alao Paute con Metavolcanitas basálticas y andesíticas, esquistos, Granodiorita, diorita, pórfido de edad cenozoica, Andesitas a riolitas, piroclastos (1000-2000m) y Granito gneísico per aluminico +/- granate

La Unidad de Peltectec presente con: «Melange» ofiolítico, Andesitas a riolitas, piroclastos (1000-2000m),. Avalanchas de escombros, piroclastos primarios y retrabajados y flujos de lava, Granodiorita, diorita, pórfido de edad cenozoica, Lavas basálticas, tobas, brechas, rocas ultrabásicas Lutitas, calizas, volcanoclastos (3000m). La asignación de pesos para la variable geología en el cantón Riobamba se muestra en la tabla 11 donde también se puede observar que la categorización de la peligrosidad se corresponde con las características litológicas.

Tabla 11. Valoración de las necesidades básicas insatisfechas.

Litología	Peso	Peligrosidad
Aluvión grueso, permeable, compacto, nivel freático bajo 1. Calizas duras permeables. Rocas intrusivas, poco fisuradas, bajo nivel freático. Basaltos, andesitas, ignimbritas. Características físicas mecánicas: materiales sano con poca o ninguna meteorización, resistencia al corte elevada, fisuras sanas, sin relleno	1	Baja
Rocas sedimentarias no o muy poco alteradas, poco fisuradas, moderado 2. Rocas intrusivas, calizas duras. Características físico mecánicas: resistencia al corte media a elevada	2	Media baja
Rocas sedimentarias, intrusivas, lavas, ignimbritas, tobas poco medio 3 soldadas, rocas metamórficas mediana a fuertemente alteradas,... niveles freáticos relativamente altos	3	Media alta
Aluviones fluvio lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, alto 4 rocas fuertemente alteradas. Materiales aluviales, coluviales de muy baja calidad mecánica, rocas muy alto 5 con estado de alteración avanzado, drenaje pobre. Se incluyen los casos 3 y 4 con niveles freáticos muy someros, sometidos a gradientes hidrodinámicos elevados	4	Alta

Fuente: Mora y Varson (1991).

g) Creación del mapa de peligro. Para crear el mapa síntesis de peligro al igual que en el caso de la vulnerabilidad se utilizó la herramienta sum del “raster calculator” en el Spatial Analyst Tools/Map Algebra. Al sumarse tres capas raster, los rangos de la capa raster resultante se definen de la siguiente manera: Peligro 1 = 0-3, Peligro 2 = 4-6, Peligro 3 = 7-9 y Peligro 4 = 10-12. En la tabla 12 se presentan los niveles de peligrosidad para el mapa raster obtenido de la reclasificación.

- Peligro 1 = 0-3
- Peligro 2 = 4-6
- Peligro 3 = 7-9
- Peligro 4 = 10-12

La asignación de pesos para la zonificación de riesgo para movimientos en masa del cantón Riobamba se muestra en la siguiente Tabla.

Tabla 12. Valoración de la peligrosidad.

Peligro	Peso	Peligrosidad
0-3	1	Baja
4-6	2	Media baja
7-9	3	Media alta
10-12	4	Alta

Componente exposición.

a) Susceptibilidad a movimientos en masa. De la información generada por MAGAP – STGR (2003) relacionada a la susceptibilidad de movimientos en masa para el cantón Riobamba se obtiene que el 45% del territorio tiene una alta susceptibilidad, el 34% de la extensión territorial del cantón presenta condiciones medianamente susceptibles, el 5.7% presenta zonas moderadamente susceptibles y el 14.8% tiene condiciones bajamente susceptibles a movimientos. La asignación de pesos para la susceptibilidad a movimientos en masa del cantón Riobamba se muestra en la tabla 13.

Tabla 13. Valoración de la susceptibilidad a movimientos en masa.

Descripción	Cualificación	Exposición
Baja a nula susceptibilidad a movimientos en masa	1	Baja
Moderada susceptibilidad a movimientos en masa	2	Media baja
Mediana susceptibilidad a movimientos en masa	3	Media alta
Alta susceptibilidad a movimientos en masa	4	Alta

Fuente: MAGAP – STGR, 2003

Mapa de riesgos.

Para crear el mapa de riesgos utilizando la herramienta sum del “raster calculator” en el Spatial Analyst Tools/Map Algebra: Vulnerabilidad + Peligro + Exposición

El raster resultante contendrá valores comprendidos entre 0 y 12. Observe la tabla a continuación y clasifique el raster obtenido (Reclassify) para obtener niveles de peligrosidad de 1 a 4 donde:

Tabla 14. Valoración de riesgos.

Peligro	Peso	Peligrosidad
0-3	1	Baja
4-6	2	Media baja
7-9	3	Media alta
10-12	4	Alta

Resultados

De los análisis realizados con las variables de vulnerabilidad en el cantón Riobamba de la provincia de Chimborazo, se obtuvo que: el 50.9% del territorio se encuentra con una vulnerabilidad media alta, principalmente en las parroquias San Juan, Calpi, Licán, Riobamba, San Luis y Punín; el 48% de la superficie se determinó con una vulnerabilidad media baja, en las parroquias Químiag y Pungalá principalmente; y, el 1% del territorio del cantón se ha ubicado con una vulnerabilidad alta extendido en la parroquia San Juan, Cacha, Licán, Licto y la matriz, Riobamba (Figura 3).



Figura 3. Mapa de vulnerabilidad del cantón Riobamba

En el mapa de exposición de ocurrencia de los movimientos en masa para el cantón Riobamba se tiene el 45% de la extensión territorial con una alta exposición a que eventos similares se produzcan en el territorio, el 34% con una ocurrencia media alta, el 5.7% con una ocurrencia media baja y el 14.8% con un ocurrencia baja. Además se puede observar el inventario de movimientos en masa en el cantón y la magnitud del daño causado en el sector según el tamaño de simbología (Ver figura 4).

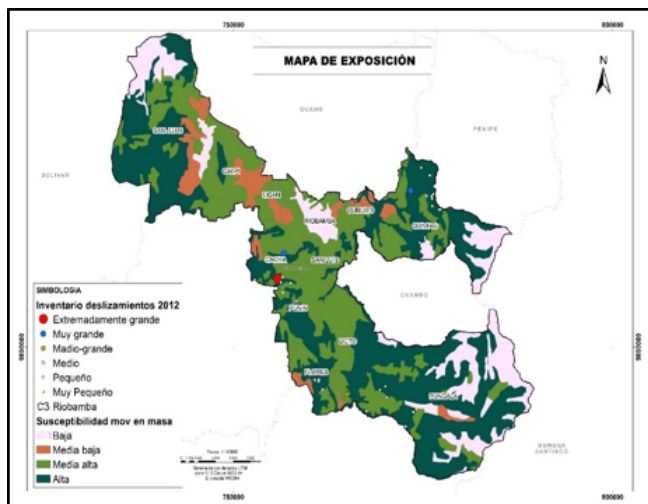


Figura 4. Mapa de exposición del cantón Riobamba

En la figura 5, se observa el mapa de peligro del cantón, el 49% del territorio tiene una peligrosidad a la ocurrencia de movimientos en masa media, principalmente en las parroquias Licán, Calpi, Cacha, Punín, San Luis, Flores y Riobamba; el 44.2% de la superficie se determinó una vulnerabilidad media alta y el 5% del territorio del cantón se ha ubicado con una vulnerabilidad alta extendido en las parroquias San Juan, Pungalá y Químiag.,

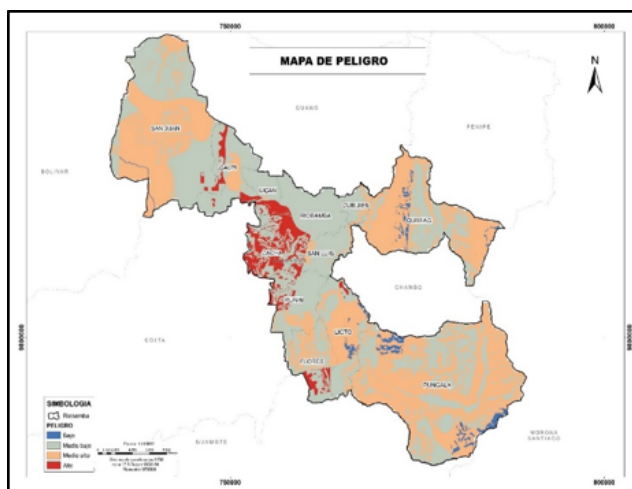


Figura 5. Mapa de peligro del cantón Riobamba

Zonificación del riesgo por deslizamientos para el cantón Riobamba.

El resultado final del análisis realizado, se tiene que el 13% del territorio cantonal tiene un alto riesgo de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa, el 72,7% del área total posee una probabilidad media alta de ocurrencia y el 13% del territorio tiene condiciones medias bajas para la presentación de eventos naturales relacionados a la remoción de masas (Figura 6).

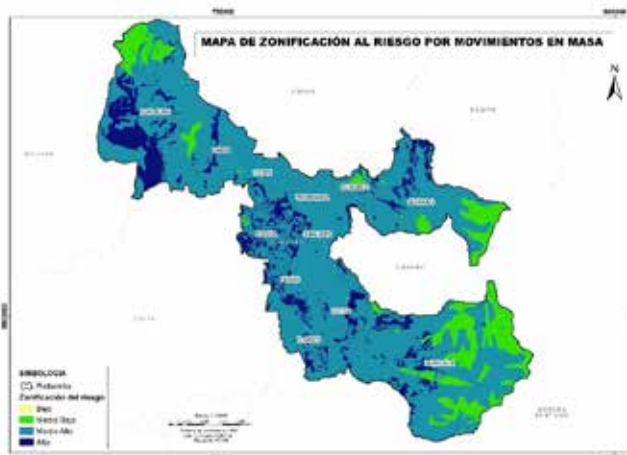


Figura 6. Mapa de zonificación del riesgo.

Determinar las zonas más críticas que requieren atención especial en los riesgos por deslizamiento para el cantón riobamba.

Las zonas más críticas, representan 12623,8 ha; estas áreas requieren especial atención en el manejo de riesgos por deslizamientos y están estrechamente relacionadas a eventos previos ocurridos, esto de acuerdo al inventario realizado por SNGR (2012). Es importante considerar también, de darse un evento natural por movimientos en masa, que aspectos de comunicación y poblacionales afectaría; para el cantón, las principales vías que serían afectada, a más de las del sector puntual, serían la vía Panamericana Sur que conecta a la provincia de Chimborazo con Tungurahua, Latacunga y Pichincha. El centro urbano consolidado, capital de la provincia, donde se albergan casi el 20% de la población, de acuerdo al análisis realizado se encontraría rodeado y por ende afectada por estas zonas que son susceptibles a eventos naturales de esta naturaleza (Figura 7).



Figura 7. Mapa de zonificación del riesgo y áreas vulnerables

Conclusiones

El método propuesto para analizar la zonificación del riesgo por movimientos en masa está en función a la metodología establecida por INSPIRE (2012) y la puesta en marcha en el cantón Riobamba. El análisis como la metodología implementada engloban integralmente el problema de riesgos por movimientos en masa y las variables consideran son las más relevantes y actuales para el cantón.

El uso de herramientas SIG no sólo permite organizar la información sino por el número de variables se logra celeridad en el proceso, lo que no se tendría al aplicar la metodología de forma no automatizada.

El presente trabajo se propone como un documento no definitivo que puede ser retroalimentado o ajustado con nuevas variables no consideradas para el entorno, logrando así perfeccionarlo y aplicarlo estimando otras variables, incluyendo trabajos actualizados y con mejores escalas para el análisis.

Una vez ubicadas las zonas más propensas a presentar movimientos en masa y aún más cuando estas áreas ya tienen registros de pérdida de vidas humanas en deslizamientos ocurridos en el mismo sector en años anteriores, es necesario implementar un programa integral de manejo del riesgo por eventos naturales, sobre todo preparando a la población en la resiliencia frente a estos problemas sociales. Se destaca el importante aporte de las variables englobadas dentro del componente de vulnerabilidad. Cuya integración mostró una alta categorización en las zonas que presentan una alta exposición y peligro de ocurrencia de tipo de fenómenos. Se identificaron determinados sectores en el oeste de Riobamba a donde debieran realizarse de forma prioritaria medidas de mitigación y prevención de eventos de deslizamiento en masa.

Referencias bibliográficas

Castro, C., Brignardello, A. y Cereceda, P. (1995), Determinación de áreas con riesgo morfo dinámico en San Juan Bautista, Isla Robinson Crusoe. Revista Geográfica de Chile Terra Australis, núm 40, pp. 43-61.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación). (2000). Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de los Suelos.

FLACSO (Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales). (2009). Agenda de Reducción de Riesgos, Quito, Ecuador.

GADPCH (Gobierno Autónomo Descentralizado de la provincia de Chimborazo). (2014). Cobertura Natural y Uso del Suelo de la Provincia de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador.

GTZ (Cooperación Técnica Alemana). (2007). Cambio climático y desarrollo en América Latina y el Caribe: una reseña, Santiago de Chile.

INEC (Instituto Nacional de Estadísticas). (2010). Censo de Población y Vivienda, Quito.

INIGEM (Instituto nacional de investigación Geológico Minero Metalúrgico). (2005). Geología del Ecuador, Quito, Ecuador.

INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe). (2012). Data Specification on Natural Risk Zones –Draft Guidelines. INSPIRE Thematic Working Group Natural Risk Zones. Recuperado de http://inspire.jrc.ec.europa.eu/documents/Data_Specifications/INSPIRE_DataSpecification_NZ_v3.0RC2.pdf

MAE (Ministerio del Ambiente de Ecuador). (2014). Índice Ombrotérmico para Ecuador Continental, Quito, Ecuador.

MAGAP – STGR (Ministerio del Ambiente de Ecuador-Secretaría Técnica de Gestión de Riesgos). (2003). Susceptibilidad de movimientos en masa, Quito, Ecuador.

Mora, S. y Vahrson, W. (1991). Determinación a priori de la amenaza de deslizamientos sobre grandes áreas, utilizando indicadores morfodinámicos, en memoria sobre el Primer Simposio. Bogotá, Colombia, pp. 259-273.

Newman, E., Paradis, A. y Brabb E., (1978). Feasibility and cost of using a computer to prepare landslide susceptibility maps of the San Francisco Bay region, California. Bulletin 1443. U.S. Geological Survey. Revista Reston, núm. VI, pp. 29.

GADMR (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Riobamba). (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2015-2019. Riobamba, Chimborazo.

GADMR (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Riobamba). (2017). Ordenanza que contiene el código urbano para el cantón Riobamba Chimborazo, Ecuador.

SENPLADES (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo). (2009). Plan del Buen Vivir, Quito, Ecuador.

SNGR (Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos). (2012). Inventario de deslizamiento en el cantón Riobamba. Chimborazo, Ecuador.

Riobamba no está preparada para los riesgos naturales, (2013). Telégrafo. Quito, Ecuador. Disponible en: <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/regional-centro/1/riobamba-no-esta-preparada-para-los-riesgos-naturales>



II Field trip (23 al 29 de julio): se realizó un viaje al campo, con participación de estudiantes de la SEG UNAL – Colombia y SEG UCE – Ecuador.

- I Workshop (23 al 24 de octubre): “Exploración de sistemas de pórfidos de cobre y sistemas epitermales con enfoque en alteraciones y tipos de texturas”, con la participación, exposición y revisión de testigos de perforaciones de los proyectos Fruta de Norte (Lunding) y Cascabel (SolGold).

ACTIVIDADES 2018

- Short Course (08 al 12 de enero): “Introduction to Geometallurgy”. Con la participación de estudiantes de la UCE y profesionales a fines a la carrera. En dicho curso se conoció la integración de información geológica, minera, metalúrgica, medioambiental y económica que se debe tener en cuenta en un yacimiento, se lo llevó a cabo en la Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental y estuvo a cargo del Ing. Samuel Canchaya (Gerente General – Sampling S.A – Perú).



- III Field trip (07 al 14 de abril): se realizó un viaje al campo, con participación de estudiantes de la SEG UCE y EPN – Ecuador, hacia el Norte de Chile el mismo que permitió conocer la geología de los depósitos tipo pórfido de Cu-Mo, Cu-Au, CuOx en andesitas, Cu-Ag en riolitas en la región de Antofagasta y Calama-Chile.

Se visitaron proyectos como: Mina Comahue, Ministro Hales, Chuquicamata, Sierra Gorda, Mantos Blancos y Juanita.



Localización Field trip Chile

SEG STUDENT CHAPTER – UCE FIGEMPA

El SEG STUDENT CHAPTER – UCE FIGEMPA es una organización académica sin fines de lucro de la Society of Economic Geologists SEG internacional, creada para el fortalecimiento académico de los estudiantes afines a la industria geológica-minera.

Este capítulo creado en 2017 de las carreras de Ingeniería en Geología e Ingeniería en Minas. El liderazgo del capítulo está a cargo de Marcelo Llerena (Academic Sponsor) y William Arteaga (Industry Sponsor) que llevan con gran responsabilidad la dirección de la organización.

ACTIVIDADES 2017

- Reuniones regulares, en las cuales se discute y socializan los planes del capítulo estudiantil como próximos proyectos y conferencias.



Field trip Ecuador (Proyecto Loma Larga)

- I Field trip (02 al 09 de abril): se realizó un viaje al campo, con participación de estudiantes de la SEG UNMSM - Perú, SEG UNAL - Colombia y SEG UCE – Ecuador. En ellos se visitaron proyectos emblemáticos en Ecuador: Fruta del Norte, Mirador, El Domo, Loma Larga.
- Conferencias (28 de abril): “Últimos avances en el Proyecto Cascabel – Nuevo proyecto de clase mundial.



Field trip Colombia (Proyecto Gramalote) •

Recibido: 08/02/2018
 Aprobado: 04/07/2018
 Publicado: 27/07/2018
 ARTÍCULO ORIGINAL

Tratamiento de desechos orgánicos empleando microorganismos celulíticos

Treatment of organic waste at family Aldaz's slaughterhouse, employing cellulolytic microorganisms



Nacimba Nacimba Gabriela Alexandra
 Ingeniera Ambiental
 e-mail: ganacimba@uce.edu.ec



Félix Daniel Andueza Leal
 Ph.D. en Microbiología y Parasitología
 Docente Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental de la Universidad Central del Ecuador
 e-mail: fdandueza@uce.edu.ec



Santafé Sari Diana Carolina
 Ingeniera Ambiental
 e-mail: dianasantafesari@gmail.com

Resumen

La presente investigación utilizó un diseño experimental completamente al azar (DCA), con 3 tratamientos (T1, T2 y T3) y un blanco (TB) como referencia, cada uno con 3 repeticiones, con un total de 12 pilas de compost, ubicadas en la parroquia de Amaguaña. Cada pila estuvo contenida 132 Kg de estiércol y contenido ruminal provenientes del camal de faenamiento familia Aldaz; 30 g de urea, 4L de melaza y 4Kg de aserrín; se inocularon para el tratamiento T1 con 30 x 10⁹ UFC de *Proteus mirabilis*, T2 con 30 x 10⁹ UFC de *Citrobacter freundii*, T3 con 356 x 10³ células *Penicillium* spp. y TB sin adición de microorganismos. Se tomaron mediciones de temperatura, pH y humedad a los 3 días de creación de las pilas (tiempo de adaptación de microorganismos a su nuevo hábitat). El análisis de varianza (ANOVA), determinó que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, por ello para seleccionar el mejor tratamiento se emplearon indicadores cuantitativos y cualitativos. Como resultado T2 fue el mejor tratamiento con una reducción en la cantidad de desechos orgánicos del 80,97%; una T_{máx} de 46°C, materia orgánica del 80,02%, produciendo un sustrato orgánico marrón oscuro altamente salino con pH 9,04, nitrógeno total (4%), fósforo total (0,02%), potasio (0,73%) y libre de patógenos fecales.

Palabras clave: *compost; tratamientos; inóculo; sustrato orgánico; microorganismos*

Abstract

*The present investigation used a completely randomized experimental design (DCA), with 3 treatments (T1, T2 and T3) and a target (TB) as reference, each with 3 repetitions, with a total of 12 compost piles, located in the parish of Amaguaña. Each pile contained 132 kg of manure and rumen content from the Aldaz family slaughterhouse; 30 g of urea, 4 L of molasses and 4 Kg of sawdust; were inoculated for T1 treatment with 30 x 10⁹ CFU of *Proteus mirabilis*, T2 with 30 x 10⁹ CFU of *Citrobacter freundii*, T3 with 356 x 10³ cells *Penicillium* spp. and TB without addition of microorganisms. Measurements of temperature, pH and humidity were taken 3 days after the creation of the batteries (time of adaptation of microorganisms to their new habitat). The analysis of variance (ANOVA), determined that there were no statistically significant differences between treatments, so to select the best treatment quantitative and qualitative indicators were used. As a result T2 was the best treatment with a reduction in the amount of organic waste of 80,97%; a T_{max} of 46 °C, organic matter of 80,02%, producing a highly saline dark brown organic substrate with pH 9.04, total nitrogen (4%), total phosphorus (0,02%), potassium (0,73%)) and free of fecal pathogens.*

Keywords: *compost; treatments; inoculum; organic substrate; microorganisms*



Introducción

De los residuos generados a nivel nacional se ha determinado que el 60% corresponden a residuos orgánicos y 20% a residuos sólidos inorgánicos potencialmente reciclables, una fuente importante de generación de estos se encuentra en los más de 200 mataderos o centros de faenamiento. A nivel nacional se estima que 15,6 millones de litros es sangre, 48,138 TN es contenido ruminal y 19,255 TN es estiércol (MAE, 2013).

Se estima que del proceso de faenado, el 25% del peso total del animal vivo es residuo entre ellos tenemos: estiércol, contenido ruminal, sangre, huesos, tejidos grasos, entre otros. El tratamiento de estos desechos a partir de la recuperación, reutilización y transformación en insumos aprovechables, es primordial debido a que en Ecuador la mayoría de camales presenta una mala disposición del estiércol, ya que este es depositado a cielo abierto, en quebradas, lotes baldíos, entre otros.

Esto ha provocado graves problemas de contaminación ambiental en cuerpos hídricos principalmente por microorganismos patógenos para el hombre, en el suelo alterar sus condiciones debido a que contienen metales pesados que con la precipitación llegan a formar lixiviados, por otro lado, en el aire generan un desequilibrio debido al porcentaje de metano y monóxido de carbono que emanan alterando las características naturales del entorno.

Como precedentes de este trabajo se incluyen, experimentos realizados principalmente en el continente asiático, en países como: China, Japón y Corea del Sur, en los cuales se han aislado cepas específicas de microorganismos como lactobacilos, actinomicetos, hongos, entre otros, evaluando sus capacidades de degradación de celulosa, su actividad anti fúngica en los casos donde era posible, secuenciaron su ADN para identificarlas y caracterizarlas, y por último las emplearon en la elaboración de abono orgánico teniendo como resultado que al adicionar estas cepas el proceso de compostaje mejora notablemente, ya que la temperatura como indicador fundamental del proceso aumenta considerablemente en los primeros días de la creación de las pilas de compost lo cual reduce el tiempo de maduración del abono orgánico. (Jia et al., 2011)

Tras el análisis del funcionamiento del camal de faenamiento familia Aldaz, se detectó que uno de los mayores problemas ambientales es la generación de estiércol vacuno que normalmente, debido al desconocimiento, a la falta de un espacio físico adecuado son enterrados o dejados almacenados a la intemperie, con la consecuente contaminación ambiental. Por ello, se planteo como alternativa para el manejo de estos desechos transformarlos en un sustrato orgánico mediante el proceso de compostaje permitiendo convertir y transformar de manera segura los

residuos orgánicos, para aprovechar en la industria agrícola, generando beneficios económicos y ambientales para la empresa ya que el producto generado aumentará el aporte de nutrientes, la retención de agua y oxígeno en suelos degradados.

Metodología

Recolección de muestras

Se recolectó muestras de estiércol y contenido ruminal "in situ" en el camal de faenamiento Familia Aldaz, con la finalidad de aislar microorganismos celulolíticos presentes en aquellos residuos. Se empleó el método propuesto por Leguizamón y Tique, (2008) se trazó una malla sobre el material a recolectar y se procedió a tomar muestras de las intersecciones de dicha malla.

Las muestras se recolectaron con una espátula esterilizada con alcohol al 70%, se las mezcló en un balde plástico, la muestra compuesta fue introducida en bolsas Ziploc estériles con objeto de mantener la humedad. Para transportar la muestra se usó un cooler que mantuvo la cadena de frío, evitando la reproducción y metabolismo de microorganismos nativos.

Aislamiento de microorganismos con actividad celulolítica

Se utilizó 1 L de medio mineral líquido (NaNO_3 : 2,5 g; KH_2PO_4 : 2,0 g; MgSO_4 : 0,2 g; NaCl : 0,2 g y $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: 0,1 g, en 1 L de agua destilada, para revitalizar los microorganismos presentes en el estiércol y contenido ruminal. Para asegurar que únicamente proliferen los microorganismos aerobios que presenten actividad celulolítica, se usó como fuente de carbono papel filtro, en una proporción del 3% respecto a la cantidad total de medio mineral. El papel filtro se lo cortó en trozos de aproximadamente 1 cm. Se esterilizó vía calor húmedo en autoclave durante 15 min hasta alcanzar los 121 °C y 1 atm de presión.

Se elaboró un biorreactor, que contenía 1 L de medio mineral esterilizado y frío con el 3% de inóculo, es decir, 30 g de la muestra de estiércol y contenido ruminal y 30 g de papel filtro, este proceso se llevó a cabo a temperatura ambiente (20 °C) y con 2 g/L de O_2 . Se realizaron observaciones cada 5 días, para apreciar la degradación del papel filtro y controlar temperatura y la cantidad de oxígeno, este proceso se lo hizo durante 15 días. El día 12 se detectó la suspensión del aumento de la temperatura del biorreactor, por lo que se cubrió con material con-centrador de calor y se colocó cerca lámparas. El tiempo de observación se extendió a 17 días luego de los cuales se realizó la siembra de bacterias y hongos en medios específicos.

Identificación y selección de microorganismos celulolíticos. Cepas bacterianas.

- Macroscopía. Se realizó la siembra de bacterias en medio TSA se llevó a incubación durante 48 h a 37°C, posteriormente se realizó la caracterización

macroscópica, con base en los siguientes criterios: "tamaño de las colonias (puntiforme, pequeñas, medianas, grandes); color; forma (regulares, redondas, ovaladas, irregulares, filamentosas, rizoides); elevación de las colonias (plana, elevada, convexa monticular); bordes (entero, ondulado, aserrado, filamentosos y rizado); superficie; olor (amoniaco, fétido, dulzón) y crecimiento (abundante, moderado, escaso)" (Escobar, et al., 2012).

- Microscopía. Se procedió a realizar el aislamiento de las cepas identificadas en macroscopía, para ello se preparó 350 mL de caldo nutritivo BHI y se colocó 50 mL en 7 matraces, por el método de inoculación directa fueron tomadas las diferentes colonias con el asa de siembra, colocadas en los matraces (Laboratorios Britania S.A, 2015), y llevados a la incubadora por 24 horas. Transcurrido este periodo se utilizó las cepas en las diferentes pruebas bioquímicas, para identificar la especie de bacteria.

Cepas fúngicas

- Macroscopía. Se realizó la siembra de hongos en medio Agar Sabouraud, su proliferación demoró siete días a temperatura ambiente; posteriormente se observó los bordes, exudado, color, olor, forma y claves taxonómicas (Escobar et al., 2012) de los hongos desarrollados
- Microscopía. Para la observación microscópica, se utilizó la técnica de cinta pegante. Esta técnica, se realizó mediante el doblado de una tira de cinta adhesiva la que se presionó firmemente contra la superficie del hongo a identificar. La tira de cinta con la muestra fúngica, se colocó en un portaobjetos y se añadió una gota de azul de lactofenol, finalmente se observó en el microscopio.

Preparación de inóculos

Se realizó la reactivación de las cepas seleccionadas mediante la adición de nutrientes

Bacterias. Fueron reactivadas en caldo BHI, para esto se definió la escala Macfarland en la que se encontraban los microorganismos, que para el caso de *Proteus mirabilis* (M3) y *Citrobacter freundii* (M13) se encontraban en escala 10 Macfarland, posteriormente se los introdujo en la incubadora a 37 °C durante 24 horas (Universidad de Antioquia, 2009).

Hongo. Para *Penicilium* spp., se sembró sus esporas en 8 mL de caldo BHI, se llevó a incubación a 67 °C por 24 horas y se realizó el recuento celular en la cámara de Neubauer.

La concentración celular según Arredondo et al., (1997) se calcula de acuerdo a la fórmula:

$$C = N \cdot 10^4 \cdot \text{dil}$$

En donde:

$$C = \text{cél/mL}$$

N = promedio de células presentes en 1 mm² (0,1µL)
dil = factor de dilución

Una vez reactivadas, la cantidad de inóculo para las pilas de compost, fue seleccionada de forma aleatoria y experimental considerando el recuento celular fúngico y la escala Macfarland.

Los inóculos fueron colocados en tubos de ensayo estériles debidamente sellados, etiquetados y llevados a la zona experimental en cooler manteniendo la cadena de frío.

Los inóculos fueron colocados en el centro de las pilas a una profundidad aproximada de 30 cm.

Pilas de compost

Los materiales empleados para la creación de pilas de compost fueron: estiércol vacuno, contenido ruminal, aserrín, urea y melaza. La cantidad de material empleado se determinó de manera experimental; con una relación C: N inicial calculada de 34,15, este valor se encuentra dentro del rango óptimo establecido por la FAO(2013).

Se crearon 12 pilas de compost, cada tres pilas fueron asignadas con un tratamiento específico. Las pilas fueron creadas sobre plástico lo cual facilitó su recubrimiento, la retención de los materiales a compostar y la prevención de contaminación del suelo con lixiviados.

Parámetros de control durante el proceso de compostaje

Antes de iniciar con el proceso de control, se realizó un recuento inicial de bacterias y hongos, a fin de asegurar su presencia en las pilas de compost. Se realizó a los 3 días de creación de las pilas, para ello se tomaron 2,5 g de cada pila de compost y se adicionaron 50 mL de agua destilada, se homogenizó las soluciones madre por agitación y mediante el método de diluciones seriadas (hasta 10⁻⁴) se procedió a la siembra por extensión de bacterias en agar Antibiótico 19 con un periodo de incubación de 48 h a 35°C y hongos en agar OGY con periodo de siete días para su desarrollo.

Posteriormente, se controlaron parámetros como: temperatura, pH, aireación y humedad, durante todo el proceso de compostaje, según lo indica la Tabla 3(pág.4). Los datos registrados permitieron realizar correcciones in situ a fin de que el proceso produjera un compost inocuo y con cantidades óptimas de macro nutrientes.

Análisis físicos, químicos y microbiológicos en compost maduro.

Los análisis físicos, químicos y microbiológicos sobre muestras de compost maduro, se realizaron en: el laboratorio de Química Agrícola y Suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas y en los laboratorios del Centro de Biología de la Universidad Central del Ecuador, respectivamente. Los análisis físicos realizados se basaron en el aspecto general de la pila de compost, es decir, se evaluó su color y olor. Los análisis químicos realizados fueron la temperatura,



el pH, el porcentaje de humedad, el porcentaje de materia orgánica, conductividad eléctrica, nitrógeno, fósforo y potasio. Mientras que los análisis microbiológicos comprenden: presencia de Coliformes fecales (*E. coli*) y Coliformes totales.

Además, se realizó el conteo final de bacterias y hongos fin de comparar la disminución de microorganismos debido al efecto propio del proceso de compostaje. Se lo realizó a los 88 días de creación de las pilas, una vez terminado el proceso de compostaje

En la Tabla 2 se muestran los análisis realizados y sus respectivos métodos.

Indicadores para evaluación del mejor tratamiento

Estos indicadores se aplicaron para evaluar cada tratamiento debido a que no se pudo realizar la prueba de Tukey ya que no existió diferencia significativamente estadística entre tratamientos.

Los indicadores cualitativos fueron: Color: marrón oscuro; y olor: a tierra. Mientras los indicadores cuantitativos se muestran en la Tabla 3, y permitieron definir qué tratamiento fue el mejor en términos de calidad de compost maduro, reducción del tiempo del proceso de compostaje y características del microorganismo inoculado.

Tabla 1. Parámetros de control.

Parámetros de control	Método	Aparato de medición	Marca del aparato	Lugar de medición	Frecuencia de medición
Temperatura	Lectura directa del aparato	Termómetro digital (- 50°C - +300°C)	SUNNEX	In situ	Dos veces a la semana
pH	Química seca	Tiras indicadoras del pH	Merck	In situ	Dos veces a la semana
Aireación	Volteo manual de pilas Método	N/A	N/A	In situ	Dos veces a la semana
Humedad	gravimétrico de desecación en estufa de aire caliente	Estufa de aire caliente Balanza analítica	Memmert ADAM	LABFIGEMPA	Una vez a la semana

Tabla 2. Métodos de ensayo para compost maduro

Determinación de análisis microbiológicos	Método
Coliformes fecales Coliformes totales	¹ Recuento por el número más probable Recuento por el número más probable
Determinación de parámetros químicos	Método
Conductividad eléctrica	Conductímetro con extracto de pasta saturada.
Materia orgánica	Calcinación de la muestra en mufla a 600 °C.
Nitrógeno total	Cálculo a partir del porcentaje de materia orgánica.
Fósforo total	Método Olsen modificado.
Potasio	Espectrofotometría de absorción atómica.

¹ Para la determinación de coliformes fecales se realizaron diluciones seriadas hasta 10⁻² (de la solución madre) debido a que en diluciones mayores las placas presentaron crecimiento estadísticamente no válido para ser reconocidos como resultados.

Tabla 3. Indicadores cuantitativos.

Parámetros de evaluación	VARIABLES DE SALIDA	Indicador
Duración del proceso de compostaje	Tiempo de compostaje	$(t_{re}^1 / t_{rf}^2) * 100$
	Temperatura	$(T_{re} / T_{rf}) * 100$
	pH	$(pH_{re} / pH_{rf}) * 100$
	Humedad	$(H_{re} / H_{rf}) * 100$
	Materia orgánica	$(\% M.O_{re} / \% M.O_{rf}) * 100$
	Calidad de compost maduro (Análisis físicos, químicos y microbiológicos)	Cantidad de material degradado
Calidad de compost maduro (Análisis físicos, químicos y microbiológicos)	Conductividad eléctrica	$(C.E_{re} / \% C.E_{rf}) * 100$
	Nitrógeno total	$(\% N_{re} / \% N_{rf}) * 100$
	Fósforo total	$(\% P_{re} / \% P_{rf}) * 100$
	Potasio	$(\% K_{re} / \% K_{rf}) * 100$
	Coliformes fecales	< 1000 NMP/g

¹ re: valor real, obtenido de las pilas de compost.

² rf: valor referencial, obtenido de bibliografía similar.

Para esta investigación se empleó un diseño completamente al azar (DCA) por ser un método ampliamente usado en el campo de la experimentación agrícola y a nivel de invernaderos. Este diseño tiene una amplia aplicación cuando las unidades experimentales son bastante homogéneas, es decir que los factores actúan por igual en estas unidades.

Este análisis estadístico conjuntamente con los indicadores anteriormente mencionados permitió seleccionar el tratamiento que redujo la mayor cantidad de desechos orgánicos y que produjo compost de buena calidad.

Discusión de resultados

Recolección de muestras

Se recolectó una muestra compuesta de 200 g de estiércol y contenido ruminal para realizar el aislamiento de microorganismos celulolíticos aerobios nativos.

Identificación y selección de microorganismos con actividad celulolítica

Bacterias

De las cajas inoculadas para crecimiento de bacterias se consideraron como resultados estadísticamente válidos a los expuestos en la Tabla 4.

Tabla 4. Placas Petri estadísticamente válidas.

Dilución	Cantidad de colonias UFC/g
10 ⁻¹	1,1 x 10 ⁴ UFC/g
10 ⁻²	3,5 x 10 ⁴ UFC/g

UFC: Unidades formadoras de colonia

En estas cajas las colonias bacterianas fueron evaluadas con los criterios macroscópicos precedentes. Así, en la Tabla 5. se muestra la macroscopía observada.

Tabla 5

Código de colonia	Macroscopía de las colonias identificadas
M1	Redondas cóncavas, de borde irregular y de color crema.
M3	Cóncavas, de borde regular, rosadas y chulosas.
M4	Cóncavas, de borde regular y coloración amarilla
M6	Cóncavas, de borde regular y de color crema
M8	Cóncavas, de borde regular y coloración amarillo intenso
M11	Cóncavas, de borde regular, rosadas y con un punto central muy notorio.
M13	Convexas, de borde irregular y de color crema.

La Microscopía se realizó mediante pruebas bioquímicas según lo expuesto por Madigan et al., (2009), se realizaron seis pruebas que se indican en la Tabla 6.

Con los resultados obtenidos de las pruebas bioquímicas más los criterios macroscópicos y las características específicas de las diferentes especies bacterianas descritasteóricamente, se seleccionaron para la investigación las cepas de las especies *Proteus mirabilis* y *Citrobacter freundii*.

Cepas fúngicas

En las cajas inoculadas para crecimiento de hongos, se evidenció el crecimiento de una única especie de hongo de color verdoso, algodonoso y amarillo en su parte posterior (Fig. 1), que mediante la técnica de la cinta pegante y el microcultivo (Martí et al., 1998) se observó la morfología típica del género *Penicillium* (Fig 2.). Género que se caracteriza por la degradación de materia orgánica; por consiguiente, también se empleó a la cepa fúngica *Penicillium* spp. para el desarrollo de la investigación.

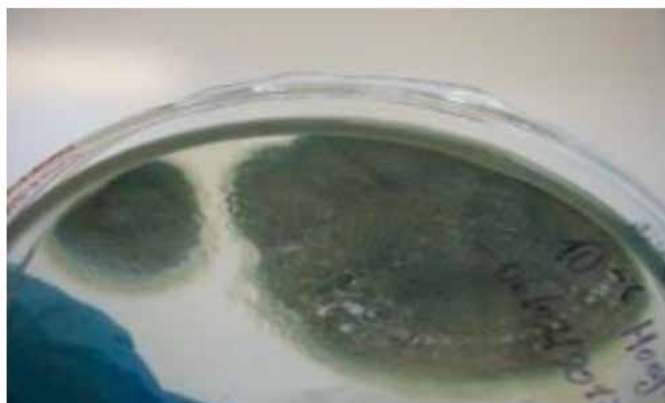


Fig. 1. Macroscopía de cepa fúngica: Hongo verdoso



Fig. 2. Morfología de *Penicillium* spp.

**Tabla 6. Resultado de pruebas bioquímicas.**

Código colonia	Tinción Gram	Oxidasa	Catalasa	Citrato Simmons	SIM		TSI		
					Movilidad	H ₂ S	Pico /fondo	Gas	H ₂ S
M1	-	-	-	-	+	-	K/A	-	-
M3	+	+	-	+	+	+	NA	+	+
M4	-	-	-	-	+	-	K/A	-	-
M6	+	-	-	-	+	-	A/A	+	-
M8	-	-	-	-	-	-	K/A	-	-
M11	-	+	-	-	-	-	K/K	-	-
M13	-	-	+	-	+	+	NA	+	+

Nomenclatura: K: Base; A: Acido; NA: No Admite; -: negativo; +: positivo

Preparación de inóculos

Resultados del recuento celular para *Penicillium* spp. en la cámara de Neubauer mostrados en la Tabla 7.

Tabla 7. Conteo de células para *Penicillium* spp.

Cuadrícula	Número de células /mL
A	194
B	38
C	45
D	79
TOTAL	356
PROMEDIO	89

Las cantidades de inóculo empleadas para cada tratamiento descritas en la Tabla 8.

Tabla 8. Cantidad de inóculo por pila de compost.

Tratamientos	Microorganismo a inocular	Cantidad de inóculo en mL/pila	¹ Cantidad total de microorganismos
T1	<i>Proteus mirabilis</i>	10	30 x 10 ⁹ UFC
T2	<i>Citrobacter freundii</i>	10	30 x 10 ⁹ UFC
T3	<i>Penicillium spp.</i>	0,4	356 x 10 ³ CÉLULAS
TB	Sin adición de microorganismos	0	N/A

¹ Total de microorganismos presentes en la cantidad total de inóculo aplicado por pila de compost.

Pilas de compost

Las cantidades de materiales utilizados para cada pila de compost, se encuentran detalladas en la Tabla 9.

Tabla 9

Material de partida	Cantidades
Estiércol vacuno + contenido ruminal	132 Kg
Aserrín	4 Kg
Urea	30 g
Melaza	4 L

Análisis físicos, químicos y microbiológicos en compost maduro

El recuento inicial y final de bacterias y hongos en las pilas se observan en las Tablas 10 y 11.

Tabla 10. Recuento inicial de bacterias dilución 10⁻¹

Tratamiento	Repetición	R. inicial UFC/g	R. final UFC/g
TB	R1	9,7 x 10 ²	1,4 x 10 ²
	R2	4,7 x 10 ²	-
	R3	7,2 x 10 ²	-
T1	R1	4,3 x 10 ²	2,8 x 10 ²
	R2	4,4 x 10 ²	1,5 x 10 ²
	R3	5,1 x 10 ²	3,2 x 10 ²
T2	R1	4,0 x 10 ²	-
	R2	3,7 x 10 ²	0,4 x 10 ²
	R3	3,9 x 10 ²	-

Se tomó la dilución 10⁻¹ debido a que se encuentra en el rango estadísticamente válido de 30 y 300 UFC.

Tabla 11. Recuento inicial de hongos.

Tratamiento	Repetición	Dilución ₁	R. inicial UFC/g	R. final UFC/g
T3	R1	10 ⁻¹	-	5
		10 ⁻²	5	2
		10 ⁻³	-	1
		10 ⁻⁴	5	-
	R2	10 ⁻¹	1	1
		10 ⁻²	6	1
		10 ⁻³	-	-
		10 ⁻⁴	3	-
	R3	10 ⁻¹	2	-
		10 ⁻²	7	1
		10 ⁻³	-	1
		10 ⁻⁴	5	-

Se observó que en la dilución 10⁻¹ de crecimiento de cepas fúngicas en el recuento inicial, esto se debe a la aparición de setas de la especie de *Coprinuscomatus* como se muestra en las Figuras 3 y 4. Y el crecimiento de levaduras de la especie *Rhodotorula*, estas son colonias rojas brillantes y se muestra en la Figura 5. Ambas especies halladas pueden ser estudiadas en proyectos futuros como degradadores de hidrocarburos.



Figura 3. Seta de *Coprinuscomatus*



Figura 4. Esporas de *Coprinuscomatus* a 40X.



Figura 5. Levadura *Rhodotorula*

Temperatura

La fase del proceso de compostaje evaluada fue la fase termófila debido a que en ella el proceso alcanza la mayor temperatura del proceso, así, T3 alcanzó 44 °C, T1: 44,9 °C, T2: 46,0 °C y T3: 42,5

°C. La FAO (2013) establece el rango óptimo para esta fase de 45 °C a 70 °C. Según Pravia (2001) citado en Eche (2013) menciona el rango de 40 °C a 75 °C “para eliminar todos los organismos mesófilos patógenos, hongos, esporas, semillas y elementos biológicos indeseables”. En estudios realizados por Gordillo y Chávez (2008), al usar poblaciones microbianas locales la temperatura fue menor a los 45 °C mientras que al utilizar microorganismos comerciales la temperatura superó los 60 °C. De este modo, la existente entre los resultados de la investigación y estudios previos radica en la utilización de diferentes tipos de inóculos microbiológicos y materiales a compostar empleados.

pH

El pH final para el tratamiento T3 fue de 9,04 muy seguido del tratamiento T2 con pH de 9,05, según la FAO este debe situarse entre 6,5 a 8,5 por lo que ningún tratamiento cumple con este parámetro. En la Norma Chilena 2880 (INC, 2003) los valores óptimos están ente 5 y 8,5 mientras que Olivares et al (2012) obtuvieron un pH de 7,42 con una remoción por semana, diferente al realizado en este estudio en el cual se removía cada tres días para controlar humedad. Mientras que Pérez et al (2008) obtuvo valores de 7,8. La diferencia se debe principalmente a la interacción del estiércol con los residuos vegetales utilizados, que para este estudio fue melaza, estiércol, aserrín y urea.

Humedad

El mayor porcentaje de humedad registrado en la investigación sucedió en T3 con 52,91% muy superior al rango de la FAO que oscila entre 30 a 40%, mientras que en la Norma Chilena 2280 (INC, 2003) está entre 30 y 45%. Sin embargo, Pérez et al (2008) obtienen un valor de humedad de 52,2% al utilizar estiércol caprino y cascarilla de arroz, valor muy similar a los resultados obtenidos en el tratamiento T3.

Materia orgánica

El valor final máximo registrado fue 80,0% para T2; en estudios realizados por Pérez et al (2008) reporta 42,8% de materia orgánica en su producto final; sin embargo, Naranjo (2013) obtiene un valor de 23,08%. Según Abad et al. (1993) citado en Pérez et al (2008) reportó valores superiores al 80% en compost en residuos de origen animal que aseguran una mayor reserva de nutrientes, este valor coincide con el tratamiento T2, en la Tabla 12 se indican los resultados.

**Tabla 12. Porcentaje final de materia orgánica**

Tratamiento	Media %
TB	77,8
T1	75,5
T2	80,0
T3	76,2

Cantidad de material degradado

Se obtuvo un valor máximo de 82,5% en T1 y un mínimo de 79,1% en T3 como se observa en la Tabla 13. La FAO (2013) menciona que durante el proceso de degradación se pierde hasta un 50% de material inicial, en contraste con los datos de este estudio, se demuestra claramente que la utilización de inóculos microbiológicos mejora la reducción de las cantidades de materiales usados para la creación de pilas de compost. La elevada cantidad de material degradado es un “indicador de la velocidad de descomposición de la misma”. Hernández, et al (2013).

Tabla 13. Porcentaje de material degradado

Tratamiento	Media %
TB	80,7
T1	82,5
T2	81,0
T3	79,1

Conductividad eléctrica

Los valores de conductividad eléctrica obtenidos oscilan entre 14,1 – 20,2 mmhos/cm, como se muestran en la Tabla 14, que al compararlos con valores de conductividad existentes en suelos muy salinos (mayores a 8 mmhos/cm) se considera un sustrato orgánico altamente salino. Esta afirmación se corrobora según lo expuesto por Andrade (2016) donde se alcanzó un valor máximo de 9,13 mmhos/cm, siendo este un valor óptimo cuando se usan residuos animales según lo expone su investigación. Según la Norma Chilena 2880 (INC, 2003) para un compost clase B cuyo valor máximo de conductividad oscila entre 5-12 mmhos/cm. La conductividad eléctrica se encuentra directamente relacionado con la cantidad de sales disueltas en el compost esta tiende a aumentar durante el compostaje debido a la mineralización de la materia orgánica lo que a su vez genera el aumento en la concentración de nutrientes, guarda relación con las concentraciones de Ca^{2+} , K^{+} y Na^{+} , (Cariello, et al, 2007).

Tabla 14. Conductividad eléctrica en compost maduro.

Tratamiento	Media %
TB	14,1
T1	19,6
T2	20,2
T3	14,3

Nitrógeno

El porcentaje de nitrógeno reportado oscila en el rango de 3,7% a 4,0% en base seca, según Tabla 15. Hernández, et al (2013) que oscilan entre 2% a 1,5%, afirmando que el estiércol vacuno no es una buena fuente de aporte de nitrógeno en comparación con la gallinaza; afirmación que se contrapone con los resultados obtenidos en esta investigación. Olivares et al (2012), establecieron un porcentaje de nitrógeno del 2%. Mientras, Andrade (2016) obtuvo un valor máximo de nitrógeno de 1,6%, lo que indica que el compost obtenido en este estudio es rico en nitrógeno en comparación a productos provenientes de procesos de degradación similares.

Tabla 15. Porcentaje de nitrógeno en compost maduro.

Tratamiento	Media %
TB	3,9
T1	3,7
T2	4,0
T3	3,8

Fósforo

Se obtuvo entre 0,02% y 0,03% de fósforo según Tabla 16. valores que cumplen con el valor óptimo establecido para fósforo (menor o igual a 0,1%) en la Norma Chilena 2880 (INC, 2003), lo cual alega que se trata de un compost con buena proporción de fósforo que será útil para “cultivos sensibles al stress de fósforo”. (Norma Chilena 2880, 2003). Comercialmente, el compost obtenido no puede competir con otro tipo de abonos orgánicos, pues como lo expone Paul y Clarck (1996); citado en Soto y Muñoz (2002), un compost aceptable comercialmente presenta valores de fósforo dentro del rango óptimo de 0,15 a 1,5%.

Tabla 16. Porcentaje de fósforo en compost maduro.

Tratamiento	Media %
TB	0,03
T1	0,03
T2	0,02
T3	0,02

Potasio

Se reportaron valores de 0,73% y 0,70%, según Tabla 17, estos valores coinciden con la investigación

realizada por Andrade (2016), donde el potasio se encuentra en un rango de 0,6% a 1,5%. Datos similares (1,05% de potasio) son reportados por Pérez, et al (2008). La FAO (2013), establece el rango óptimo de 0,3% a 1% que “mejora el régimen hídrico de la planta y aumenta su tolerancia a la sequía, heladas y salinidad.” (FAO, 2013). Hernández, et al (2013) obtuvieron 0,55% de potasio, este valor también es reportado en el estudio de Castillo, et al (2010). Al igual que con el fósforo, existen factores que provocan una mayor o menor cantidad de potasio en el compost maduro.

Tabla 17. Cantidad de potasio en compost maduro.

Tratamiento	Media %
TB	0,70
T1	0,73
T2	0,73
T3	0,73

Coliformes totales y fecales

Los valores obtenidos según la Tabla 18 son muy bajos o nulos respecto al valor dado por la Norma Chilena 2880 (INC, 2003), donde un compost debe presentar valores menores a 1000 NMP/g de coliformes fecales para ser considerado de buena calidad e inocuo. Estos bajos resultados demuestran que en la fase termófila la temperatura fue elevada durante el tiempo necesario para higienizar las pilas, eliminando patógenos como *Escherichiacoli*.

Tabla 18. Recuento de colonias de *Escherichiacoli*

Tratamiento	<i>E. Coli</i> NMP/mL
TB	18
T1	-
T2	3
T3	-

Resultados para dilución 10⁻¹
NMP: número más probable; mL: mililitros

Por otro lado, para coliformes totales se reporta el valor máximo de 54 NMP para el tratamiento T1 como se muestra en la Tabla 19, este valor no puede ser comparado con el establecido en la Norma Chilena 2880 debido a que en ella se pide valores únicamente para el género *Enterobacter* y el grupo coliformes totales comprende más de un género de bacteria como: *Klebsella*, *Citrobacter*, *Escherichia*.

Tabla 19. Recuento de colonias de Coliformes totales

Tratamiento	Coliformes totales NMP/mL
TB	500
T1	54
T2	277
T3	346

NMP: número más probable; mL: mililitros

Conclusiones

- Los desechos orgánicos provenientes del camal de faenamiento Familia Aldaz, fueron reducidos y tratados exitosamente al transformarlos en un producto aprovechable en el área agrícola, como lo es un sustrato altamente orgánico (80% de materia orgánica) con porcentajes óptimos de macronutrientes y con baja o nula presencia de coliformes fecales.
- Los microorganismos con actividad celulolítica nativos aislados e identificados del contenido ruminal y estiércol vacuno en este estudio, corresponden a cepas bacterianas de *Proteus mirabilis*, *Citrobacter freundii* y la cepa fúngica *Penicillium spp.* Estos microorganismos presentaron una alta capacidad degradadora de desechos orgánicos (contenido ruminal y estiércol), lo que permitió reducir en un 80% la cantidad de materiales usados en las pilas de compostaje; demostrando que la utilización de microorganismos nativos es una solución óptima al momento de gestionar desechos orgánicos
- El mejor tratamiento para la conversión de desechos orgánicos a un compost de buena calidad, es el tratamiento T2, constituido por: estiércol vacuno, contenido ruminal, aserrín, melaza, urea y el inóculo de *Citrobacter freundii*. Este tratamiento presentó la mayor temperatura en la fase termófila (46 °C), tiene un alto contenido de nitrógeno total (4%), alto contenido de potasio (0,73%), alto contenido de materia orgánica (80%) y una tasa elevada de degradación de desechos (80,97%), en comparación con los otros tratamientos
- Los factores que influyeron en la ralentización del proceso de compostaje fueron la gran variación de la temperatura y el porcentaje de humedad de los tratamientos durante el proceso de compostaje, estas variaciones sucedieron debido al mal dimensionamiento de la pila de compost, debido a que pilas de baja altura y de base ancha, hacen que el calor generado por los microorganismos se pierda fácilmente y no conserven o aumenten la temperatura de los tratamientos. Esto a su vez ocasiona que el porcentaje de hu-



medad no disminuya, ya que no existe evaporación del contenido de agua, lo que provocó que el proceso dure más tiempo.

- El compost obtenido tiene una alta salinidad debido al elevado contenido de sales como potasio, hecho que se evidencia en valores altos de pH lo cual le da un carácter alcalino al medio, propicio para la retención de las mismas. Uno de los factores que pudo haber elevado la alcalinidad en las pilas fue la no generación de lixiviados durante el proceso de compostaje ocasionando la retención de sales disueltas y altos valores de pH. Comercialmente este producto no es competidor con fertilizantes químicos debido a que tiene bajos contenidos de nitrógeno y fósforo, dos de los macronutrientes principales y necesarios en los cultivos. Sin embargo, puede ser usado como acondicionador y mejorador de suelos carentes o con bajos niveles de nutrientes, puede ser útil para cultivo de hortalizas y germinación de semillas, siempre y cuando se lo mezcle con otro tipo de sustratos que garanticen cubrir las necesidades nutricionales para las plantas, como N, P, K.

• Agradecimientos

Al Centro de Biología de la Universidad Central del Ecuador, por su apoyo técnico y científico.

Al Camal de faenamiento familia Aldaz, por permitirnos realizar la investigación empleando residuos de su proceso productivo.

• Referencias bibliográficas

Andrade, S. (2016). Elaboración de compost a partir de desechos orgánicos con el uso de bacterias ácido- lácticas y *Trichoderma* spp. en la ciudad de Ibarra (Tesis de pregrado). Universidad de Las Américas. Ecuador. Recuperado de <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/6165>

Arredondo, B., Cordero, B., Herrero, C. y Abalde, J. (1997). Manual de Técnicas Bioquímicas Aplicadas en Ficología. Manual de Prácticas del Ier. Curso Teórico Práctico: Aplicaciones Biotecnológicas del Cultivo de Microalgas. La Paz, Baja California Sur, México, pp 1-5.

Cariello, M., Castañeda L., Riobo, I. y González, J. (2007). Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso compostaje de residuos sólidos urbanos. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 7(3). Recuperado de <http://mingaonline.uach.cl/pdf/rcsuelo/v7n3/art03.pdf>

Castillo, H. y Hernandez, A. (2010). Effect of californian red worm (*eiseniafoetida*) on the nutrient dy-

namics of a mixture of semicomposted materials. *Chilean journal of Agricultural Research*. 70 (3). Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Hugo_Castillo3/publication/262426796_Efecto_de_la_Lombriz_Roja_Californiana_Eisenia_foetida_en_la_Dinamica_de_Nutrientes_de_una_Mezcla_de_Materiales_Semicompostados/links/551965cb0cf21b5da3b8793b.pdf

Eche, F. (2013). Elaboración de compost, utilizando desechos orgánicos del centro de faenamiento de Julio Andrade. Carchi- Ecuador. (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Estatal del Carchi. Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.upec.edu.ec/handle/123456789/13>

Escobar, N., Mora, J y Romero, N. (2012). Identificación de poblaciones microbianas en compost de residuos orgánicos de fincas cafeteras de Cundinamarca. *SciELO.org*.16(1). Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v16n1/v16n1a06.pdf>

FAO, (2013). Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. Santiago de Chile, Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

Gordillo, F. y Chávez, E. (2008). Evaluación comparativa de la calidad del compost producido a partir de diferentes combinaciones de desechos agroindustriales azucareros en Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Recuperado de [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/9112/1/Evaluaci%C3%B3n%20Comparativa%20de%20la%20calidad%20del%20compost.pdf\(2008\)](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/9112/1/Evaluaci%C3%B3n%20Comparativa%20de%20la%20calidad%20del%20compost.pdf(2008))

Hernández, O., Hernández, A., Rivera, C., Arras, A. y Ojeda, D. (2013). Calidad nutrimental de cuatro abonos orgánicos producidos a partir de residuos vegetales y pecuarios. *Terra Latinoamericana*. 31 (1). Recuperado de <http://www.redalyc.org/html/573/57327411004/>

Instituto de Normalización Chileno, (2003). Norma Chilena 2880. Compost- Clasificación y requisitos.

Santiago de Chile. Recuperado de <http://www.ingeachile.cl/descargas/normativa/agricola/NCH2880.pdf>

Jia, L., Xiu-hong, X., Hong-tao, L. y Ying, X. (2011). Effect of microbiological inocula on chemical and physical properties and microbial community of cow manure compost. *Biomass and Bioenergy*.35(8), 3433- 3439. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.03.042>

Laboratorios Britania S.A (2015). Tripteína soya agar. Ref. B0210205. Recuperado de <http://www.britanialab.com/productos/B23102%20REV%2001-TRIPTEINA%20SOYA%20AGAR.pdf>.

Leguizamon, L. y Tique, D, (2008). Protocolo muestras de estiércol vacuno. Recuperado de <http://proyectobiogas.blogspot.com/>

Madigan, M., Martinko, J., Dunlap, P y Clark, D. (2009). Brock. Biología de los microorganismos. Madrid- España. Pearson. 12 ed.

MAE, (2013). Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos – PNGIDS. Ecuador. Recuperado de <http://www.ambiente.gob.ec/programa-pngids-ecuador/>

Martí, M., Alonso, R., y Constans, A. (1998). NTP 488: Calidad de aire interior: identificación de hongos. Recuperado de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/401a500/ntp_488.pdf

Naranjo E, (2013). Aplicación de microorganismos para acelerar la transformación de desechos orgánicos en compost. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Agronómica. Recuperado de: [http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/5310/1/Tesis - 52%20%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-%20CD%20173.pdf](http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/5310/1/Tesis%20-%2052%20-%20-%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-%20CD%20173.pdf)

Olivares, M., Hernández A., Vences, C., Jáquez, J y Ojeda, D. (2012) Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. Universidad y ciencia. 28(1). Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018629792012000100003&script=sci_arttext&tlng=pt.

Pérez, A., Céspedes, C y Núñez P. (2008). Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en república dominicana. Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal. 8 (3). Recuperado de http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-27912008000300002&script=sci_arttext.

Soto, G y Muñoz, C. (2002). Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost, y su empleo en la agricultura orgánica. Manejo integrado de plagas y agroecología. 65. Recuperado de <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5955/A2037e.pdf?sequence=1&isAllowed=>



BOLSA DE EMPLEO EN LA INDUSTRIA PETROLERA

La Unidad de Titulación en conjunto con los estudiantes de Quinto y Décimo semestres de la Carrera de Ingeniería de Petróleos y el SPE Student Chapter de la Universidad Central del Ecuador, organizaron el proyecto denominado BOLSA DE EMPLEO EN LA INDUSTRIA PETROLERA cuyo objetivo fue dar a conocer el aporte que de la carrera de Ingeniería de Petróleos de la Universidad Central del Ecuador al desarrollo de la industria petrolera a través del soporte a las empresas mediante Estudios Técnicos en los que buscan soluciones a problemas específicos y que sirven como trabajos de titulación.

En este evento participaron importantes empresas relacionadas con el sector hidrocarburífero como Petroamazonas EP, Andes Petroleum, Petrobell Inc., Repsol Ecuador S.A., Tecpetrol S.A., Baker Hugues, Petrotech, Schlumberger, entre otras. También se contó con la presencia del Presidente del Ing. Ernesto Grijalva, Presidente de la Asociación de la Industria Hidrocarburífera del Ecuador AIHE, organización integrada por todas las empresas operadoras del país

La calidad de los Estudios Técnicos presentados permitió visibilizar la

capacidad de los Ingenieros de Petróleos graduados en la Universidad Central y con los que se está aportando a la industria petrolera y al desarrollo del país.

Al finalizar el evento los distintos representantes de las empresas manifestaron que este tipo de eventos son muy importantes para visibilizar los aportes que los estudiantes y la Facultad brindan a la industria en busca de alguna solución, y felicitaron al Ing. Gustavo Pinto Arteaga y a la Carrera de Ingeniería de Petróleos de la FIGEMPA por la realización de este evento.



Empleo de biocatalizadores en la degradación de material lignocelulósico: principales impactos

Use of biocatalyzers in the degradation of material lignocellulose: main impacts



Salvador Pinos Carmen

Master Complémentaire en Biotechnologie et Biologie
Docente Universidad Central del Ecuador
e-mail: casalvador@uce.edu.ec

González Erenio

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba
e-mail: erenio@uclv.edu.cu

Rojas Maira

Universidad de las Américas
e-mail: maira.rojas@udla.edu.ec

Mesa Leyanis

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba
e-mail: leyanis.mesa@gmail.com

Batallas Fernando

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba
e-mail: afbm@uclv.edu.cu

Pérez-Martínez Amaury

Universidad Estatal Amazónica
e-mail: amperez@uea.edu.ec

Concepción Diana

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba
e-mail: dianac@uclv.edu.cu

Resumen

El presente trabajo explica los esfuerzos actuales para desarrollar una tecnología accesible, rentable y limpia para el aprovechamiento de residuos lignocelulósicos para la obtención de etanol y otros derivados mediante procesos fermentativos de los diferentes azúcares y subproductos que resultan de la degradación de la celulosa. La biomasa, cuyo principal componente es la celulosa, es la materia prima más abundante del planeta, y su aprovechamiento racional produciría enormes beneficios económicos y ecológicos. La hidrólisis ácida de la celulosa es costosa y contaminante. Por lo tanto, se intenta llevar a escala industrial la hidrólisis enzimática, mediante enzimas producidas por varias especies de hongos (*Trichoderma*, *Aspergillus*, etc.), bacterias y otros organismos, y buscando otras fuentes industrialmente útiles para una biorrefinería. Es ecológicamente beneficiosa, y potencialmente mucho más económica, pero es necesario reproducir a escala industrial la actividad observada en laboratorio. La ingeniería genética ayuda a diversificar la producción de enzimas o aumentar la cantidad producida por los organismos. La hidrólisis enzimática completa usa enzimas celulolíticas: endoglucanasas, exoglucanasas y β -glucosidasas, difícilmente producidas en cantidades industrialmente interesantes por un solo organismo, siendo necesario combinar varios de ellos. Además, técnicas como reciclaje o recirculación de enzimas dentro del biorreactor ayudarían a un aprovechamiento integral. Otra línea de investigación es la modelación matemática de la producción de los crudos enzimáticos con simuladores como Superpro Designer y otros. La gran variedad de productos obtenidos a partir de biomasa vegetal, desde etanol hasta ácido cítrico, ácido láctico, ácidos urónicos, ácido acético, etc., respaldan los beneficios económicos, sociales, industriales y ecológicos que generaría esta tecnología.

Palabras clave: *enzimas; celulasas; hidrólisis enzimática; biorreactor; actividad celulolítica; biomasa*

Abstract

*The present work explains the current efforts to develop an accessible, profitable and clean technology for the utilization of lignocellulosic residues to obtain ethanol and other derivatives through fermentative processes of the different sugars and by-products that result from the degradation of cellulose. Biomass, whose main component is cellulose, is the most abundant raw material on the planet, and its rational use would produce enormous economic and ecological benefits. Acid hydrolysis of cellulose is expensive and pollutant. Therefore, it is intended to escalate to industrial levels the enzymatic hydrolysis of cellulose, by means of enzymes produced by several species of fungi (*Trichoderma*, *Aspergillus*, etc.), bacteria and other organisms, and looking for other industrially useful sources for a biorefinery. It is ecologically beneficial, and potentially much less expensive, but it is necessary to reproduce to an industrial scale the activity observed in laboratory conditions. Genetic engineering helps to diversify the production of enzymes or increase the amount produced by organisms. The complete enzymatic hydrolysis uses cellulolytic enzymes: endoglucanases, exoglucanases and β -glucosidases, hardly produced in industrially interesting amounts by a single organism, being necessary to combine several of them. In addition, techniques such as recycling or recirculation of enzymes within the bioreactor would help an integral use. Another line of research is the mathematical modeling of the production of enzymatic crudes with simulators such as Superpro Designer and others. The great variety of products obtained from plant biomass, from ethanol to citric acid, lactic acid, uronic acids, acetic acid, etc., support the economic, social, industrial and ecological benefits that this technology would generate.*

Keywords: *enzymes; cellulases; enzymatic hydrolysis; bioreactor; cellulolic activity; biomass*

Introducción

En la actualidad es imprescindible orientar sabiamente el rumbo del conocimiento, ya que el vertiginoso avance de la ciencia y la tecnología ha colocado a la humanidad en la cúspide del bien y del mal (Valdés et al, 2004). Es preciso conocer mejor los procesos técnicos, su impacto y sus interrelaciones con la evolución económica para que tanto los individuos como los gobiernos pueden comprender e influir en el progreso técnico y encauzarlo (UNESCO, 1977). La ciencia vinculada a los problemas sociales y convertida en una fuerza productiva basada en la generación de conocimientos para la búsqueda de soluciones a estos problemas, será la base que pueda asegurar un desarrollo sostenible a mediano plazo y pueda además resolver la problemática del desarrollo (Concepción y González, 2013). La ciencia, y las producciones de la ciencia, deben ocupar algún día el primer lugar de la economía nacional (Castro, 1993).

El presente trabajo parte de los desechos lignocelulósicos que se producen durante la actividad agrícola. Es necesario recordar que la biomasa constituye la materia prima más cuantiosa del planeta. Se considera que desempeña el mismo papel que el petróleo lo hizo en el siglo XX (Sims, 2010), pero pese a que se han realizado varios estudios sobre su manejo aún no se encuentra una aplicación práctica significativa (Mesa, Morales, Castro y Cara, 2009).

La biomasa vegetal representa una de las fuentes más importantes sostenibles de combustibles orgánicos, productos químicos y materiales (Lynd, Wiman y Gerngross, 1999). Este es un subproducto de enorme disponibilidad que se genera a partir de diferentes fuentes, entre ellas las agroindustriales (Alvarez et al, 2012). La utilización de la biomasa celulósica sigue siendo un tema de interés mundial en vista del agotamiento rápido del petróleo y de las altas posibilidades químicas energéticas de esta materia prima (Nwodo-Chinedu y Okochi, 2011).

La bioconversión de la lignocelulosa se está estudiando como un medio para aliviar la escasez de los alimentos, la energía y la reducción de la contaminación (Nwodo-Chinedu et al, 2007). Sin embargo la conversión de biomasa basada solo en la utilización de celulosa tiene pocas oportunidades de volverse económicamente atractiva (Ghose y Bisaria, 1987).

La hidrólisis enzimática de la celulosa está basada en la habilidad de hongos y bacterias de producir un set de enzimas extracelulares capaces de degradar las moléculas de D-glucosa (Albernas et al, 2014) que componen la estructura de la celulosa. La hidrólisis enzimática va ganando terreno (Morales, Verelst, Mesa y González, 2014), debido a que la hidrólisis ácida empleada para la obtención de azúcares fermentables ha generado algunos problemas en cuanto a costo y rendimiento (Sarouh, Jover y González, 2005).

Aunque un gran número de microorganismos (hongos, bacterias y actinomicetos) son capaces de degradar la celulosa, como los microhongos celolíticos pertenecientes a los géneros *Trichoderma* y *Aspergillus* que son productores de celulasas notables (De Vries y Viser, 2005), lastimosamente sólo unos pocos de ellos producen cantidades significativas de fracciones de enzimas libres capaces de la hidrólisis completa de la celulosa *in vitro*. La búsqueda continua de organismos altamente secretadores de enzimas celolíticas para optimizar la producción (De Vries y Viser, 2005) es una prioridad de la Biotecnología industrial aplicada a la obtención de azúcares reductores. La comprensión de estos microorganismos no sólo juega un papel muy importante por sus aplicaciones industriales sino en el proceso de reciclaje de varios productos como la celulosa en la biosfera (Han, Feng, Zhu y Zhang, 2009).

En las diferentes reacciones químicas que se producen para descomponer los desechos lignocelulósicos, se generan una serie de azúcares y otros componentes cuya fermentación presenta ciertas dificultades, y se podrían necesitar microorganismos modificados genéticamente o mutados (Mesa, González, Cara, Ruiz, Castro, y Mussatto, 2010). Al respecto, del análisis de la diversidad genómica de algunos microorganismos empleados para la obtención de celulasas, existe una pobre presencia de genes codificadores de actividad celolítica; un ejemplo lo constituye el genoma de *T. reesei*, que ha revelado un repertorio inesperadamente bajo de genes de celulasas y hemicelulasas (Foreman et al, 2003). Además, la capacidad celolítica sobre residuos lignocelulósicos de la mayoría de microorganismos, por ejemplo de hongos en estado natural, no se expresa en condiciones de laboratorio (Herrera García, 2011). Esto, a su vez, repercute en la carencia de biocatalizadores eficientes tolerables a las condiciones de laboratorio e industriales para la producción de enzimas de interés, pues las enzimas muestran una baja actividad y, por lo tanto, son consumidas de forma elevada (Barriga, 2011).

Estas características complican la tarea investigativa para algunos científicos y/o productores de bioetanol y derivados de éste, debido a que frecuentemente emplean ejemplares clásicos de celulasas de origen microbiano, descritas en numerosos trabajos publicados en la segunda mitad del siglo XX, que no son tan eficientes (Gusakov, 2011). Por estas razones, en los últimos años, los investigadores y, sobre todo, las empresas productoras de enzimas han creado organismos recombinantes para la producción heteróloga de celulasas o han mejorado mediante mutaciones los organismos preexistentes.

También se realizan investigaciones para buscar nuevas enzimas, más eficientes y menos costosas en la microbiota simbiote de animales como la lombriz de tierra (Salvador et al, 2012; Salvador, Destain, Rojas, Vásquez y Paz-y-Miño, 2011), debido a que algunos seres vivos son reconocidos por tener en

el interior de su cuerpo microorganismos degradadores de un sinnúmero de sustancias con las que éstos entran en contacto de acuerdo al nicho ecológico que realizan; esto hace que ellos sean considerados biorreactores naturales, tal es el caso de las termitas, animales rumiantes, cangrejos de río, y otros. Por ejemplo, las lombrices de tierra son conocidas por ser vectores para la dispersión de microorganismos del suelo que producen enzimas como las amilasas, lipasas, proteasas, etc., y fermentadores para ciertos géneros de microorganismos (Lynd, Weimer, van Zyl y Pretorius, 2002). Algunas especies de lombriz pueden participar en la descomposición de lignina y en los procesos de humificación con las peroxidasas (Brown, Barois y Lavelle, 2000), lo cual resulta interesante por la gran dificultad con la que se descomponen los xilanos. Es importante señalar que el intestino de este animal tiene mecanismos de regulación de temperatura, de humedad, alta concentración de moco que puede facilitar la degradación; además, el estómago es un molino coloidal en el cual el alimento es transformado en pequeñas partículas de 2 mm, lo que da una mejor superficie para el trabajo que hacen los microorganismos. Se ha constatado una presencia elevada de enzimas nitrato reductasas, celobiasas, endoglucanasas fosfatasa ácida en los intestinos de lombriz. Modelos animales como éste podrían ayudar a vislumbrar nuevas alternativas de degradación de compuestos a partir de procesos naturales eficientes.

También las herramientas modernas de metagenómica, interactoma, metabolómica y pirosecuenciación logran estudiar los diferentes genomas degradadores, existentes en los intestinos del animal, que pueden ser altamente eficientes en la hidrólisis enzimática; el coste económico de éstas tecnologías es bastante alto, sin embargo.

Las enzimas para degradar la biomasa celulósica son compuestos degradadores. Pertenecen a las proteínas de forma globular, funcionan como unidades funcionales del metabolismo celular y actúan acelerando reacciones químicas biológicas como reguladoras de rutas metabólicas. Para actuar necesitan pH y temperatura óptimos. Existen enzimas sintéticas y también enzimas de origen microbiológico. El presente trabajo estudia las de origen microbiológico que son capaces de degradar celulosa mediante hidrólisis.

Para la hidrólisis enzimática completa es necesaria la actividad de tres enzimas celulolíticas; endoglucanasas y exoglucanasas suplementadas con β -glucosidasas cuyo objetivo es asegurar la ruptura de las moléculas de celobiosa generadas por la acción de las otras enzimas (Breuil, Chan y Saddler, 1990). Al respecto, es difícil que un solo microorganismo de forma natural pueda producir las enzimas celulolíticas necesarias para una degradación exitosa. Es importante la acción sinérgica de varios microorganismos (Ryu y Mandels, 1980). Esto también ha conllevado a la necesidad de crear microorganismos modificados

genéticamente (Mesa et al, 2010), aprovechando herramientas tecnológicas que se conocieron en la década de los 70, con el descubrimiento realizado por Stanley Cohen y Herbert Bayer que emplean el aislamiento e inserción de un genoma a otro (Antunes, Pereira y Ebole, 2004). Entonces se reprograman organismos productores de enzimas celulolíticas para obtener cantidades altas de las enzimas en estudio.

Pese a que con el advenimiento de la genética moderna los costos de producción de azúcares a partir de estas fracciones recalcitrantes se han reducido significativamente (Adsul et al, 2004; Kovacs, Szakacs y Zacch, 2009), aún el proceso no es eficiente a escala industrial.

Para reducir el coste de las enzimas se pueden investigar nuevas fuentes de enzimas y/o se pueden reciclar las enzimas utilizando su relativa alta estabilidad y su alta afinidad por la celulosa. Al respecto, a nivel mundial e Iberoamericano, representando el 50% y 53% bajo el código de clasificación C12N, relacionado al estudio de microorganismos o enzimas, se encuentran clasificadas más de la mitad de patentes (Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología, 2015), como se observa en el Figura 1.

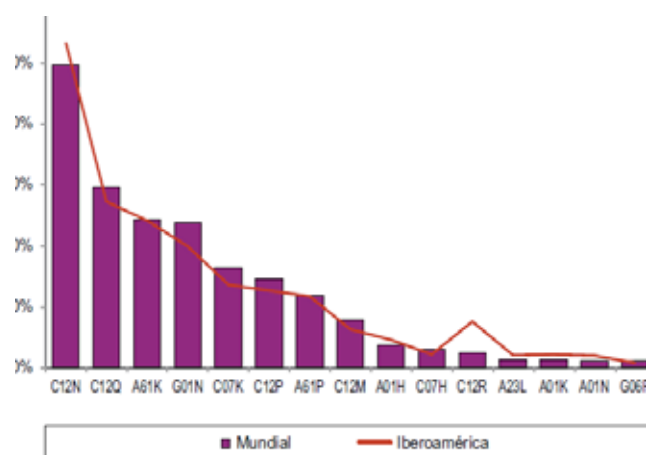


Figura 1. Principales códigos de clasificación (4 dígitos) en el mundo e Iberoamérica para Biotecnología (acumulado 2007-2013).

Resulta prioritario estudiar la interacción de las enzimas que degraden lignina (lacasas), celulosa (celulasas y xilanasas) para mejorar el proceso de degradación biomásica.

Para convertir los desechos lignocelulósicos a etanol y otros coproductos, es preciso transformar la estructura polimérica en azúcares sencillos, mediante un pretratamiento de la biomasa lignocelulósica. Además, para asegurar un aprovechamiento integral de los materiales resultantes es necesario utilizar por separado las tres fracciones principales del bagazo (celulosa, hemicelulosa y lignina). En este contexto surge el concepto de fraccionamiento de la biomasa, que como consecuencia deriva en el novedoso campo de la biorrefinería; un ejemplo constituye no solamente la obtención de etanol a partir de glucosa y celobiosa, sino de ácido cítrico, ácido láctico, iso-

butanol, etc. También mediante conversión catalítica de la fracción hemicelulósica se obtienen pentosas, hexosas y ácidos urónicos, ácido acético, hidroximetilfurfural; de las pentosas se obtienen xilanos, ácido fórmico, furfural, etc (Mesa et al, 2010)

Metodología y resultados

El presente estudio nace del problema de la carencia de una tecnología asequible, rentable y limpia para el aprovechamiento de residuos lignocelulósicos en el proceso de obtención de etanol y derivados de los procesos fermentativos de los diferentes azúcares y subproductos que se obtienen a partir de la degradación de la celulosa. En este contexto, el empleo de crudos enzimáticos podría definir una disminución del coste de la tecnología y un incremento de los productos que se desean obtener.

El objetivo es la búsqueda de nuevos crudos enzimáticos de origen microbiológico, que permitan aprovechar la capacidad celulolítica de hongos y bacterias existentes en material en degradación de bosques y residuos agrícolas, en una Biorrefinería. En este proceso, la caracterización de las fuentes enzimáticas, su optimización en el proceso de hidrólisis y la recirculación de las mismas es un objetivo prioritario, debido además a que la biomasa lignocelulósica también tiene enzimas (Mussato y Teixeira, 2010). En este ámbito científico y tecnológico se generan nuevos crudos enzimáticos a partir de técnicas biotecnológicas tradicionales y modernas y se genera información sobre los mecanismos de acción de las enzimas estudiadas.

Para complementar el enfoque tecnológico se recomienda estudiar factores como velocidad inicial, características estructurales como el área superficial, el grado de acumulación de agua, el orden molecular, la estructura capilar de las fibras de celulosa, el contenido de materiales asociados y la cristalinidad (Herrera García, 2011; Ramos, Breuil, Kushner y Saddler, 1992) También han sido estudiados mecanismos de recirculación de las enzimas en los procesos de hidrólisis enzimática y fermentación.

Es frecuente que la hidrólisis enzimática ya no vaya separada de la fermentación (HFS), sino que se realice en un solo esquema, que consiste en la sacarificación y fermentación simultáneas (SFS) del residuo (Ballesteros, Oliva, Negro, Manzanares, y Ballesteros, 2004). El proceso a emplear está en dependencia de los biocatalizadores y/o enzimas que se emplearán. En estos procesos se forma una mezcla sólido-líquido y las enzimas que se encuentran en la fase líquida pueden recircularse añadiendo sustrato fresco; a las enzimas que se encuentran en la fase sólida se les añade soluciones tamponadas para su recuperación (Barriga, 2011). La recirculación puede optimizar la fermentación y reducir los costes de la producción de la enzima, que es uno de los objetivos de la investigación básica para aplicaciones industriales (Hoang-Pham, Quyen, y Nghiem, 2010).

La recirculación de las enzimas es otra alternativa para contribuir a solucionar el problema del alto coste de las enzimas. Para recircular se necesita conocer parámetros específicos como: factores de inhibición del producto, desactivación térmica, mecánica y depleción del componente celulósico específico por adsorción con pérdida de energía cinética, etc (Barriga, 2011). Estos parámetros podrían ayudar a mejorar la eficiencia de la hidrólisis, que decrece gradualmente en cada paso de reciclado (Mussato y Teixeira, 2010).

La tecnología a emplear en el presente estudio incluye un estudio de vigilancia tecnológica. Además cuenta con la modelación matemática de los balances de masa y energía para predecir la producción de los crudos enzimáticos con simuladores como Superpro Designer, para determinar las mejores condiciones de obtención del producto con capacidad degradadora para posterior verificación experimental. El establecimiento de una propuesta tecnológica y experimental se basa en los diseños de Plackett-Burman y en el programa Design Expert para comprender los parámetros que afectan la producción enzimática, los tipos de enzimas producidas y la recirculación de las mismas.

Los impactos que generará la propuesta tecnológica no son solamente del orden científico-técnico como se ha explicado, sino económico, social, productivo y ambiental. Ambientalmente, la materia prima empleada no compite con biomasa alimenticia. Además de reducir el volumen de desecho en un 40%, los problemas de tratamiento, gestión y riesgo de desechos urbanos, agrícolas y forestales mejoran. La propuesta contribuye a prevenir el cambio climático mundial, mitigar los gases de efecto invernadero, disminuir los lixiviados que contaminan las aguas subterráneas, entre otros efectos. Previene los graves problemas del deterioro del suelo consecuencia de la deforestación, limitando los avances de la frontera ganadera y agrícola que tanto ha simplificado los ecosistemas (Funes, 2005), lo que a su vez influye en la reducción de precipitaciones y en la desaparición de numerosas especies vegetales y animales. Esto ayuda a que se cumpla el Objetivo 12 de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, que es el de Garantizar Modalidades de Consumo y Producción Sostenibles (Organización de las Naciones Unidas [ONU]: Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. Juntos por el Desarrollo, 2016).

A nivel social, el empleo de materiales reciclados, que nos permitan tener una vida dentro de lo que se considera sostenible, sustentable para crear ciudades resilientes que puedan retroalimentarse y autoabastecerse, es un tema que ha sido debatido y propuesto en la reunión de Habitat III (ONU, 2017). Además, permite la generación de nuevos productos y materias primas.

De ser implementados en Ecuador los resultados de la presente propuesta, se promovería el crecimiento



económico sostenido, inclusivo y sostenible en el que se incrementa el trabajo mediante el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos, que también es objetivo de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible.

A nivel productivo, el manejo óptimo de desechos, que puede converger con otras industrias, impulsará indirectamente el desarrollo de la matriz productiva y energética de nuestros países, lo que a nivel económico disminuye el coste de producción y por lo tanto incrementa la rentabilidad de la inversión.

El presente trabajo también contribuye a favorecer las políticas públicas a favor del reciclado y el uso de materiales reciclados por parte de las diferentes empresas productivas.

Conclusiones

El presente estudio responde a la necesidad de tecnología accesible, rentable y limpia para el aprovechamiento de residuos lignocelulósicos en el proceso de obtención de etanol y derivados de los procesos fermentativos de los diferentes azúcares y subproductos que se obtienen a partir de la degradación de la celulosa. El empleo de crudos enzimáticos podría efectivamente disminuir del coste de la tecnología y aumentar el volumen de los productos que se deseen obtener.

El establecimiento de una tecnología enzimática mediante la incorporación al diseño industrial de una tecnología de producción in situ de enzimas para descomponer los desechos biomásicos en un contexto de diversificación del producto es una propuesta interesante por la generación de nuevos catalizadores e instalaciones tecnológicas que respondan a las necesidades técnicas y sociales.

La ejecución de un proyecto de la magnitud y trascendencia planteada requiere del trabajo colaborativo de la comunidad científica, aunando experiencias, conocimiento y capacidades para alcanzar los objetivos planteados.

Referencias bibliográficas

Adsul, M.G., Ghule, J.E., Singh, R., Shaikh, H., Bastawde, K. B., Gokhale, D.V., y Varma, A.J. (2004). Polysaccharides from bagasse: applications in cellulase and xylanase production. *Carbohydrate Polymers*, 57, 1, 67-72. doi:10.1016/j.carbpol.2004.04.001.

Albernas-Carvajal, Y., Corsano, G., Morales-Zamora, M., González-Cortés, M., Santos-Herrero, R., y González-Suárez, E. (2014). Optimal design for an ethanol plant combining first and second-generation technologies. *CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro*, 5 (5), 97-120.

Álvarez Castillo, A., García Hernández, E., Domínguez Domínguez, M.M., Granados Baeza, J.M., Aguirre Cruz, A., Carmona García, R., Mendoza Martínez,

A.M. (2012). Aprovechamiento integral de los materiales lignocelulósicos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 13 (4), 141-150.

Antunes, A., Pereira, N., y Ebole, M. F. (2006). *Gestão em Biotecnologia*. (1ra. Ed.) Rio de Janeiro: E-papers.

Ballesteros, M., Dominguez, J., Negro, M., Manzanares, P., y Ballesteros, I. (2004). Ethanol from lignocellulosic materials by a simultaneous saccharification and fermentation process (SFS) with *Kluyveromyces marxianus* CECT 10875. *Process Biochemistry*, 39, 1843-1848. doi: 10.1016/j.procbio.2003.09.011.

Barriga, D. (2011). Posibilidades de recirculación de enzimas celulolíticas en la hidrólisis del bagazo de caña de azúcar. (Trabajo de Diploma). Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba.

Breuil, C., Chan M., y Saddler, J. N. (1990). Comparison of the hydrolytic activity of commercial cellulase preparations. *Applied Microbiology Biotechnology*, 34, 31-35. doi: 10.1007/BF00170919

Brown, G., Barois, I., y Lavelle, P. (2000). Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. *European Journal of Soil Biology*, 36, 177-198. doi: 10.1016/S1164-5563(00)01062-1.

Castro, F. (1993) Discurso pronunciado durante la Inauguración del Centro de Biofísica Médica.

Concepción, D. y González, E. (2013). La gestión del conocimiento en el vínculo universidad- empresa para el desarrollo local y territorial. V Conferencia de la Ciencias Sociales y Humanísticas.

De Vries R. P. y Viser, J. (2001). *Aspergillus* enzymes involved in degradation of plant cell wall polysaccharides. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 65, 497-552.

Foreman, P. K. (2003). Transcriptional regulation of biomass degrading enzymes in the filamentous fungus *Trichoderma reesei*. *J. Biol. Chem.* 278, 31988-31997.

Funes R. (2005). *História Ambiental na América Latina*. Belo Horizonte. *Varia Historia*. Vol 21.33

Ghose, T., y Bisaria, V. (1987). Measurement of Hemicellulase Activities. *Pure & Appl. Chem.* Vol. 59, No.12, pp. 1739—1752. Great Britain. Part 1: Xylanas.

Gusakov A. V. (2011). Alternatives to *Trichoderma reesei* in biofuel production. Cell Press. Department of Chemistry, M. V. Lomonosov Moscow State University, Vorobyovy Gory 1/11, Moscow 119991, R.

Han, L., Feng, J., Zhu, C. y X. Zhang. (2009). Optimizing cellulase production of *Penicillium waksmanii*

F10-2 with response surface methodology. *African Journal of Biotechnology*. 8 (16), pp. 3879-3886.

Herrera-García, M. (2011). Capacidad celulolítica de hongos existentes en la naturaleza para degradar residuos lignocelulósicos. (Tesis de diploma). Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba.

Hoa P., Thi, Q., Nghiem, N. (2010). Optimization of endoglucanase production by *Aspergillus niger* VTCC-F021. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 6. 4151-5157.

Kovacs, K., Szakacs, G., Zacch, G.(2009). Enzymatic hydrolysis and simultaneous saccharification and fermentation of steam-pretreated spruce using crude *Trichoderma reesei* and *Trichoderma atroviride* enzymes. *Process Biochemistry*. 44, 1323–1329

Lynd, L. R., Wyman, C. E., y Gerngross, T. U. (1999). Biocommodity engineering. *Biotechnol. Prog.* 15, 777–793.

Lynd, L.R., Weimer, P. J., van Zyl, W. H., y Pretorius, I. (2002). Microbial Cellulose Utilization: Fundamentals and Biotechnology. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.*, 66 (3), 506.

Mesa, L, González, E., Morales, M., Castro, E., Cara, C., y Kafarov, V. T., (2009). Technico-Economic Evaluation of Alternatives for Assimilation of ethanol production technology from sugar cane bagasse. Congreso de Medio Ambiente y Biocombustibles. Dubrovnik, Croatia.

Mesa, L., González, E., Cara, C., Ruiz, E., Castro, E., y Mussatto, S. (2010). An approach to optimization of enzymatic hydrolysis from sugarcane bagasse based on organosolv pretreatment. *Journal Technical Bioethnology*. 85, 1092-1098.

Morales, M., Verelst, H., Mesa, L., y González, E. (2010). Simulation of furfural production process for revamping with ethanol technology from lignocellulosic residuals. *Chemical Engineering Transactions*. 21, 967-972. doi: 103303/CET 1021162.

Mussato, S.I., y Teixeira, J. A. (2010). Lignocelulose as raw material in fermentation processes, Current Research, Technology and Education Topics. *Applied Microbiology and Microbial Biotechnology*, 2, 897-907.

Nwodo-Chinedu, S. y Okochi, V. I. (2011). Cellulase Production by wild-type *Aspergillus niger*, *Penicillium chrysogenum* and *Trichoderma harzianum* using waste cellulosic materials. *Journal of Science*. 13, no. 1

Nwodo-Chinedu, S., Okochi, V. I., Smith, H., Okafor, U., Onyegeme-Okerenta, B. M. y Omidiji, O.(2007). Effect of carbon sources on cellulase (EC 3. 2. 1. 4) production by *Penicillium chrysogenum* PCL50. *Afri-*

can Journal of Biochemistry Research. 1 (1), 006-010.

Organización de las Naciones Unidas, ONU. (2016) Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. Juntos por el Desarrollo.

Organización de las Naciones Unidas, ONU. (2017) Nueva Agenda Urbana. Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible (Hábitat III). Recuperado de <http://habitat3.org/the-new-urban-agenda>

Ramos, L. P., Breuil, C., Kushner, D. J. y Saddler, J. N. (1992). Steam pretreatment conditions for effective enzymatic hydrolysis and recovery yields of *Eucalyptus viminalis* wood chips. *Holzforschung - International Journal of the Biology, Chemistry, Physics and Technology of Wood*, 46(2), 149-154. doi:10.1515/hfsg.1992.46.2.149

RICYT. (2015). El Estado de la Ciencia. Principales Indicadores de Ciencia y Tecnología Iberoamericanos/Interamericanos. Red de indicadores de Ciencia y Tecnología.

Ryu, D. y Mandels, M. (1980). Cellulases: Biosynthesis and applications. *Enzyme and Microbial Technology*. 2. 91-102. doi: 10.1016/0141-0229(80)90063-0

Salvador, C. A., Destain, J., Rojas, M., Vásquez, E., y Paz-y-Miño, C. (2011). Producción de actividades enzimáticas por el intestino de *Eisenia foetida* (Annelida: Clitellata: Haplotaxida) *Revista Ciencia*. 14, 2, 191-198

Salvador, C. A., Rojas, M., Jaramillo-Kouperman, G., Yépez, L., Suárez, J. P., Mesa, L., y Paz-y-Miño, C. (2012). Búsqueda de bacterias con actividad EC 3.2.1.4 (endo-1,4- beta-glucanasa) en *Eisenia foetida* (Oligochaeta, Lumbricidae). *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas*.

Sarrouh, B. F., Jover, J., y González, E. (2005). Estudio de la hidrólisis del bagazo con ácido sulfúrico concentrado utilizando dos variantes de una sola etapa y una sola etapa modificada para la obtención de etanol y análisis técnico-económico de dicho proceso. *Ingeniería e Investigación*, 25 (3), 34-38. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092005000300005&lng=en&tlng=es.

Sims, R.E.H. (2010). An overview of second generation biofuel technologies. *Bioresour. Technol.*. 101, 1570–1580.

UNESCO.(1997). Simposio sobre las repercusiones sociales de la revolución científica y tecnológica.

Valdés, C., Hernández, L., Pimentel, L., López, N., Flores, M., (2004). Problemas Sociales de la Ciencia y la Tecnología. Selección de lecturas. La Habana, Cuba: Editorial Félix Varela.

Uso de suelos calcinados para minimizar la eutrofización mediante adsorción de fosfatos en Chone, Ecuador

Use of calcined soils to minimize eutrophication through adsorption of phosphates in Chone, Ecuador



Palacios Orejuela Iván Fernando
Estudiante de noveno nivel ESPE
e-mail: ifpalacios@espe.edu.ec



Carrera Villacrés David Vinicio
Docente ESPE
e-mail: dvcarrera@espe.edu.ec



Ushiña Huera Dennis Paúl
Estudiante de noveno nivel ESPE
e-mail: dpushiña@espe.edu.ec

Resumen

Los fosfatos presentes en la Presa Multipropósito Chone han ocasionado problemas de eutrofización en la cuenca del río Grande que provoca afectaciones del tipo social, ambiental y económico para la zona. Una solución es el uso de tecnosoles que son suelos propios de lugar a los cuales se les adiciona elementos ajenos para mejorar su capacidad de remoción de un contaminante específico, sin embargo, este estudio se basó únicamente en la modificación del suelo de Chone mediante su calcinación y así simular un tecnosol capaz de remover fosfatos en soluciones acuosas mediante su calcinación, proceso que provoca un cambio en las propiedades físicas y químicas al tiempo de volatilizar los compuestos orgánicos presentes. Para esto, se realizó una disolución con concentración de 1.25 mg/L de fosfato monobásico de potasio, semejante a la concentración presente en el río. Las concentraciones del adsorbato contenidas en el agua ya filtrada a través del suelo modificado fueron medidas con espectrofotómetro en 4 sesiones continuas a intervalos de 2 horas, la máxima adsorción fue del 92% al cabo de 7 horas de filtrado; la cinética de la adsorción estuvo dada por una reacción de primer orden, además, se obtuvo un mejor ajuste con la isoterma de Langmuir que representó una adsorción en monocapa de fosfatos. Se modeló el comportamiento de la adsorción del fosfato en software libre con el que se estimó un tiempo de saturación del adsorbente de 14 horas. Como conclusiones del trabajo se tiene que los valores de adsorción de fosfatos son mayores con el suelo modificado (92%) que con el suelo natural (40.05%); la calcinación del suelo proporcionó una reactividad de los compuestos férricos presentes en el adsorbente con un incremento de su área superficial, intercambio catiónico y por ende una mayor adsorción del contaminante.

Palabras clave: *compuestos férricos; fosfato monobásico de potasio; isoterma de Langmuir; tecnosoles*

Abstract

The phosphates present in the Presa Multipropósito Chone have caused eutrophication problems in the Rio Grande basin, causing social, environmental and economic impacts for the area. One solution is the use of technosols, which are soil added with foreign elements to improve their ability to remove a specific contaminant. However, this study was based on the modification of the Chone soil and thus simulated a technosol able of removing phosphates in aqueous solutions through its calcination, process that causes a change in the physical and chemical properties at the time of volatilizing the organic compounds present. For this, a solution with concentration of 1.25 mg/L of potassium phosphate monobasic was done, similar to the concentration present in the river. The concentrations of the adsorbate contained in the water already filtered through the modified soil were measured with a spectrophotometer in 4 continuous sessions at intervals of 2 hours, the maximum adsorption was 92% after 7 hours of filtering; the kinetics of the adsorption was given by a first-order reaction, in addition, a better fit was obtained with the Langmuir isotherm, which represented an adsorption in monolayer of phosphates. The behaviour of the adsorption of phosphate was modelled using free software, which was estimated an adsorbent saturation time of 14 hours. As conclusions of the work, phosphate adsorption values are higher with modified soil (92%) than with natural soil (40.05%); the calcination of the soil provided a reactivity of the ferric compounds present in the adsorbent with an increase in its surface area, cation exchange and therefore a greater adsorption of the contaminant.

Keywords: *ferric compounds; potassium phosphate monobasic; langmuir isotherm; technosols*

Introducción

El clima en la región costa ecuatoriana está marcado por una época seca y una lluviosa, esta última caracterizada por el fenómeno de El Niño, que provoca inundaciones en la parte baja de las cuencas de los ríos. La zona de estudio, localizada en Chone, provincia de Manabí sufre de inundaciones, con un registro aproximado de 3500 mm para el 2014 según datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2014), en especial en el cauce del Río Grande, razón por la cual se construyó la Presa Multipropósito Chone (PMCH) inaugurada el 24 de noviembre del 2015, cuyo fin es evitar el crecimiento del río en temporada lluviosa y dotar de agua en la estación seca a aproximadamente 7000 ha (Carrera, Crisanto, Guevara y Maya, 2015). Sin embargo, esta presa ocasionó problemas de eutrofización de tipo hipertrófica en el río (Calvopiña y Vilela, 2017), lo que conllevó un impacto social, ambiental y económico a los poblados que se ubican en su rivera.

Como soluciones ante este problema, se han desarrollado nuevas técnicas en las que se utilizan tecnosoles, que son suelos extraídos del lugar a remediar para su posterior alteración por el hombre, caracterizados por la presencia de artefactos adicionados de forma técnica (Bolaños, Verde, Macías-García, Antelo y Macías, 2014). Para que se denomine propiamente como tecnosol debe existir la adición de elementos ajenos al suelo (>30%) (Bolaños, 2014), caso contrario, si solo se alteran las propiedades del mismo, se trata de un suelo modificado. La calcinación es un cambio de las propiedades físicas y químicas mediante el incremento de la temperatura, en el que se volatilizan los compuestos orgánicos del suelo (Méndez, 2016).

Los suelos de Chone han despertado interés por el estudio de las problemáticas ya mencionadas como en trabajos realizados por (Carrera, Guevara, Maya y Crisanto, 2015) y (Calvopiña y Vilela, 2017) en los cuales ya se establece una caracterización de estos sustratos, como su densidad, porosidad, conductividad eléctrica (CE), pH entre los principales. Según Carrera, Guevara y Gualichicomín (2014), estos suelos poseen una CE de 0,34 dS m⁻¹ lo que denota una baja salinidad, materia orgánica desde 0,0020% a 0,83% (suelo pobre), densidad entre 0,98 y 1,24 g/cm³ (suelos arcillosos) y una porosidad de 50,6% que hace referencia a una textura franca con un contenido considerable de arcilla.

Los suelos arcillosos calcinados poseen muy buenas propiedades puzolánicas (suelos con SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ mayor al 70%, muy resistentes y compactos) (Castillo, et al., 2010), con formas amorfas de mucha reactividad. Además, las elevadas temperaturas favorecen el endurecimiento por sedimen-

tación de los compuestos férricos (Llorente, 2002). A estos compuestos se les atribuye un comportamiento adsorbente (Castaño y Arroyave, 1998), para amplias cantidades de metales traza y fosfatos; esta adsorción está influenciada por la presencia de diferentes formas de hierro en cantidades variables, por el pH, materia orgánica, entre otras propiedades del suelo (Acevedo, Ortiz, Cruz-Sánchez y Cruz-Chávez, 2004). Los compuestos férricos, en especial los oxidados son anfóteros, con respecto a la reacción con los iones H⁺ y OH⁻, y a valores de pH ácido promueven el incremento de la carga positiva (Prato, et al., 2013), sumado a la elevada superficie específica incrementan la adsorción de aniones como fosfatos, silicatos y ciertos metales (Acevedo, et al., 2004). En suelos ácidos tanto el hierro como el aluminio están presentes en cantidades considerables (ya sea parte de la solución del suelo o como iones intercambiables), en estos sustratos existe gran fijación de fósforo que se debe a la formación de compuestos complejos de hierro y aluminio (Acevedo, et al., 2004; Prato, et al., 2013; Sanguino, 1961).

Con lo señalado anteriormente, los objetivos de este estudio fueron realizar una modificación de las propiedades físicas del suelo de Chone mediante su calcinación, analizar el tipo de isoterma (Langmuir y Freundlich) que mejor exprese su comportamiento y determinar el tiempo requerido para alcanzar el punto máximo de remoción del adsorbato por el adsorbente con el fin de conseguir un suelo modificado capaz de adsorber fosfatos disueltos en solución acuosa de forma semejante a las condiciones de Río Grande para evitar la eutrofización en la parte baja de la cuenca.

Materiales y métodos

Modificación física del suelo

Los suelos fueron muestreados acorde a la norma mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2002), a partir de los resultados obtenidos por (Calvopiña y Vilela, 2017) donde establecen la aptitud de los suelos para retener fósforo mediante propiedades físicas y químicas de los perfiles muestreados, el perfil seleccionado fue el M16. Los parámetros químicos medidos en los laboratorios de Agrocalidad (Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro) fueron: cantidad de fósforo, aluminio, capacidad de intercambio catiónico (CIC), acidez intercambiable y retención de fósforo cuyos valores se muestran en la Tabla 1, de igual forma la Tabla 2 presenta los valores obtenidos para las propiedades físicas del perfil seleccionado.

El tratamiento posterior de la muestra consistió en el secado mediante luz solar por tres días, su triturado y tamizado (tamiz N° 10) para tener un tamaño

de partícula uniforme. Posteriormente, se calcinó 50 g. del suelo con la ayuda de un crisol de pedernal y una mufla a temperatura máxima de 600 grados Celsius durante 20 minutos.

Tabla 1. Propiedades físicas del perfil M16

Humedad %	Densidad aparente g. (cm ³) ⁻¹	Densidad real g. (cm ³) ⁻¹	Porosidad %	Textura
47,49	1,04	2,1	50,4	arcilla

Fuente: (Calvopiña y Vilela, 2017)

Tabla 2. Propiedades químicas del perfil M16

pH	3,74
Fósforo (mg.L ⁻¹)	< 3,6
Acidez Intercambiable cmol.kg ⁻¹	16
Aluminio Intercambiable cmol.kg ⁻¹	3,4
K cmol.kg ⁻¹	0,24
Ca cmol.kg ⁻¹	3,44
Mg cmol.kg ⁻¹	13,6
Na cmol.kg ⁻¹	0,82
Bases totales cmol.kg ⁻¹	18,1
Retención de Fósforo %	54,6

Fuente: (Calvopiña y Vilela, 2017)

Contaminación del agua sintética

La concentración de fosfatos presente en las aguas del Río Grande fue simulada a través de una solución de 1,25 ppm de fosfato de potasio monobásico (Calvopiña y Vilela, 2017); posteriormente, se colocó el agua sintética (agua con fosfato) en un envase plástico de 0,5 L en donde se instaló una manguera de venoclisis (suero).

Montaje del experimento

El suelo calcinado fue depositado al interior de un tubo PVC de 1 pulgada de diámetro, con un tamiz elaborado de nylon y papel filtro colocado en uno de sus extremos. En la parte superior de un soporte universal se instaló el envase plástico con agua sintética, en la mitad el tubo PVC con el suelo en su interior, ambos conectados mediante la manguera de venoclisis que permitió mantener un caudal constante. El agua filtrada se recolectó en un vaso de precipitación ubicado en la parte baja del soporte, (Fig. 1). Se tomaron muestras de 0,025 L del agua filtrada a diferentes intervalos de tiempo, la concentración de fosfatos de cada una de las muestras se midió con un espectrofotómetro HACH DR 5000TM UV-Vis (programa 490 del Handbook y $\lambda = 880$ nm), según el Método 2340-C del libro Standar Methods de la American Public Health Association (APHA, 2005).



Figura 1. Montaje del experimento.

Fuente: (Calvopiña y Vilela, 2017)

Cinética del proceso y tiempo de vida media

El orden de reacción con respecto a un reactivo, es el exponente de su término de concentración en la ley de velocidad (r), donde la suma de los exponentes es el orden global. Para calcular la concentración de un reactivo que quedará transcurrido en el tiempo, es útil integrar la ecuación (1) de velocidad. (Chang, 2002)

$$\frac{dC}{dt} = -kC^n \quad \text{Ec. (1)}$$

Si (reacción de primer orden), se obtiene la ecuación (2). Donde C_0 es la concentración inicial del reactivo, k es la constante de velocidad, y C es la concentración del reactivo pasado el tiempo t de reacción (Avery, 2002).

$$\ln C = \ln C_0 - kt \quad \text{Ec. (2)}$$

El tiempo de vida media de un reactivo es el tiempo necesario para que reaccione la mitad de su concentración inicial, expresado en la ecuación 3:

$$t = t_{1/2} \Rightarrow [A] = \frac{[A]_0}{2} \quad \text{Ec. (3)}$$

Isotermas

La adsorción es la remoción por adherencia, cuando existe una interacción de tipo químico entre el adsorbente (suelo modificado) y el adsorbato (fosfato en solución acuosa) (García y Suárez, 2017). Según la naturaleza del enlace de adsorción, esta puede ser física (fisisorción) unidas por fuerzas de Van der Waals, con formación de multicapas en donde el adsorbato conserva su identidad; o química (quimisorción) con enlaces covalentes, formación de monocapas y pérdida de identidad del adsorbato. La isoterma de adsorción es la relación de dependencia, a una temperatura constante, de la cantidad de adsorbato por peso unitario de adsorbente con respecto a la concentración del adsorbato en equilibrio (Servos, 2014).

En este estudio, se enfatizó el uso de las isothermas de Langmuir y Freundlich. La primera explica una adsorción en monocapa mientras que la segunda en multicapa. La isoterma de Freundlich se expresa de la siguiente forma:

Donde q es la cantidad de adsorbato (mg) por peso unitario de adsorbente (g); K es la constante de adsorción de Freundlich (mg/g); C es la concentración del adsorbato (mg/L) (Perez, 2002). Por su parte la isoterma de Langmuir se expresa de la siguiente manera:

Donde q es la cantidad de adsorbato (mg) por peso unitario de adsorbente (g); K es la constante de equilibrio de Langmuir (L/mg) (Perez, 2002).

Modelación de la adsorción de fosfatos

El proceso de modelamiento sirve para simular o describir el comportamiento de un sistema real complejo mediante ecuaciones para representar las relaciones entre las variables acorde a teorías y principios físicos, químicos implicadas en la adsorción de fosfatos (Bal-seiro, Petra y Monterroso, 2015).

Resultados y discusión

Concentración de fosfatos

En total se tomaron 4 muestras del agua sintética filtrada, a intervalos de aproximadamente 2 h. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 3. Las concentraciones muestran una reducción de aproximadamente la mitad en cada una de las alícuotas analizadas, hasta alcanzar las 7 h. de filtrado, punto después del cual se satura el suelo y las concentraciones vuelven a incrementarse. La remoción de fosfato alcanzó un 92% (ver Fig. 2), una mejora considerable en comparación al 40,05% de remoción del suelo sin modificación alguna, resultado que se obtuvo en el trabajo de (Calvopiña y Vilela, 2017) con el mismo suelo, resultado similar a lo obtenido en (Barzallo, Bayas, Yáñez y Carrera, 2016). Este porcentaje (92%) es semejante a los registrados en (Bolaños, 2014) y (Velázquez y Caballero, 2014) quienes usan tecnosoles para la adsorción de fosfatos en cuerpos de agua. Además se puede relacionar que el bajo contenido de materia orgánica, el pH y el contenido de óxidos de hierro y aluminio promueven una mejora en la adsorción de iones fosfatos como lo demostró (Prato, et al., 2013).

Tabla 3. Concentraciones de fosfato obtenidas a los diferentes intervalos de tiempo

Tiempo (h)	Concentración (ppm)
0	1,25
3	0,61
5	0,27
7	0,1
9	0,14

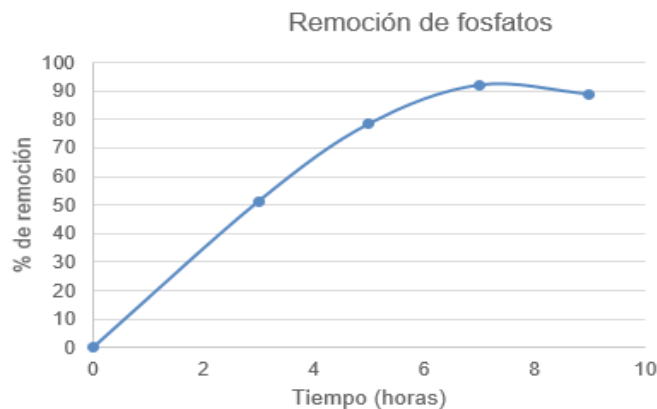


Figura 2. Curva de remoción de fosfatos.

El suelo analizado presentó un color rojizo, lo que denota la presencia de compuestos férricos, en especial óxidos de hierro, los cuales modifican la carga eléctrica, las propiedades de superficie y aumentan la capacidad amortiguadora del suelo (Acevedo, et al., 2004). Dichos compuestos fueron activados con la manipulación de la temperatura, lo que permitió adsorber los fosfatos presentes en el agua. El rol que cumple la temperatura se relaciona con la tasa de adsorción del ión en el suelo, ya que, al incrementar la temperatura aumenta también la adsorción (Barrow, 1992; Silva, 2011), además, con la elevación de la temperatura los óxidos de hierro comunes se pueden transformar en diversos compuestos, como la magnetita (Taylor, 1990), los cuales por su cristalización presentan mayor área superficial con lo que aumentan la capacidad de adsorción de fosfatos suelo (Acevedo, et al., 2004).

Cabe destacar que los suelos ácidos, aproximadamente desde pH 6,5 permite el rompimiento de la estructura de los minerales arcillosos y en consecuencia, se libera Al y Fe que reaccionan con el fósforo y se precipita como fosfatos insolubles, como mencionan Sanguino (1961) y Ramírez, Rendón, Acevedo (2011), lo cual concuerda con el trabajo de (Sanyal, De Datta y Chan, 1993) quienes mencionan que, en suelos con pH bajos la adsorción máxima de fósforo se correlaciona con la presencia de minerales de arcillas donde el hierro y aluminio son altas. En este caso se puede inferir que, el pH del suelo bajo estudio tiene una gran significancia en el resultado de la adsorción final de fosfatos.

Cinética del suelo modificado

Se calculó los diferentes órdenes de reacción para el proceso realizado y se escogió el que mejor coeficiente de correlación (R^2) presentó. Los órdenes de correlación se indican en la Tabla 4. Un $R^2 = 0,8962$ a mejor cinética que se encuentra descrita por una ecuación de primer orden (Ec.6), donde t es el tiempo $[A]_t = t$ y la concentración.

$$[A]_{t=t} = -0,2821t + 0,1843 \quad \text{Ec. (6)}$$

Tabla 4. Valores de R² para cada orden de reacción

Orden de reacción	R ²
Cero	0,8721
Primero	0,8962
Segundo	0,7257
Tercero	0,5278

Así la velocidad de reacción es directamente proporcional a la concentración del reactante (fosfato), es decir que, mientras mayor sea la concentración de fosfatos, mayor será la velocidad de reacción (adsorción). La gráfica para la ecuación de primer orden se muestra en la Fig. 3.

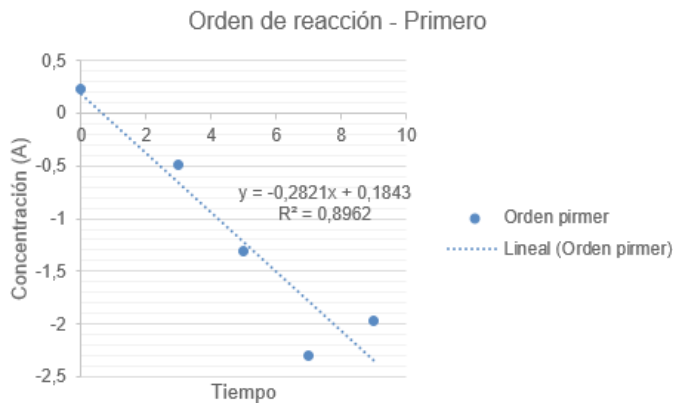


Figura 3. Orden de reacción de primer orden. Elaborado por: autores

El tiempo que tardaron en reaccionar las partículas del suelo en empezar a adsorber fosfatos (tiempo de vida media) fue de 2,46 h. en base al concepto dado en la ecuación 3, que representó la adsorción del contaminante al entrar en contacto con el suelo, resultado que concuerda con los trabajos de (Ayres, 1934; Davis, 1914 y Hance, 1933), quienes comprobaron que de 1 a 4 horas casi todo el fósforo fue fijado por el suelo.

Isotermas de Adsorción

A partir de los valores de la Tabla 3 y los calculados para la concentración de adsorbato, se obtuvo la isoterma de la Langmuir como se puede ver en la Fig. 4 con un R²=0,9482 con su respectiva ecuación en (Ec.7).

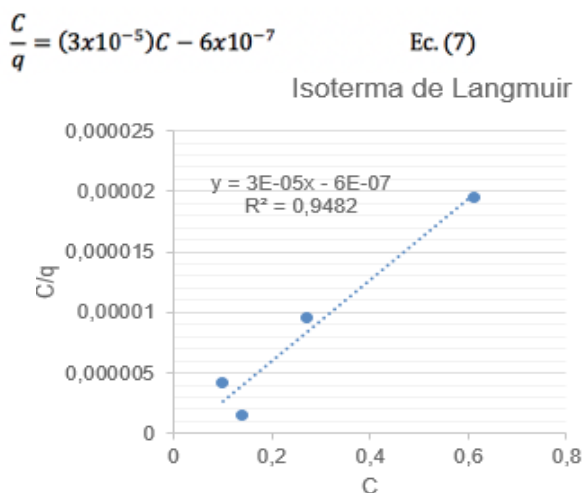


Figura 4: Isoterma de Langmuir.

Del mismo modo, se calculó la isoterma de Freundlich R²=0,9183 con un y su ecuación final (Ec.8) representada en la Fig. 5.

$\log(q) = -0,3237 \log(C) + 4,7625$ Ec. (8)

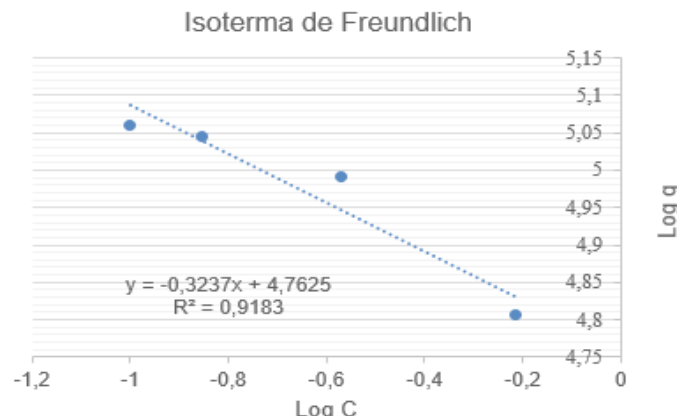


Figura 5: Isoterma de Freundlich.

En función a los coeficientes de correlación, el mejor ajuste fue con la Isoterma de Langmuir (R²=0,9482), esto implica una adsorción química en la cual se restringe a una monocapa y no existen interacciones laterales entre las moléculas del adsorbato (Perez, 2002). La diferencia entre los ajustes de ambas isotermas no es significativa, debido a que el ajuste con Freundlich es bueno (R²=0,9183), es decir, el proceso también mantiene un comportamiento de adsorción física en concordancia al tratamiento (calcinación) aplicado al suelo.

Modelamiento de la adsorción de fosfatos

El modelamiento se realizó en el software libre Vensim PLE 7.0, que permitió visualizar el tiempo al cual el suelo modificado se saturó con los fosfatos presentes en el agua. El diagrama del modelo matemático se observa en la Fig. 6. Las constantes usadas para el modelamiento con sus valores respectivos son:

- **C₀** (concentración inicial del fosfato en el agua): 1,25 mg/L
- **Q_v** (caudal volumétrico): 0,011 L/h
- **A** (suelo modificado): 50 g
- **K** (constante de velocidad): 0,2821
- **C_e** (concentración máxima adsorbida de fosfato en las mediciones)
- **qt** (fosfato en el suelo modificado) valor inicial: 0 mg/g.

Mientras las variables calculadas están dadas de la siguiente forma:

- q_e (constante de equilibrio):

$$q_e = \frac{C_o - C_e}{A} \quad \text{Ec. (9)}$$

- Q_m (flujo másico):

$$Q_m = \frac{C_o * Q_v}{A} \quad \text{Ec. (10)}$$

- fosfato en el agua (P agua) (concentraciones de la solución filtrada):

$$P \text{ en el agua} = Q_m - \text{adsorción} \quad \text{Ec. (11)}$$

- adsorción:

$$\text{adsorción} = K * (q_e - q_t) \quad \text{Ec. (12)}$$

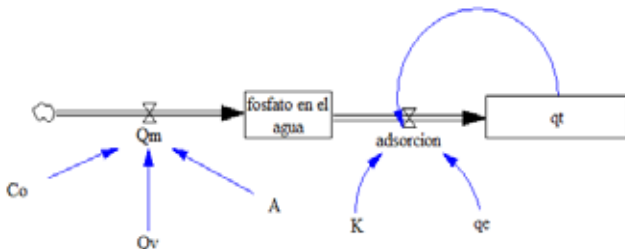


Figura 6: Diseño del modelo matemático del fosfato en el suelo modificado.

Como resultado del modelo se obtuvo la concentración de fosfato en el suelo calcinado vs. el tiempo (Fig. 7) donde se observó que éste se satura completamente al cabo de 14 h. de filtrado, con una constante de equilibrio de 0,00058 (APHA, 2018) mg/g representada en la asíntota, correspondiente a la mayor adsorción de fosfato (1,15 mg/L).

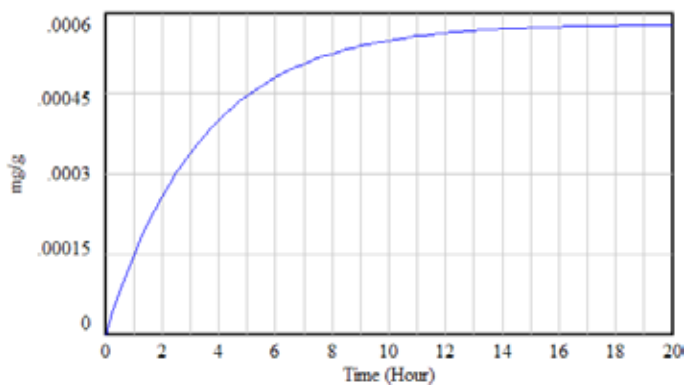


Figura 7: Comportamiento del fosfato en el tiempo.

El comportamiento del fosfato en el suelo modificado, permite predecir el tiempo que tardará el sustrato en saturarse y así establecer los tiempos de trabajo adecuados con el suelo calcinado.

Conclusiones

La calcinación del suelo para remover fosfatos de soluciones acuosas demostró ser un método eficiente con un 92% de retención. Debido a las características que presenta el suelo de esta zona de Chone, en especial por su pH ácido, baja concentración de materia orgánica y a la presencia de compuestos férricos, que luego de la calcinación incrementan su área superficial y la capacidad de intercambio

catiónico; el método utilizado mejoró la aptitud del suelo para adsorber fósforo. El replicar el método en posteriores estudios con distintos tipos de sustrato permitirá ampliar su campo de aplicación.

El tiempo requerido para alcanzar el punto máximo de remoción fue de aproximadamente 7 h., debido a la naturaleza arcillosa del suelo; la calcinación implicó cambios físicos y químicos en las propiedades del suelo, lo que se demostró con los valores de ajuste obtenidos en las isotermas de Langmuir y Freundlich con adsorciones en monocapa y multicapa respectivamente.

El modelo matemático demostró que el comportamiento del fosfato adsorbido por el suelo modificado se saturará en un tiempo de 14 h. de filtración continua con un $0,00058$ mg/g como máxima relación de adsorción, lo que permite estimar tiempos de trabajo para su aplicación en campo.

Referencias bibliográficas

Acevedo, O., Ortiz, E., Cruz-Sánchez, M. y Cruz-Chávez, E. (2004). El papel de óxidos de hierro en suelos. *Terra Latinoamericana*, 22(4), 485–497.

APHA. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Vigésimaprimer ed. New York, Estados Unidos: Díaz de Santos, S.A.

Avery, H. (2002). *Cinética Química Básica y Mecanismos de Reacción*. Primera ed. Barcelona, España: Editorial Reverté, S.A..

Ayres, A. (1934). Phosphate fixation in Hawaiian soils. *The Hawaiian Planters' Record*, 38, 131–144.

Balseiro, M., Petra, S. y Monterroso, C. (2015). Leachability of volatile fuel compounds from contaminated soils and the effect of plant exudates: A comparison of column and batch leaching tests. *Journal of Hazardous Materials*, 304, 481–489.

Barrow, N. (1992). A brief discussion on the effect of temperature on the reaction of inorganic ions with soil. *Journal of Soil Science*, 43, 37–45.

Barzallo, L., Bayas, N., Yáñez, G. y Carrera, D. (2016). Propuesta de Tecnosol para retener nitratos en el suelo de Chone. XXI Congreso Latinoamericano y XV Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Quito, Ecuador.

Bolaños, D., Verde, J.R., Macías-García, F., Antelo, J. y Macías, F. (2014). Estudio de la Retención de Fosfatos en un tecnosol. VI Congreso Ibérico del Suelo. Santiago de Compostela, España.

Bolaños, D. (2014). Aplicación de Tecnosoles para la recuperación de suelos y aguas afectadas por ac-



- tividades de obras civiles, urbanas y minería. Tesis Doctoral: Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela, España
- Calvopiña, K. y Vilela, A. (2017). Diseño de tecnosoles para la retención de fosfatos en el agua, de la presa Propósito Múltiple Chone (PPMCH), a partir de muestras de suelos del Cantón Chone, Manabí, Ecuador. Tesis de grado: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Sangolquí, Ecuador.
- Carrera, D., Crisanto, T., Guevara, P. y Maya, M. (2015). Relación entre la composición química inorgánica del agua, la precipitación y la evaporación en la cuenca de Río Grande, Chone, Ecuador. *Enfoque UTE*, 6(1), 25–34.
- Carrera, D., Guevara, P. y Gualichicomín, N. (2014). Caracterización físico-química desde el punto de vista agrícola de los suelos en la zona de riego del proyecto multipropósito Chone. IX congreso de Ciencia y Tecnología ESPE 2014. Sangolquí, Ecuador.
- Carrera, D., Guevara, P., Maya M. y Crisanto, T. (2015). Variations of Species Concentration in Inorganic Water Dam "Purpose Multiple Chone", Ecuador Based on Precipitation, Evaporation and Evapotranspiration. *Procedia Earth and Planetary Science*, 15, 641–646. doi: 10.1016/j.proeps.2015.08.122.
- Castaño, J. y Arroyave, C. (1998). La funcionalidad de los óxidos de hierro. *Revista de Metalurgia - CSIC*, 34(3), 274–280.
- Castillo, R., Fernández, R., Antoni, M., Scrivener, K., Alujas, A. y Martirena, J. (2010). Activación de arcillas de bajo grado a altas temperaturas. *Revista de Ingeniería de Construcción*, 25(3), 329–352.
- Chang, R. (2002). *Química General*. Séptima ed. Madrid, España: McGraw Hill, S.A..
- Davis, L. (1914). Phosphate fixation in Hawaiian soils. *The Hawaiian Planters' Record*, 38, 206–214.
- García, E. y Suárez, M. (2017). Las arcillas: propiedades y usos. Recuperado el 25 de febrero de 2018, de <https://previa.uclm.es/users/higueras/yymm/arcillas.htm#cic>
- Hance, F. (1933). Phosphate fixation in Hawaiian soils. *The Hawaiian Planters' Record*, 37, 182–195.
- INAMHI. (2014). Anuario Meteorológico N° 51-2011. Recuperado el 20 de febrero de 2018, de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/uploads/anuarios/meteorologicos/Am%202011.pdf>.
- Llorente, M. (2002). Formaciones Superficiales. Recuperado el 26 de febrero de 2018, de <http://campus.usal.es/~delcien/doc/FS.PDF>
- Méndez, E. (2016). Validación del método analítico Walkley y Black de materia orgánica en suelos arcillosos, francos y arenosos del Ecuador. Tesis de grado: Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Pérez, A. (2002). Isoterma de Freundlich y Langmuir. Recuperado el 26 de febrero de 2018, de https://www.academia.edu/11381852/Isoterma_de_Freundlich_y_Langmuir
- Prato, J., Ortiz, L., Gómez, R., Millan, F., Palomares, A.E., Sánchez, J. y Díaz, I. (2013). Adsorción de iones fosfatos sobre lechos de carga variable preparados a partir de suelos oxidicos del Municipio Independencia del estado Táchira. XX Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. San Juan de los Morros, Venezuela.
- Ramírez, V., Rendón, L. y Acevedo, L. (2011). Adsorción máxima del fósforo en suelos de la zona andina centro occidental de Colombia. *Suelos Ecuatoriales*, 41(2), 155–163.
- Sanguino, L. (1961). Influencia del pH sobre la fijación de fósforo y su relación con la respuesta del maíz a la fertilización fosfatada. *Revista de la Universidad Nacional de Colombia*, 11(3–4), 187–209.
- Sanyal, S., De Datta, S. y Chan, P. (1993). Phosphate sorption-desorption behavior of some acidic soils of south and southeast Asia. *Soil Science Society of America Journal*, 57(1), 937–945.
- SEMARNAT. (2002). Norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de los suelos. Estudios, muestreo y análisis. Recuperado el 25 de febrero de 2018, de <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf>
- Servos, M. (2014). *Nanotechnology for water treatment and purification*. Primera ed. Londres, Inglaterra: Springer.
- Silva, M. (2011). Adsorción y desorción de fósforo en suelos del área central de la región Pampeana. Tesis Doctoral: Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.
- Taylor, R. (1990). Some observations on the formation and transformation of iron oxides. *Soil Colloids and Their Associations in Aggregates*, 85–103.
- Velázquez, C. y Caballero, W. (2014). Lago Ypacarai, aplicación de tecnosoles antiutrofizantes y reducción de cianobacterias. *Estudios e Investigaciones del Saber Académico*, 8(8), 71–74.

Modelo para dosificación de mezclas de hormigón utilizando lógica difusa

A model for concrete mixture design using fuzzy logic



Santamaria Jorge
Ph.D. en Ingeniería
Docente Universidad Central del Ecuador
e-mail: jsantamaria@uce.edu.ec



Pilaluisa José
Magíster en Ingeniería Informática Empresarial
Docente Universidad Central del Ecuador
e-mail: jpilaluisa@uce.edu.ec



Morales Luis
Magíster en Estructuras y Ciencias de los Materiales
Docente Universidad Central del Ecuador
e-mail: lwmorales@uce.edu.ec

Resumen

El hormigón, mezcla de cemento Portland, agua, y agregados, es comúnmente utilizado en la industria de la construcción con un alto porcentaje de fabricación in-situ. Las proporciones de cada uno de los componentes de la mezcla es de mucha importancia para asegurar la calidad producto (esfuerzo de compresión). Actualmente, varios métodos empíricos para el diseño de mezclas de hormigón son utilizados; sin embargo, éstos son basados en su mayoría en ecuaciones, tablas y/o correlaciones, sin considerarse experiencias pasadas y/o datos experimentales. El presente estudio ilustra la aplicación de la teoría de lógica difusa para desarrollar un modelo que permite estimar las proporciones de los componentes del hormigón al peso, sin utilizar aditivo. Las variables independientes (datos de entrada) seleccionadas fueron las que comúnmente se usan para diseño de mezclas. Datos históricos experimentales y la experiencia del técnico de hormigón fue empleada para la construcción de las funciones de membresía (FMs) y las reglas difusas. El sistema de inferencia lógico (SIL) Mamdani fue escogido para construir el modelo en razón de que éste permite trabajar con varias salidas (relación agua - cemento y agregados). Los resultados indican que el SIL es capaz de estimar las proporciones de una mezcla de hormigón de manera aceptable ($R^2=95.1\%$); sin embargo, el modelo se lo puede mejorar a medida que se disponga de mayor conocimiento del sistema. Además, el modelo puede hacer uso de la información que reposa en archivos y las experiencias personales de los técnicos para la elaboración de modelos particulares para cada proyecto.

Palabras clave: hormigón; diseño de mezclas; lógica difusa; sistema de inferencia lógico tipo mamdani

Abstract

Concrete, a mixture of Portland cement, water and aggregates, is commonly used in the construction industry with high percentage of in-situ fabrication. The proportions of each mixture component is very important to ensure its quality (i.e., compressive strength). Nowadays, several empirical mixture design procedures are utilized; however, the majority of them are based on equations, tables and/or correlations, without considering past experiences and/or experimental data. The present study illustrates the application of fuzzy logic theory for developing a model for estimating concrete mixture proportions by weight, without admixtures. The selected independent variables (input data) were those that are commonly used for concrete mixture design. Historical experimental data and concrete technician's experience were utilized for creating membership functions (FMs) and fuzzy rules. Mamdani fuzzy inference system (SIL) was used for developing the model since this allows to have several outputs (e.g., water - cement ratio and aggregates). The results indicate that the SIL is able to estimate concrete mixture proportions very well ($R^2=95.1\%$); however, the model can be improved as long as new knowledge of the system is available. Furthermore, the model is able to use stored data and technical personal experience in order to develop particular models for each project.

Keywords: concrete; mixture design; fuzzy logic; mamdani fuzzy inference system



Introducción

El hormigón, material resultante de la mezcla de cemento Portland, agua, agregado fino y grueso, es uno de los materiales más utilizados en la construcción de obras civiles no solo en el Ecuador; sino también, a nivel mundial. Neville y Brooks (2010) resaltan que el hormigón es uno de los materiales más populares usados en la industria de la construcción y Ecuador no es la excepción. El incremento del consumo del cemento Portland y del hormigón es evidente durante los últimos años. Datos estadísticos del Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Concreto (INECYC, 2018) corroboran el masivo consumo de cemento Portland para la fabricación de hormigón en el país, siendo de 5'848.238 toneladas métricas en el año 2015.

Además, gran cantidad del hormigón utilizado en un proyecto de obra civil es fabricado manualmente durante su ejecución. Según los resultados de una encuesta realizada en línea a profesionales de la construcción a través de bases de datos de colegios profesionales y academia, más del 70% afirma que más del 10% del hormigón utilizado en un proyecto es fabricado in-situ. Lo cual hace que las proporciones que se utilizan para fabricar hormigón (diseño de mezclas) tengan gran relevancia debido a que éstas garantizarán en gran parte la calidad del producto final, misma que es juzgada a través del esfuerzo de compresión.

En la actualidad existen diversos métodos tanto convencionales como no convencionales para establecer las proporciones de cada uno de los componentes del hormigón; procedimiento conocido como diseño de mezclas. La mayoría de los métodos convencionales son basados en la experiencia personal adquirida y el uso de tablas empíricas. Por ejemplo, el método de diseño de mezclas del American Concrete Institute (ACI) es basado en el uso de tablas desarrolladas empíricamente que permiten establecer la dosificación del hormigón a utilizarse para una determinada resistencia a la compresión requerida; sin embargo, dicho procedimiento no es el más idóneo para ser aplicado en el país considerando que el tipo de cemento y los materiales pétreos utilizados en los Estados Unidos de América y Ecuador difieren unos de otros tanto en características como en calidad.

El método desarrollado y utilizado en el laboratorio de Ensayo de Materiales y Modelos de la Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática de la Universidad Central del Ecuador es conocido como el método de la densidad óptima, y es otra técnica utilizada para dosificar hormigón. A pesar de que este método no ha sido patentado, es comúnmente utilizado para diseño de mezclas de hormigón en

dicho laboratorio. Este procedimiento es basado en el uso de densidades aparentes de los agregados (sueltas y compactadas), densidad real del cemento y densidad óptima de la mezcla de agregados. A pesar de que este procedimiento arroja muy buenos resultados, también basa en el uso de datos empíricos.

Por otro lado, los métodos no convencionales basados en redes neuronales artificiales y lógica difusa han sido explorados por algunos investigadores para diseño de mezclas. Por ejemplo, Sunil et al. (2013) construyó un SIL, basado en el método del ACI, para estimar las cantidades de materiales por cada metro cúbico de hormigón. En este caso se derivaron las FM's de las tablas establecidos por el ACI.

Es necesario indicar que no existe una receta o valores preestablecidos para fabricar hormigones de una resistencia a la compresión especificada. Todos los métodos de diseño de mezclas requieren que se realicen ensayos estándares de resistencia a la compresión a 28 días para verificarlos previo a su uso en la obra. Solamente de esta se podrá asegurar que las proporciones de agua, cemento, arena y ripio, establecidas por un determinado diseño de mezclas, produzcan un hormigón con resistencias reales acorde a los requerimientos del proyecto. Estos resultados experimentales de los ensayos de compresión reposan en los archivos de los diversos laboratorios donde fueron ensayados y no han sido utilizados para inferir nuevo conocimiento.

El presente estudio utiliza la teoría de lógica difusa para estimar la dosificación de una mezcla de hormigón basada en las propiedades de los agregados, trabajabilidad y resistencia deseada. La experiencia adquirida por el laboratorista a través del tiempo, con la ayuda de resultados históricos de diseño de mezclas de hormigón y pruebas de compresión realizadas en cilindros de hormigón, brindaron el conocimiento base necesario para desarrollar un sistema de inferencia lógico (SIL) del tipo Mamdani, modelo capaz de estimar las referidas las proporciones de la mezcla para condiciones específicas.

Metodología

La teoría de lógica difusa fue presentada por primera vez por Zadeh (1965) y es una técnica muy eficiente para entender sistemas complejos no lineales donde no se conocen las funciones matemáticas que los gobiernan (Ross 2010). Como regla general se puede aseverar que mientras más complejo es un sistema, se tiene menor conocimiento del mismo y viceversa. Los sistemas de inferencia lógica (SILs) son basados en el uso de reglas y son mecanismos idóneos para tratar de entender sistemas donde existe falta de conocimiento y precisión. Ross (2010) afirma que un SIL puede ser pensado como

una aproximación de una función matemática que es muy útil modelando sistemas descritos a través del uso de variables lingüísticas. La teoría de lógica difusa no se la debería utilizar cuando se dispone de una función matemática (ecuación) que describa el funcionamiento de un sistema. La teoría de lógica difusa es recomendable cuando se trabaja con sistemas complejos no lineales.

Sistema de inferencia lógico

En un SIL (Fig. 1) se distinguen varios componentes, siendo el Conocimiento Base y el Mecanismo de Inferencia o de Razonamiento los principales. La Fusificación consiste en asignar un valor conocido como grado de membresía a todos los datos de entrada, mismo que es calculado de la denominada Función de Membresía (FM). El Conocimiento Base está compuesto por los datos de entrada y salida y las reglas difusas de la forma if-then. Dicha información es utilizada por el mecanismo de inferencia para predecir la salida del sistema. La etapa de Defusificación es la etapa final del sistema que consiste en obtener un valor preciso (no difuso) como resultante del sistema.



Figura 1. Estructura del Sistema de inferencia lógico (SIL)

Función de membresía (fm)

Una Función de Membresía (MF) de un conjunto difuso es utilizada para asignar a cada elemento de un universo de elementos un valor o grado de membresía comprendido entre 0 y 1. El valor de 0 indica que un elemento no pertenece (no tiene membresía) en un conjunto, mientras que el valor de 1 indica un 100% de membresía. Se pueden considerar diversas formas para las FMs (Fig. 2) como, por ejemplo: triangulares, trapezoidales, y Gaussiana entre las más comunes.

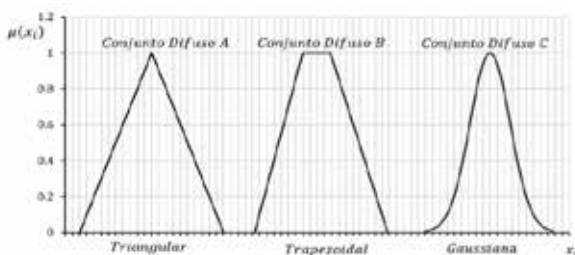


Figura 2. Formas de las Funciones de Membresía (FMs)

La forma triangular (Fig. 3) fue escogida para ser utilizadas en el sistema de inferencia lógico de este estudio en razón de su facilidad de manejo, ya la forma y precisión de una FM no es muy relevante; siempre y cuando una FM represente cada variable de entrada. Las pendientes de los lados del triángulo son utilizadas para calcular el grado de membresía de cada entrada en su respectiva FM.

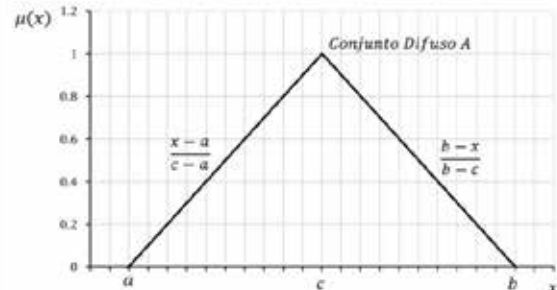


Figura 3. Función de membresía (FM) triangular

La característica principal de una FM es que su altura es igual a 1. Además, una propiedad importante de las FMs es que estas se traslapan unas con otras (Fig. 4), lo que hace posible que cada elemento del universo de discurso pueda tener diferentes grados de membresía en diferentes FMs. Cada curva es una FM correspondiente a diferentes variables.

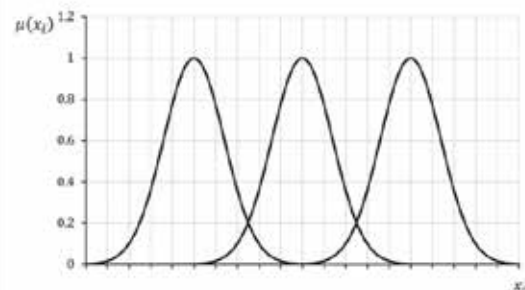


Figura 4. Traslape de las Funciones de Membresía (FMs)

Ross (2010) menciona que existen una variedad de procedimientos para construir o desarrollar una FM entre los que se pueden mencionar los siguientes: intuición, inferencia, ranking, redes neuronales, algoritmos genéticos, razonamiento inductivo y los llamados métodos automáticos. El uso de cualquier método depende del tipo de datos disponibles.

Para este estudio utilizaremos el método Intuitivo donde una FM es construida basada principalmente en el conocimiento del sistema que tiene el analista ganado a través del tiempo. En este caso, el analista es responsable de generar las FMs dentro del contexto y del rango que considere sean representativas. Lo importante es generar un número de FMs (particiones) que representen términos lingüísticos utilizados comúnmente para describir una variable;

por ejemplo, la arena puede ser fina, mediana o gruesa.

Mecanismos de inferencia

Existen tres métodos deductivos que son utilizados frecuentemente para los mecanismos de inferencia por un SIL, basados en reglas de la forma if-then (si-entonces) y estos son: Mamdani (Mamdani y Assilian, 1975; Mamdani, 1977), Sugeno, también conocido como Takagi, Sugeno y Kang (TSK) (Takagi y Sugeno, 1985) y los modelos Tsukamoto (Tsukamoto, 1979). Mamdani es el método de inferencia más utilizado en la práctica, y difiere de los otros dos en que el valor de la salida de cada regla difusa es un conjunto difuso y no un solo valor escalar.

En el presente estudio se utilizó Mamdani como mecanismo de inferencia en razón de que éste permite trabajar con múltiples entradas (antecedentes) y salidas (consecuentes) para diferentes datos de entrada. Para explicar el funcionamiento del mecanismo de inferencia Mamdani usaremos dos variables escalares de entrada X_1 y X_2 y (antecedentes) y el método de inferencia máximo – mínimo (max-min) y una salida Y_1 (consecuente) (Ross, 2010). Este sistema esta descrito por un conjunto de reglas difusas de una colección, de la forma if-then, según la ecuación 1, donde A_{1k} y A_{2k} son los conjuntos difusos para el par de antecedentes k^{th} y B_k es el conjunto difuso que representa el consecuente k^{th} . El método de defusificación utilizado para calcular la respuesta escalar es el método del centroide, conocido como centro de área o centro de gravedad, mismo que consiste en calcular el resultado escalar y^* a través del centro de gravedad del área resultante (ver Fig. 5).

$$\text{IF } x_1 \text{ es en } A_{1k} \text{ y } x_2 \text{ es en } A_{2k} \text{ THEN } y_k \text{ es en } B_k \\ k = 1, 2, 3, \dots, r \quad \text{Ec. (1)}$$

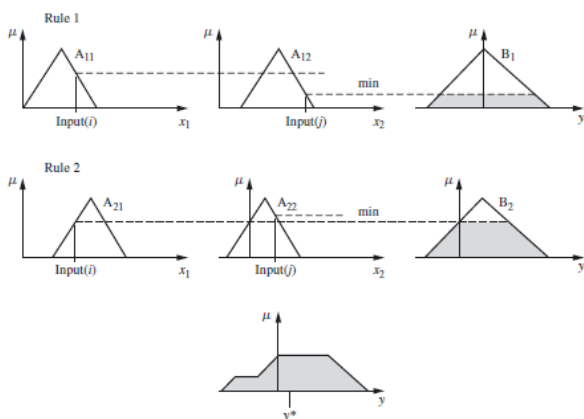


Figura 5. Mecanismo de Inferencia Mamdani (mamin) con salida escalar. Fuente: Ross (2010)

Resultados

Antecedentes

Las variables (antecedentes) consideradas para este estudio fueron aquellas que comúnmente son utilizadas para realizar un diseño de mezclas de hormigón, y estas fueron: el esfuerzo de compresión ($f'c$) en MPa, módulo de finura del agregado fino (MFF), módulo de finura del agregado grueso (MFG), porcentaje de desgaste o abrasión (AB), y el asentamiento deseado o trabajabilidad (A) en cm. Las Fig. 6 – 10 muestran las FMs resultantes que fueron completamente creadas utilizando el conocimiento base adquirido (experiencia del analista) como se mencionó anteriormente.

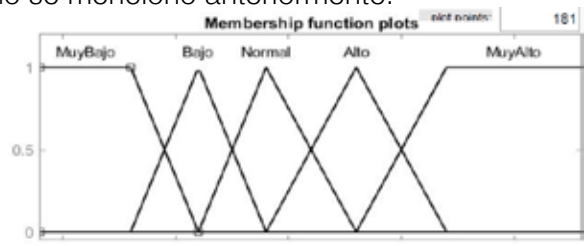


Figura 6. Funciones de membresía para el esfuerzo de compresión: $f'c$ (MPa)

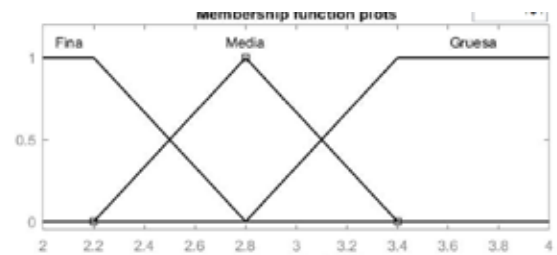


Figura 7. Funciones de membresía para el módulo de finura del agregado fino (MFF)

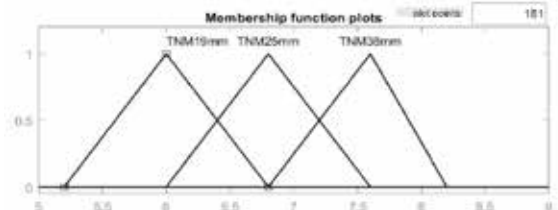


Figura 8. Funciones de membresía para el módulo de finura del agregado grueso (MFG)

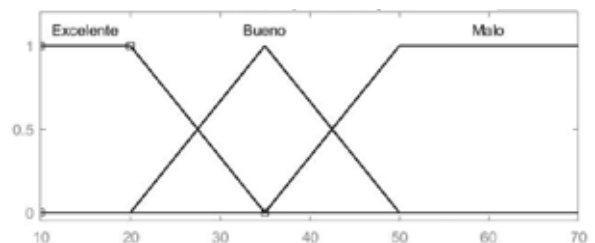


Figura 9. Funciones de membresía para la abrasión: AB (%)

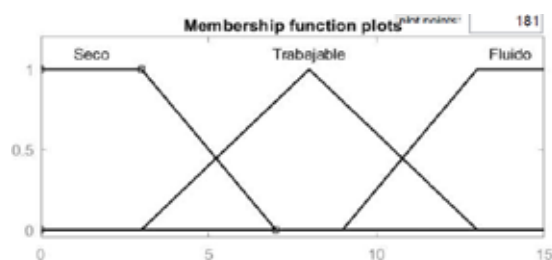


Figura 10. Funciones de membresía para el asentamiento deseado del hormigón: A (cm)

Consecuentes

Las FMs resultantes para las tres salidas (consecuentes): relación agua – cemento (A-C), agregado fino (Arena) y agregado grueso (Ripio), del SIL tipo Mamdani, fueron desarrolladas basadas principalmente en resultados históricos de 147 diseños de mezclas de hormigón facilitados por el Laboratorio de Ensayo de Materiales y Modelos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central del Ecuador (Figs. 11-15). Las salidas o consecuentes mencionados corresponden a los valores de dosificación al peso de hormigón fabricado a mano.

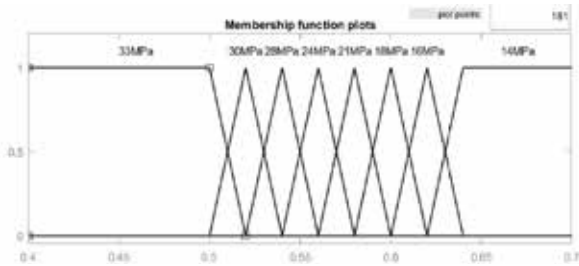


Figura 11. Funciones de membresía para Relación Agua – Cemento (A – C)

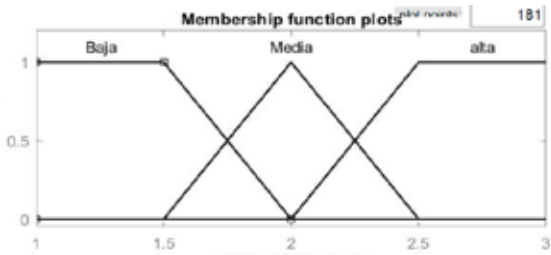


Figura 12. Funciones de membresía para Agregado Fino (Arena)

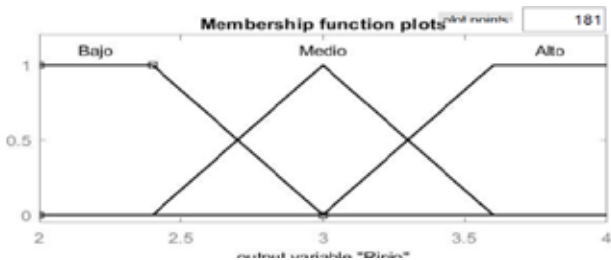


Figura 13. Funciones de membresía para Agregado Grueso (Ripio)

Reglas difusas

Las siguientes son las reglas difusas del tipo: if – then que fueron utilizadas en el SIL Mamdani, mismas que fueron desarrolladas de manera intuitiva basadas en el conocimiento del sistema y en los coeficientes de correlación Pearson con sus correspondientes valores p (Tabla 1). Dichos parámetros estadísticos fueron obtenidos de un análisis de 147 resultados de diseño de mezclas de hormigón y permitieron brindar una ayuda certera para establecer si existe una correlación significativa entre dos variables. Los valores p representan la probabilidad de rechazar la hipótesis nula ($H_0 = 0$) cuando esta es verdadera. En este caso se asumió $p \leq 0.05$. Es-

tos valores representan una guía; sin embargo, el número de reglas difusas no solo dependerá del grado de correlación identificada por el analista o experto entre los antecedentes y consecuentes, sino también de la experiencia del analista como se mencionó anteriormente. Siempre es recomendable trabajar con el menor número de reglas posible.

Tabla 1. Coeficientes de correlación Pearson con sus respectivos valores de p

Variable	f'c	MFF	MFG	AB
MFF	-0.062			
	0.455			
MFG	-0.074	0.114		
	0.376	0.168		
AB	-0.248	-0.075	-0.217	
	0.002	0.365	0.008	
A	-0.086	-0.121	-0.098	0.036
	0.302	0.145	0.239	0.662
A-C	-0.802	0.064	0.102	0.166
	0.000	0.440	0.218	0.044
Arena	-0.407	-0.021	0.168	-0.050
	0.000	0.804	0.042	0.547
Ripio	-0.466	-0.035	0.142	0.066
	0.000	0.670	0.086	0.429

Nota: Cada celda contiene: Correlación Pearson Valor p

En este sentido se construyeron 38 reglas difusas según se indica a continuación:

1. *If* (f'c es Muy Bajo) y (AB es Malo) *then* (A – C es 14MPa) (Arena es alta) (Ripio es Alto)
2. *If* (f'c es Muy Bajo) y (AB es Bueno) *then* (A-C es 14MPa) (Arena es alta) (Ripio es Alto)
3. *If* (f'c es Muy Bajo) y (AB es Excelente) *then* (A-C es 14MPa) (Arena es alta) (Ripio es Alto)
4. *If* (f'c es Muy Bajo) y (AB es Malo) *then* (A – C es 16MPa) (Arena es alta) (Ripio es Alto)
5. *If* (f'c es Muy Bajo) y (AB es Bueno) *then* (A-C es 16MPa) (Arena es alta) (Ripio es Alto)
6. *If* (f'c es Muy Bajo) y (AB es Excelente) *then* (A-C es 16MPa) (Arena es alta) (Ripio es Alto)
7. *If* (f'c es Muy Bajo) y (AB es Malo) *then* (A – C es 18MPa) (Arena es alta) (Ripio es Alto)
8. *If* (f'c es Muy Bajo) y (AB es Bueno) *then* (A-C es 18MPa) (Arena es alta) (Ripio es Alto)
9. *If* (f'c es Muy Bajo) y (AB es Excelente) *then* (A-C es 18MPa) (Arena es alta) (Ripio es Alto)

10. **If** (f'c is Bajo) y (AB es Malo) **then** (A-C es 21MPa) (Arena es alta) (Ripio es Alto)
11. **If** (f'c es Bajo) y (AB es Bueno) **then** (A-C es 21MPa) (Arena es alta) (Ripio es Alto)
12. **If** (f'c es Bajo) and (AB es Excelente) **then** (A-C es 21MPa) (Arena es alta) (Ripio es Alto)
13. **If** (f'c es Normal) y (AB es Malo) **then** (A-C es 24MPa) (Arena es Baja) (Ripio es Bajo)
14. **If** (f'c es Normal) y (AB es Bueno) **then** (A-C es 24MPa) (Arena es Media) (Ripio es Medio)
15. **If** (f'c es Normal) y (AB es Excelente) **then** (A-C es 24MPa) (Arena es Media) (Ripio es Medio)
16. **If** (f'c es Alto) y (AB es Bueno) **then** (A-C es 28MPa) (Arena es Media) (Ripio es Medio)
17. **If** (f'c es Alto) y (AB es Excelente) **then** (A-C es 28MPa) (Arena es alta) (Ripio es Alto)
18. **If** (f'c es Muy Alto) y (AB es Bueno) **then** (A-C es 30MPa) (Arena es Baja) (Ripio es Bajo)
19. **If** (f'c es Muy Alto) y (AB es Excelente) **then** (A-C es 30MPa) (Arena es Baja) (Ripio es Bajo)
20. **If** (f'c es Muy Alto) y (AB es Bueno) **then** (A-C es 33MPa) (Arena es Baja) (Ripio es Bajo)
21. **If** (f'c es Muy Alto) y (AB es Excelente) **then** (A-C es 33MPa) (Arena es Media) (Ripio es Medio)
22. **If** (MFG es TNM 19mm) y (AB es Malo) **then** (Arena es Media)
23. **If** (MFG es TNM 19mm) y (AB es Bueno) **then** (Arena es Baja)
24. **If** (MFG es TNM 19mm) y (AB es Bueno) **then** (Arena es Baja)
25. **If** (MFG es TNM 25mm) y (AB es Malo) **then** (Arena es Alta)
26. **If** (MFG es TNM 25mm) y (AB es Bueno) **then** (Arena es Media)
27. **If** (MFG es TNM 25mm) y (AB es Excelente) **then** (Arena es Media)
28. **If** (MFG es TNM 38mm) y (AB es Malo) **then** (Arena es alta)
29. **If** (MFG es TNM 38mm) y (AB es Bueno) **then** (Arena es alta)
30. **If** (MFG es TNM 38mm) y (AB es Excelente) **then** (Arena es alta)
31. **If** (f'c es Muy Bajo) y (MFF es Media) y (MFG es TNM 38mm) y (AB es Bueno) y (A es Trabajable)
32. **If** (f'c es Muy Bajo) y (MFF is Media) y (MFG es TNM 38mm) y (AB es Bueno) y (A es Trabajable) **then** (A-C es 16 MPa) (Arena es alta) (Ripio es Alto)
33. **If** (f'c es Muy Bajo) y (MFF is Media) y (MFG es TNM38mm) y (AB es Bueno) y (A es Trabajable) **then** (A-C es 18 MPa) (Arena es alta) (Ripio es Alto)
34. **If** (f'c es Bajo) y (MFF es Media) y (MFG es TNM 38mm) y (AB es Bueno) y (A es Trabajable) **then** (A-C es 21 MPa) (Arena es Media) (Ripio es Medio)
35. **If** (f'c es Normal) y (MFF es Media) y (MFG es TNM 25mm) y (AB es Bueno) y (A es Trabajable) **then** (A-C es 24MPa) (Arena es Media) (Ripio es Medio)
36. **If** (f'c es Alto) y (MFF es Media) y (MFG es TNM 25mm) y (AB es Bueno) y (A es Trabajable) **then** (A-C es 28MPa) (Arena es Baja) (Ripio es Bajo)
37. **If** (f'c es Muy Alto) y (MFF es Media) y (MFG es TNM 19mm) y (AB es Bueno) y (A es Trabajable) **then** (A-C es 30MPa) (Arena es Baja) (Ripio es Bajo)
38. **If** (f'c es Muy Alto) y (MFF es Media) y (MFG es TNM 19mm) y (AB es Bueno) y (A es Trabajable) **then** (A-C es 33 MPa) (Arena es Baja) (Ripio es Bajo)

SIL tipo mamdani para diseño de mezclas de hormigón

La Fig. 14 ilustra el SIL tipo Mamdani para estimar las proporciones de una mezcla de hormigón una vez que se han obtenido todos los parámetros necesarios para construirlo. Como se mencionó anteriormente, a cada variable de entrada se le asigna un grado de membresía en su correspondiente FM (defusificación), luego se realiza el proceso de inferencia (reglas difusas) para finalmente calcular una salida escalar (defusificación) a través del cálculo del centro de gravedad del área de intersección resultante (método del centroide).

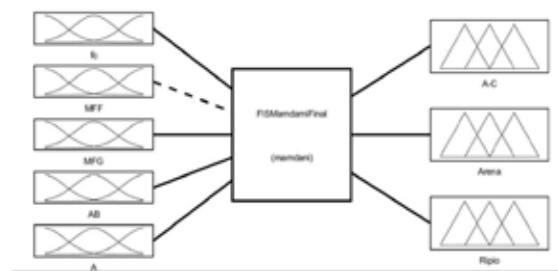


Figura 14. Sistema de inferencia lógico (SIL) para estimar una dosificación de mezclas de hormigón

El modelo resultante para estimar la dosificación de hormigón se encuentra ilustrado en la Fig. 15, mismo que acepta datos de entrada para cada variable y proporciona resultados no difusos (escalares). Las cinco primeras columnas corresponden a los datos de entrada (antecedentes), mientras que las tres columnas finales corresponden a los resultados (consecuentes) de la dosificación al peso de la relación agua – cemento (A-C), del agregado fino (Arena), y del agregado grueso (Ripio). Se debe tener en cuenta que el valor correspondiente al cemento (C) es la unidad.

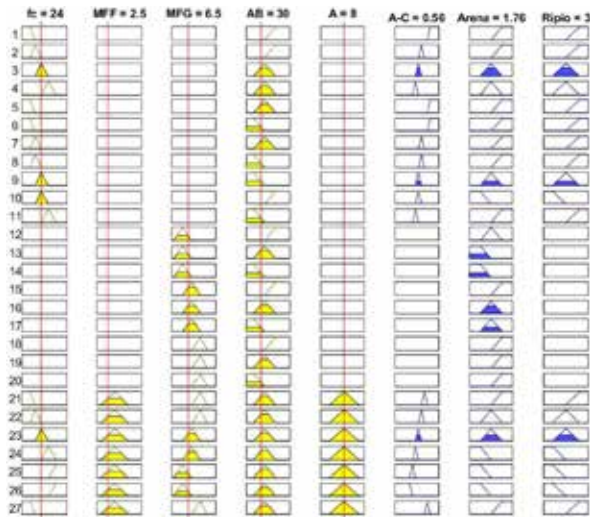


Figura 15. Sistema de inferencia lógico (SIL) para estimar una dosificación de mezclas de hormigón

Validación del SIL

Para validar el SIL para estimar dosificaciones de mezclas de hormigón se compararon los resultados experimentales versus los obtenidos a través del modelo Mamdani. Se fabricaron 6 probetas cilíndricas de hormigón de 15cm x 30cm para resistir esfuerzos de compresión (f_c) de 18, 21, 24, 28, y 30 MPa a los 28 días de edad. Todas las muestras fueron elaboradas con los mismos materiales (MFF = 2.65, MFG = 6.6, AB = 21.4%, y A = 6cm). A los 28 días de edad se las ensayó según lo establecido en la norma ASTM C 39 (ASTM International, 2017). Los resultados de las pruebas (Tabla 2) indican que los valores obtenidos (calculados aplicando el SIL) como los experimentales (promedio de la resistencia a la compresión de 6 muestras cilíndricas) son relativamente similares cuando se los redondea a la unidad. Para probar el desempeño del modelo elaborado se utilizaron parámetros estadísticos como el coeficiente de correlación (R^2) y la desviación estándar (S) (Tefamariam y Najjaran, 2007; Tayfur et al., 2014) resultantes al graficar los valores estimados versus los valores experimentales (Fig. 16). El

valor de R^2 de 95.1% indica que el modelo es capaz de predecir nuevos datos de una manera aceptable. Sin embargo, se debe considerar que el hormigón es un material con alta variabilidad por lo que se sugiere llevar un estudio histórico de las resistencias a la compresión a fin de determinar la S y construir las respectivas curvas de distribución normal, mismas que ilustraran dicha variabilidad intrínseca del hormigón.

Tabla 2. Comparación de resultados

A-C	Dosificación al Peso			SIL	Ensayo
	C	Arena	Ripio	f_c (MPa)	
0.65	1.00	2.25	3.62	18.0	17.20
0.58	1.00	2.25	3.62	21.0	22.20
0.56	1.00	1.84	3.00	24.0	25.40
0.54	1.00	2.25	3.48	28.0	27.10
0.48	1.00	2.00	3.00	30.0	31.60

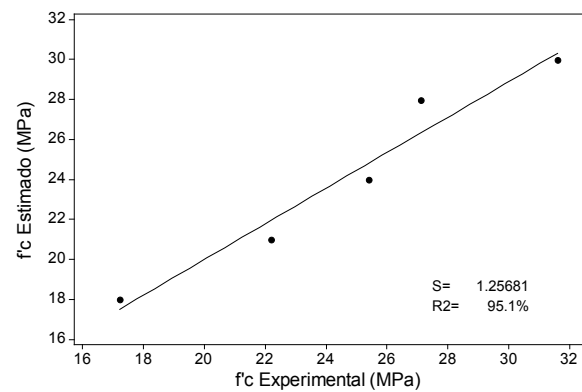


Figura 16. Esfuerzo de compresión calculado con el SIL versus el esfuerzo experimental

Conclusiones

Cuando se trata de diseños de mezclas de hormigón, la teoría de lógica difusa (del inglés “fuzzy logic”), puede ser perfectamente aplicada a través del mecanismo de inferencia tipo Mamdani; en razón de que el coeficiente de correlación ($R^2 = 95.1\%$) resultante del modelo es alto. Lo cual indica que el modelo es capaz de estimar nuevos valores de una manera aceptable. El número de reglas difusas utilizadas en este estudio puede ser aumentado o disminuido basado en el mayor o menor grado de conocimiento del sistema y del número de datos históricos experimentales disponibles que permitan inferir nuevas reglas. No existe un número de reglas difusas óptimas; sin embargo, se pretende usualmente utilizar el menor número de reglas posibles.

La información de diseños de mezclas de hormigón y resultados de pruebas de laboratorio, que reposa en los diferentes archivos de los laboratorios de hormigones, se la debe utilizar con el fin de ganar co-



nocimiento del sistema respecto a su funcionamiento. Existen cientos de datos referentes a diseños de mezclas de hormigón con las respectivas caracterizaciones de sus componentes (agregado fino y grueso), mismos que al ser clasificados y tabulados aportarían conocimiento en el campo complejo del diseño de mezclas de hormigón, siendo la lógica difusa, por ejemplo, una herramienta útil para tal efecto. En este caso, el sistema de inferencia lógico (SIL) para estimar las proporciones de una mezcla de hormigón el fiel ejemplo del potencial que se debe explotar y explorar para la fabricación manual del hormigón en la obra. Además, la utilización de datos locales permite elaborar modelos (SILs) particulares para proyectos considerando materiales propios de la zona.

El aporte de este estudio radica principalmente en resaltar las bondades de la teoría relativamente nueva llamada "lógica difusa" y presentar un procedimiento metódico y sistemático para realizar diseño de mezclas de hormigón. Esta técnica puede ser replicada y generalizada plenamente en otros escenarios y en otras locaciones geográficas. En este caso se deberán realizar los ajustes respectivos a las funciones de membresía (MFs) para las entradas (antecedentes) y las salidas (consecuentes). La validación de los resultados del SIL se la debe alcanzar a través de pruebas de comprobación mediante ensayos de laboratorio, mismos que servirán para retroalimentar y robustecer el modelo elaborado.

Referencias bibliográficas

ASTM International. (2017). C39/C39M-17, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, West Conshohocken, PA, doi: 10.1520/C0039_C0039M-17

ACI Committee 211. (1991). 211.1-91: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (Reapproved 2009). Farmington Hills, MI.

Kute, S.Y. y Kale, R.S. (2013). Five-Layer Fuzzy Inference System to Design a Concrete Mixture, Based on ACI Method. *ACI Materials Journal*, 110(6).

Neville, A. M., y Brooks, J. J. (2010). *Concrete technology* (2nd ed.). Harlow, England: Prentice Hall.

Mamdani, E.H. y Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International journal of man-machine studies*, 7(1), pp.1-13. doi: 10.1016/S0020-7373(75)80002-2

Mamdani, E.H. (1977). Application of Fuzzy Logic to Approximate Reasoning Using Linguistic Synthesis. *IEEE Transactions on Computers*, 26(12), pp. 1182-1191.

INECYC (2015). Comercialización mensual y anual del cemento gris. Ecuador. Recuperado de: <http://www.inecyc.org.ec/comercializacion-mensual-y-anual-de-cemento-gris/>

Ross, T. J. (2010). *Fuzzy Logic with Engineering Applications* (3rd edition). Chichester, U.K.: John Wiley & Sons, Ltd.

Takagi, T., y Sugeno, M. (1985). Fuzzy Identification of Systems and its Applications to Modeling and Control. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 15(1), pp. 116-132.

Tayfur, G., Erdem, T. K., y Kirca, Ö. (2014). Strength Prediction of High-Strength Concrete by Fuzzy Logic and Artificial Neural Networks. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 26(11), p. 04014079, doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000985.

Tesfamariam, S., y Najjaran, H. (2007). Adaptive Network-Fuzzy Inferencing to Estimate Concrete Strength Using Mix Design. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 19(7), pp. 550-560. doi: 10.1061/(ASCE)0899-1561(2007)19:7(550).

Tsukamoto, Y. (1979). An Approach to Fuzzy Reasoning Method, in *Advances in Fuzzy Set Theory and Applications*, M. M. Gupta, R. K. Rague, and R. R. Yager, eds., Amsterdam, pp. 137-149: North-Holland Publishing Company.

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8(3), pp. 338-353.

Estudio de un compuesto cementante fotoluminiscente y su aplicación en la construcción

A study of a photoluminescence cementitious composite and its applications in construction



Flor Margarita
Ph.D. en Ingeniería
Docente Universidad Central del Ecuador
e-mail: mvflor@uce.edu.ec



Santamaría Jorge.
Ph.D. en Ingeniería
Docente Universidad Central del Ecuador
e-mail: jsantamaria@uce.edu.ec



Carpio Andrés
Egresado de la Carrera de Ingeniería Civil
Universidad Central del Ecuador
e-mail: vacarpio@uce.edu.ec

Resumen

Hoy en día, la necesidad de desarrollar materiales que fomenten el ahorro de energía eléctrica de manera eficiente ha sido uno de los temas trascendentales estudiados alrededor del mundo. Con esta primicia, la presente investigación determinó que la inclusión de Aluminato de Estroncio co-dopado con Europio y Disprobio en mezclas a base de Cemento Portland; no solo produce el fenómeno de fotoluminiscencia, sino que mejora también sus propiedades mecánicas, mediante la realización de diversas pruebas de laboratorio físico-mecánicas como la resistencia a compresión en probetas, además de análisis químicos con XRF en distintas muestras de mortero. La investigación encontró además que la proporciones 0.3:1 del compuesto con respecto al cemento permite obtener el efecto fosforescente más óptimo. Finalmente, mediante la realización de un análisis económico se demuestra que el costo/beneficio de aplicar el compuesto cementante fotoluminiscente como señalética vial a largo plazo es mucho más rentable que el empleo de la luminaria convencional.

Palabras clave: *materiales de construcción; cemento; aluminato de estroncio; fotoluminiscencia; fosforescencia, propiedades mecánicas*

Abstract

Nowadays, the need to develop materials that promote efficient energy savings has been one of the transcendental topics studied around the world. With this novelty, the present investigation determined that the inclusion of Strontium Aluminate co-doped with Europium and Dysprosium in binders based on Portland cement not only produces the photoluminescence phenomenon but also improves its mechanical properties; through the accomplishment of diverse physical-mechanical laboratory tests like the compressive strength in test pieces, besides chemical analyzes with XRF in different samples of concrete. The research further found that the 0.3:1 ratio of the compound to the cement allow obtaining the most optimal phosphorescent effect. Finally, by means of the economic analysis it is shown that the cost/benefit of applying the photoluminescent cementitious composite as a long-term road sign is much more cost effective than the use of the conventional luminaire.

Keywords: *construction materials; cement; strontium aluminate; photoluminescence; phosphorescence mechanical properties*

Introducción

Desde los inicios de la humanidad, esta se ha visto fascinada por los fenómenos de fotoluminiscencia en seres vivos u objetos. Las primeras observaciones sobre este fenómeno datan desde el 1500 A.C. hasta la actualidad, sin embargo, los primeros estudios para lograr su entendimiento no se dieron sino hasta el año 1603 D.C. cuando Vincenzo Cascariolo de Bolonia reportó por primera vez la luminiscencia de los sólidos mediante un experimento en el cual calentó polvos de barita natural (sulfato de bario) con carbón y encontró que la mezcla resultante en forma de torta brillaba en la noche. Él observó que la piedra aparentemente se “cargaba” de luz solar por el día y brillaba durante horas en la oscuridad. Por esto le llamó lapis solaris (piedra del Sol) (Henríquez, s.f.). Conforme ha avanzado el tiempo, se ha ido profundizado no solamente en el estudio de la parte experimental sino, también en el entendimiento teórico del fenómeno de fotoluminiscencia, cuya base fundamental fue descrita en los artículos publicados por Albert Einstein sobre el Efecto Fotoeléctrico en 1905 (Einstein, 1905).

En el campo de la construcción e ingeniería civil, la curiosidad por el empleo de materiales fotoluminiscentes en las obras civiles se manifestó en primer lugar debido a los requerimientos de eficiencia con la señalética de seguridad y posteriormente debido a requerimientos estéticos en la parte arquitectónica con las obras de acabado; lo cual puede constatarse en la obtención de patentes de este tipo (Santolaya, 2014). No obstante su empleo cada vez en crecimiento en las obras civiles ha demandado que se realicen estudios más detallados los cuales tienen como fin, entender el efecto de añadir el compuesto de aluminato de estroncio co-dopado con Eu, Dy ($\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{M}$, donde $\text{M}=\text{Eu}^{2+}$, Dy^{3+} .) en mezclas a base de Cemento Portland Ordinario (CPO) (Velazco et al. 2014).

Cabe mencionar que la elaboración y aplicación del compuesto cementante fotoluminiscente (CCF) en el campo de la ingeniería civil, se encuentra protegido por una patente internacional perteneciente a la empresa ITALCEMENTI S.P.A. (Alfani y Lezzi, 2016), por lo cual se aclara que para el presente artículo las cantidades de material elaborado y empleado tuvieron como finalidad simplemente realizar su estudio a nivel académico y sin fines de lucro.

El artículo tiene como finalidad profundizar en el entendimiento del comportamiento físico y de las propiedades mecánicas de los compuestos cementantes fotoluminiscentes; así como también, analizar la influencia del $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{M}$ como parte de mezclas basadas en CPO a nivel macroscópico para su aplicación en la in-

geniería civil. Se debe recalcar que el estudio a nivel físico-químico, atómico y molecular ha sido ya realizado en otras investigaciones anteriores (Ptáček et al., 2014; Velazco et al., 2014; Ptacek, 2014).

Metodología

Previo a detallar los procedimientos y pasos seguidos para realizar la presente investigación, se deben aclarar ciertos conceptos a fin de dejar claro los fundamentos y métodos aplicados en el estudio.

Aluminato de estroncio dopado con iones metálicos de tierras raras

Es limitada la literatura al respecto del método de fabricación y síntesis del $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{M}$ propiamente; sin embargo, de manera breve se puede dar a conocer el cómo se obtiene este compuesto. Para producir en primer lugar el SrAl_2O_4 se mezclan íntimamente cantidades equimoleculares de óxido de aluminio y óxido de estroncio con aproximadamente 1 % de ácido bórico, el cual actúa como fundente. Posteriormente se calcinan a 1100°C en atmósfera reductora con hidrógeno durante un aproximado de 10 horas. La mezcla es sacada y molida, y nuevamente se la calcina por otras 10 horas; este proceso se repite varias veces hasta lograr el tamaño de partícula deseado. Sin embargo, el efecto fotoluminiscente del SrAl_2O_4 no podría ser posible sin la presencia de los activadores o dopantes como se les conoce comúnmente. Para el caso del aluminato de estroncio dichos dopantes añadidos por lo general corresponden a los iones metálicos de “tierras raras” (Eu^{2+} , Gd^{3+} , Yb^{3+} , Dy^{3+} , Sm^{3+} , Tb^{3+} , etc.) los cuales exhiben una alta eficiencia cuántica y fosforescente (Rojas, 2015; Gschneidner et al. 1999).

De manera particular el $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{M}$ difiere de otros compuestos fosforescentes similares como el Sulfuro de Zinc codopado con Cobre o Cobalto ($\text{ZnS}:\text{Cu},\text{Co}$) por su persistencia lumínica; es decir, el $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{M}$ presenta una persistencia lumínica hasta 10 veces más que la de los compuestos de sulfuro dopados (Rojas, 2015; Inan Akmeahmet et al, 2016).

El cemento

Debido al fin que tiene ésta investigación y a que en el Ecuador no se produce propiamente CPO sino sus variantes con adiciones (Tipos IP o GU), se decidió emplear un Cemento Portland Blanco Tipo I (CPO-B-I) de importación y producido por la empresa CEMEX (México). De las pruebas de laboratorio realizados al mismo se obtuvieron los principales valores que inciden en el cálculo de la dosificación del CCF: Densidad absoluta del cemento $\delta_{ab}=3.18 \text{ gr/cm}^3$ (ASTM International, 2016a), Densidad aparente del cemento

$\delta\rho=1.30 \text{ gr/cm}^3$, y la cantidad de agua que se requiere para lograr la consistencia normal de la pasta agua.cn%=26.36 % (ASTM International, 2016b).

Agregado fino

Como parte del CCF y con la finalidad de abaratar su costo mediante la inclusión de partículas de mayor tamaño y que ocupan mayor volumen, se realizó la inclusión de agregado fino (arena) la cual cumple con las respectivas normativas técnicas y requisitos de calidad a nivel nacional (Normas INEN) e internacional (Normas ASTM) para fabricación de morteros, siendo usada arena procedente del sector de Santo Domingo de los Tsáchilas de la mina Copeto, Ecuador, con propiedades como su Módulo de Finura MF=2.47 (ASTM International, 2016c), Peso específico $\gamma=2.37 \text{ g/cm}^3$ y Capacidad de absorción Abs%=3.07 % (ASTM International, 2015a), sin presencia de impurezas orgánicas, figura 1 (transparente) (ASTM International, 2016d) y su respectiva curva y límites granulométricos (ASTM International, 2014).

La fotoluminiscencia y período de persistencia

Rojas (2015) en su trabajo de investigación realizó un análisis minucioso desde un trasfondo físico-químico sobre este punto, además de detallar la parte experimental para la medición de la persistencia. No obstante, en la presente investigación se abordarán estos conceptos de manera general y práctica.

La fotoluminiscencia de manera general se produce cuando un compuesto dopado con ciertos elementos es sometido a una excitación mediante una fuente lumínica por un cierto período de tiempo o exposición, es decir, se carga el compuesto; y una vez suspendida o apagada la fuente de excitación, el compuesto empieza a emitir luz. En el caso del $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{M}$ la fotoluminiscencia se debe a que durante el proceso de absorción de energía los electrones de los iones metálicos saltan de las órbitas internas a las externas, y cuando “caen” de nuevo a su estado original emiten un fotón de luz. Dicha luz y su color dependen del elemento activador y la longitud de onda (λ) que emite este, así pues, tomando como ejemplo el $\text{ZnS}:\text{M}$, éste emite en azul ($\lambda=452 \text{ nm}$) si se dopa con Eu^{3+} , en verde ($\lambda=510 \text{ nm}$) si se incorpora con Cu^{2+} y Co^{2+} o en amarillo ($\lambda=570 \text{ nm}$) al doparlo con Mn^{2+} y Ce^{2+} .

Por otra parte, la persistencia de la luminiscencia se puede definir como la energía almacenada en el compuesto debido a fenómenos de “trapping” (captura) de los elementos activadores una vez han sido excitados, es decir, que alcanza estado metaestable del sistema cuántico que tiene un nivel de energía superior al estado fundamental. El cuan prolongada sea la lumi-

niscencia dependerá de lo lenta que sea la liberación de carga de los activadores.

El método de dosificación y mezcla del CCF

De forma general, no existe un método establecido para dosificar exactamente un compuesto cementante o mortero (CC), la mayoría de códigos, normativas o investigaciones basan su dosificación en tablas empíricas (Satyarno, 2014; Grijalva y Laines, 2016; INEN, 2014). Para la presente investigación se propuso innovar a fin de poder obtener una base comparable al momento de analizar los resultados, y esto se lo logró realizando un diseño de CC teniendo como objetivo el obtener la mayor resistencia a compresión ($f'c$) posible en los especímenes. Esto es posible si se considera trabajar con la relación agua/cemento (a/c) mínima posible concerniente al porcentaje necesario para alcanzar una consistencia normal en la pasta de cemento, descartando de momento el efecto que tiene el agregado dentro de toda la matriz cementante.

Evidentemente la pregunta que surge de momento es: ¿Por qué trabajar con un mortero y no con hormigón?, pues la respuesta recae en el factor económico al momento en que se añade el compuesto fotoluminiscente al mortero. En el caso ecuatoriano el costo aproximado de un 1 kg de $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{M}$ es de

US\$260.00; no obstante la interrogante que ahora debería formularse es: ¿Cuál es el objetivo y fin del CCF?, dado el alto costo que tiene producir 1 m³ del CCF ya que lo que interesa es la emisión de luz a nivel superficial, lo más factible y el uso previsto del CCF es como capa de revestimiento o sustituto de señales plásticas fotoluminiscentes; por lo cual el desarrollar una mezcla de hormigón fotoluminiscente no tendría sentido, y por lo tanto lo más factible resulta desarrollar un mortero de recubrimiento.

Las proporciones de las mezclas de CCF y CC se las puede observar en la Tabla I. Como se puede apreciar en las muestras M1, M2, M3, las dosificaciones indicadas no contemplan las correcciones por absorción ni humedad de la arena por motivos prácticos, no obstante, las mismas si fueron consideradas al momento de la realización de las mezclas. Por otro lado, de las pruebas de fluidez realizadas a los morteros (ASTM International, 2015b) se obtuvieron los siguientes valores para las muestras M1, M2, M3, P2 y P3 respectivamente: FM1 = 106%, FM2 = 107%, $F_{M3} = 109\%$, $F_{P2} = 105\%$ y $F_{P3} = 106\%$, lo cual indica que cumplen con el rango recomendado de $110 \pm 5\%$ para el tipo de prueba considerada.

Tabla 1. Proporciones de las mezclas de CCF Y CC en peso

MUESTRA/ DOSIFICACIÓN	MATERIAL			
	AGUA (W)	CEMENTO (C)	ARENA (A)	SrAl ₂ O ₄ (AS)
M1	0.27	1.00	3.00	0.30
M2	0.27	1.00	2.00	0.30
M3	0.27	1.00	1.00	0.30
P2	0.27	1.00	2.00	0.00
P3	0.27	1.00	1.00	0.00

Además, se puede ver que los morteros tienen una inclusión de SrAl₂O₄:M de 30% con respecto a la masa de cemento empleada. Dicha proporción fue adoptada teniendo en cuenta los resultados obtenidos por Grijalva, et. al. (2016), mismos que demostraron que la inclusión de ese porcentaje de SrAl₂O₄:M en el mortero logra la máxima eficiencia en la luminiscencia (Grijalva y Laines, 2016). Las mezclas patrón son las correspondientes a P2 y P3; sin embargo, debe mencionarse que no se realizó una mezcla patrón para M1 ya que será demostrado más adelante que ésta es la menos efectiva en resistencia y luminiscencia, por lo que fue descartada.

Finalmente, para terminar con la explicación de la parte experimental se estableció un programa de pruebas y ensayos de laboratorio con el objetivo de estudiar el comportamiento físico-mecánico y químico del CCF, quedando determinado el realizar pruebas de: Compresión Simple en Cubos de Mortero, Pruebas de Persistencia de Fotoluminiscencia y Fluorescencia de Rayos X (XRF del inglés X Ray Fluorescence). La cantidad total de probetas elaboradas fue de 90 cubos, distribuidos en 15 cubos por cada muestra los cuales fueron ensayados en grupos de 5 por cada día.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos en las pruebas de compresión realizadas a los diferentes tipos de muestras ensayadas a edades de 3, 7 y 28 días, pueden apreciarse en la Figura 1. Particularmente se debe destacar la interacción observada entre la matriz compuesta por el CPO-B-I y el SrAl₂O₄:M con el agregado fino, donde a simple vista era apreciable que en edades tempranas de 3 y 7 días la propagación de las grietas y fracturas en los especímenes se daban en la zona de transición de la interface (ZTI) de la matriz cementicia de CPO-B-I y el SrAl₂O₄:M al evidenciarse desprendimientos entre la pasta y el agregado. Además, la ausencia de un corte o fisuras en los agregados que se encontraban en el plano de propagación de las grietas (ver Fig. 2). No obstante, a la edad de 28 días, en todas las muestras, fue evidenciable ya el trabajo en conjunto entre la matriz cementicia y el agregado.

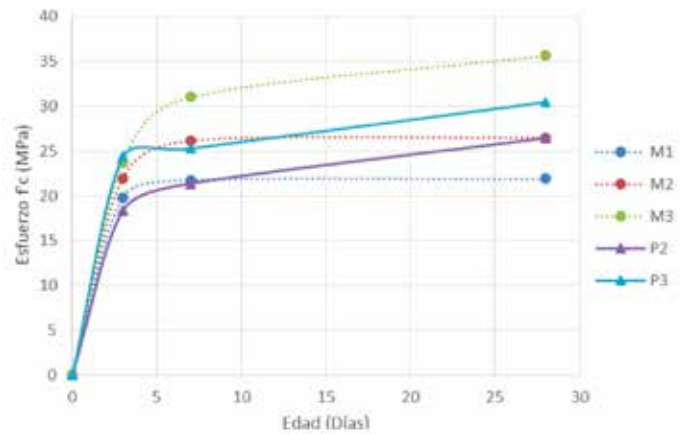


Figura 1. Curvas "Edad-Resistencia" CCF y CC.



Figura 2. Fotografía de uno de los especímenes de M2 de 3 días de edad, se aprecia el modo de propagación de la grieta y la textura de la falla.

Por otro lado, se puede observar además la evolución en la resistencia a compresión respecto a su edad de las diferentes muestras. La muestra M2, aún cuando presenta resistencias elevadas a edades tempranas, a los 28 días llega a ser inferior a la de la muestra patrón. Se debe mencionar también que no se realizó una muestra patrón para la muestra M1 debido a que de pruebas piloto iniciales se llegó a observar que era la muestra que tenía menos intensidad lumínica y por tanto se descartó su análisis.

Referente a lo peculiar de la curva de la muestra P3 observado en la Figura 1, este tipo de comportamiento ha sido también apreciable en las investigaciones de Carpio (2016) y Grijalva, et. al. (2016) donde se trabaja de igual manera con CPO-B-I (Carpio, 2016.; Grijalva y Laines, 2016). Luego de revisar la respectiva literatura y realizar un análisis minucioso, se puede determinar que este comportamiento es debido en primer lugar a la composición química del cemento Portland con el cual se está trabajando, ya que como es bien conocido, los CPO-B-I son ricos en Silicato Dicálcico (C₂S), lo que produce altas resistencias a edades tardías, pero

su contenido de Aluminatos (C3A y C4AF) es baja, lo cual influencia en la resistencia a edades tempranas. En segundo lugar, se debe también a la distribución granulométrica de todo el compuesto; sin embargo, aún cuando la evolución de resistencia desde el día 0 al 3 y del 7 al 28 es sostenida y progresiva; la interrupción apreciable entre el día 3 y 7 es debido en mayor parte a las fases de hidratación que tiene el cemento, como es manifestado en obras específicas que estudian la química del cemento (Newman y Choo, 2003; Labahn y Kohlhaas, 1985). Se debe destacar además que en las mezclas M1, M2 y M3 se debió realizar correcciones por la absorción de agua del SrAl₂O₄:M ya que en ensayos previos realizados a este compuesto se determinó que es capaz de absorber aproximadamente el 25% de su peso en agua, lo cual de no tomarse en cuenta puede alterar los resultados.

En la Fig. 3 se puede observar de forma comparativa los resultados de las diferentes muestras respecto a su edad y tipo de muestra. De estos resultados se puede establecer que las mezclas con proporciones M3 presentan un mejor desempeño físico- mecánico y que la inclusión del SrAl₂O₄:M aporta a la mejora del CC.

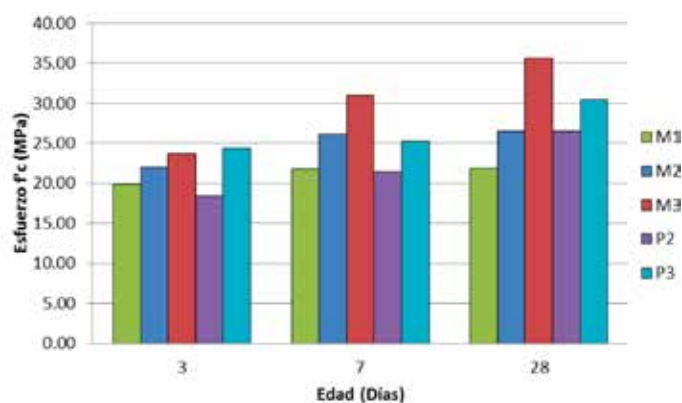


Figura 3. Gráfica comparativa de Resistencias a Compresión vs. Edad.

La Tabla 2 muestra los resultados procedentes de las pruebas de Fluorescencia de Rayos X realizadas a una muestra de CPO-B-I hidratada con agua en una relación a/c=0.27 en proporciones de P3 y a otra muestra de CPO-B-I + SrAl₂O₄:M en proporciones de M3 hidratada de igual manera con una relación a/c=0.27 más la respectiva cantidad de agua por corrección para el SrAl₂O₄:M. La prueba para ambas muestras fue realizada a la edad de 28 días. Se tomó como base de estudio la mezcla tipo M3 debido a que fue la que mejores propiedades mecánicas y lumínicas presentó. Analizando el comportamiento químico se puede establecer claramente la incidencia del SrAl₂O₄:M reaccionando con el CPO-B-I y como resultado se tiene la disminución en los Óxidos de Silicio así como el claro incremento en Óxidos de Aluminio y Óxidos de Estroncio, lo cual hace que el CCF tenga propiedades refractarias (como se pue-

de observar con la disminución en las pérdidas por calcinación). Por otra parte, se evidencia también el incremento en los Óxidos de Fósforo; sin embargo, no se superan los límites permisibles por lo cual no representan un peligro. También se observa la disminución en los Óxidos de Magnesio y con lo que se puede evitar la posible formación de Hidróxido de Magnesio Mg(OH)₂. Mismo que al expandirse puede llegar a provocar grietas y deteriorar el CCF.

Tabla 2. Resultados comparativos de XRF

Muestra	Pérdidas por calcinación (%)	
Cemento	23.7	
Cemento + SrAl ₂ O ₄	6.07	
Elemento	Cemento Contenido (%)	Cemento + SrAl ₂ O ₄ (%)
SiO ₂	13.18	12.50
Al ₂ O ₃	2.75	18.70
Fe ₂ O ₃	0.16	0.22
CaO	54.77	48.73
K ₂ O	0.12	0.11
TiO ₂	0.05	0.05
Na ₂ O	< 0.01	< 0.01
MgO	0.75	0.59
P ₂ O ₅	0.05	0.28
SO ₃	2.81	0.83
SrO	-	18.20
ZrO ₂	-	0.80
V ₂ O ₅	-	0.04
CuO	-	0.02
NiO	-	0.02
ZnO	-	< 0.01

Debido a la inclusión del SrAl₂O₄:M se incorpora a la mezcla Metales Pesados como el Cobre y Zinc los cuales pueden llegar a inhibir el fraguado del cemento; sin embargo, no se evidenció este efecto a nivel macroscópico. Del mismo modo se puede distinguir una clara disminución en los Óxidos de Azufre, así como la aparición de elementos como el Zirconio los cuales fomentan la formación de sulfuros y con esto aportan al efecto de fotoluminiscencia que el CCF muestra.

Para la realización de las pruebas de luminiscencia se tomó como base para su ejecución la guía establecida en la normativa ASTM E2073-10 (ASTM International, 2010) y DIN 67510-1 (DIN, 2009); sin embargo, debido a las limitantes con el equipo de laboratorio disponible se adaptaron las pruebas a fin de llegar a cumplir con lo establecido en las respectivas normativas ya que no se contaba con un equipo capaz de medir la luminiscencia (luminance del inglés) directamente, por lo cual se empleó un equipo MASTECH MS6610 para medir la iluminación (illuminance del inglés); es decir, se realizó la medición de iluminación emanada directamente por una superficie dentro de una determinada área. Las mediciones fueron reportadas en lux, y posteriormente para una mayor precisión y comprensión fueron transformadas a porcentaje a fin de mejorar su interpretación. En

primer lugar, con la finalidad de conocer si el espesor del CCF aplicado en una determinada área influía directamente en la cantidad de luminiscencia, se elaboraron probetas de 5x15cm de área con espesores de 5, 4, 3 y 2 milímetros de las mezclas M1, M2 y M3, dichas muestras fueron ubicadas en orden como se lo puede apreciar en la Fig. 4. Posterior se procedió a realizar la carga lumínica del CCF mediante una exposición a luz solar directa por un tiempo de 8 horas.



Figura 4. Prueba de Luminiscencia – Muestra vs. Espesor

En la Fig. 5 se puede observar el proceso de medición de una muestra correspondiente al polvo de SrAl₂O₄:M, con una superficie de 15x15 centímetros, dando como medida final un valor de luminiscencia de aproximadamente 36 lux medidos a una distancia de 0.4 metros. Aplicando el factor de conversión a candela ($I_v(\text{cd}) = E_v(\text{lx}) \times (d(\text{m}))^2$; donde E_v es la intensidad en lux y d la distancia en metros) se obtuvo una medición de aproximadamente 5.76 cd/m² o 5760 mcd/m², lo cual coincide con datos obtenidos por investigaciones sobre el material (Hirata et al., 2005). Este valor excede en 25.76 veces el máximo reportado en la normativa ASTM E2073-10; por lo cual, acorde a la adaptación que se ha realizado para la presente investigación, el valor de 36 lux será el dato referencial y equivaldrá al 100% de intensidad lumínica obtenible en un $T_0 = 0$ minutos.



Figura 5. Medición de la intensidad lumínica del polvo de SrAl₂O₄:M colocada a un período de exposición a luz solar "natural" (Tiempo de exposición = 8 horas)

Como se puede apreciar en la Fig. 6, el CCF presenta fosforescencia y la muestra que presenta una mayor intensidad lumínica es la mezcla M3, las mezclas M1

y M2 presentan aproximadamente la misma intensidad lumínica. No obstante, se llegó a observar que la intensidad lumínica manifestada en las muestras de CCF no depende de su espesor sino de la cantidad y concentración del compuesto de CPO-B-I + SrAl₂O₄:M que conforman el mortero y mezcla como tal. Esto se lo puede constatar observando los valores registrados en la Fig. 7.

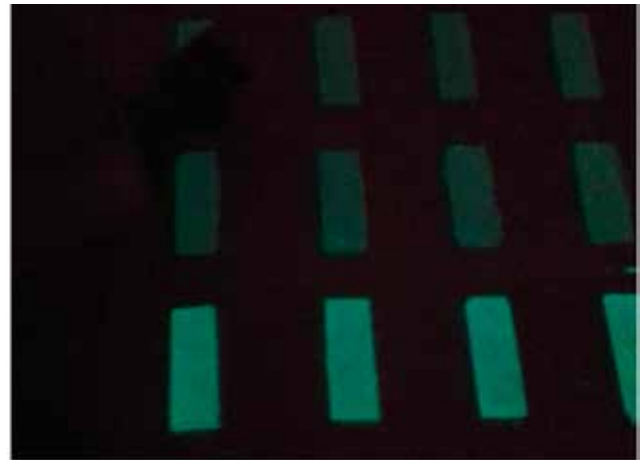


Figura 6. Período de Emisión de las muestras en ambiente controlado.

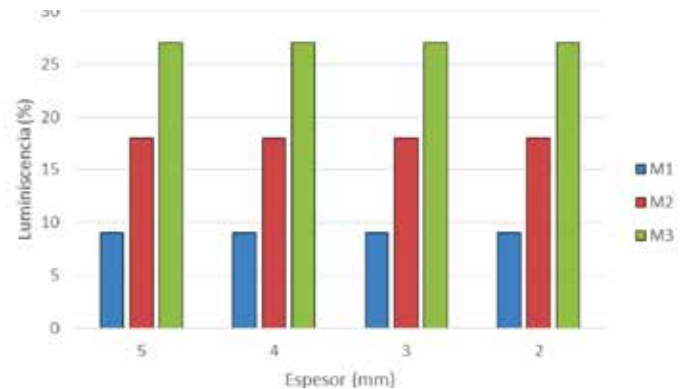


Figura 7. Gráfica comparativa de las pruebas de luminiscencia para las muestras de CCF M1, M2y M3.

Una vez determinado que la mezcla M3 es la que presenta mayor intensidad lumínica al igual que las mejores propiedades mecánicas, se procedió a realizar la prueba de luminiscencia conforme lo especifica la normativa ASTM E2073-10, en 5 especímenes con dimensiones de 15x15 centímetros de superficie, donde se obtuvo que el valor de luminiscencia inicial aproximado para éste CCF fue de 10 lux medidos a una distancia de 0.4 metros, lo cual en unidades de candela da un valor de 1.6 cd/m² o 1600 mcd/m². Este valor obtenido de 10 lux será el nuevo dato referencial y equivaldrá al 100% de intensidad lumínica obtenible en un $T_0 = 0$ minutos para de esta manera obtener las respectivas curvas de decaimiento.

Los resultados de las pruebas de luminiscencia mostrados en la Tabla 3 son el resultado de un estudio riguroso realizado durante un lapso de 4 meses de manera continua, desde el 1 de mayo de 2017 hasta el 31 de agosto de 2017, habiendo obtenido un total de 5535 registros en los 123 días. Las mediciones de

intensidad lumínica mostradas en la Tabla 3 fueron determinadas en base al promedio de los valores registrados diariamente para cada intervalo de tiempo indicado también en la tabla por cada mes. Las probetas empleadas para el estudio se encontraban dentro de una habitación con ambiente controlado conforme lo indica en la normativa ASTM E2073-10 durante la realización del ensayo. El procedimiento principalmente difirió con lo normado en lo que respecta al tipo de excitación a la que fue sometido el CCF durante el tiempo carga, mismo que consistió en luz solar por un lapso de 8 horas. Aún cuando existieron días de lluvia o en los que existía poca luminosidad debido al clima, se encontró la particularidad de que durante la etapa de emisión del CCF desde la intensidad inicial hasta la final tenían un comportamiento similar a cuando las probetas eran expuestas a luz solar directa sin interrupción. Esto se debe particularmente a que la mayor parte de la energía que actúa para la excitación del CCF proviene de la radiación UV como lo manifiestan estudios previos (Rojas, 2015; Inan Akmehmet et al.,2016; Ptacek, 2014).

Tabla 3. Resumen de resultados de las pruebas de luminiscencia en probetas de mezcla M3

TIEMPO Minutos	INTENSIDAD %			
	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4
0	100	100	100	100
5	90	95	95	90
10	85	80	85	80
20	70	75	75	75
40	60	60	60	60
60	50	55	50	50
120	40	40	35	35
240	20	20	20	20
480	10	10	10	10

Como parte final de esta investigación se realizó un análisis económico referencial comparativo entre las diferentes mezclas de CCF y mezclas patrones CC realizadas; así como el análisis del costo de producción y mantenimiento de la luminaria convencional en las diferentes vías y autopistas dentro del país. Para este análisis económico referencial los precios fueron obtenidos y promediados de fuentes fiables como la Cámara de la Industria de la Construcción de Quito, así como de cotizaciones realizadas directamente a proveedores. En la Tabla 4 y Tabla 5 se puede observar los diferentes costos concernientes a la materia prima, productos finales y mantenimiento sin considerar los costos concernientes a mano de obra e instalación. Para el caso del CCF es evidente que la inclusión del SrAl₂O₄:M en la mezcla de mortero convencional eleva su costo a niveles altos para el caso de este tipo de CC; sin embargo, debido al fin y utilidad con el que fue concebido su desarrollo principal, es decir para ser empleado como señalética de seguridad o vial, el costo resulta ser competitivo e inclusive se observa un ahorro económico en el largo plazo.

Como se aprecia en caso de la mezcla M3 que fue la escogida debido a sus excelentes propiedades mecánicas y lumínicas, aunque posee un costo más elevado que las lámparas de alumbrado público inicialmente, debido a la vida útil que presenta el CCF (más de 8 años) termina siendo más económico en el largo plazo. Si se tiene en cuenta lo expresado en el RTE INEN 069 que versa sobre alumbrado público y las diferentes condiciones y especificaciones que este debe cumplir, menciona que la separación entre postes de alumbrados debe cumplir con la relación S/H=(3.5 a 4), dónde S es la separación entre postes y H la altura del poste dependiendo de la clase de iluminación empleada; es decir que si tomamos una clase de iluminación "M5" la cual como requisito establece 10 lux de luminancia, por cada metro de altura del poste, se considera que la distancia horizontal de influencia lumínica se irá incrementando en 4 metros. Por lo que tomando estos 4 metros lineales como base de análisis para realizar la comparación y si se considera que de 1 m² de CCF se puede obtener 4 metros lineales de 5 mm de espesor y 250 mm de ancho; la inversión inicial del CCF será de US\$ 366.26, sin embargo, esta es una sola inversión debido a su vida útil. Por otro lado, la inversión inicial de una lámpara de alumbrado público es de US\$ 237.62, pero dado a que anualmente debe renovarse dicha inversión en 8 años (que es lo que dura el CCF) terminará siendo de US\$1900.96. Por lo tanto, se constata el beneficio de emplearse el CCF como una alternativa para la iluminación vial o de señalética de seguridad en las diferentes obras civiles.

En la Fig. 8 se aprecia claramente la tendencia de las curvas de decaimiento, específicamente en el mes 4 se observa que el CCF tiende a tener un comportamiento lumínico más homogéneo. Entre el minuto 0 al 120, la persistencia del CCF decae rápidamente y del minuto 120 en adelante se observó un decaimiento lento y sostenido.

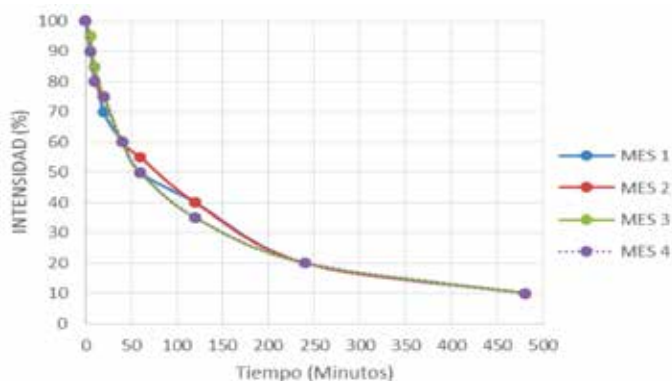


Figura 8. Curvas de decaimiento obtenidas para probetas de mezclas M3.

Actualmente, a modo investigativo y de estudio, las diferentes mezclas de CCF (M1, M2 y M3) han sido aplicadas a la intemperie en una Obra Civil localizada en Machala-Ecuador (ver Fig. 9 y Fig. 10), para evaluar su desempeño y durabilidad en el transcurso del tiempo; no obstante, los resultados de ese análisis permitirán realizar otros artículos en los cuales se detallarán los resultados de esas investigaciones a largo plazo.

Conclusiones

Las mezclas M1 y M2 presentan resistencias a edades tempranas mayores gracias a la influencia del SrAl₂O₄. Sin embargo, a los 28 días llegan a ser inferiores a las resistencias de las mezclas patrones, esto debido a la reducción de C₂S por las reacciones iniciales entre el SrAl₂O₄ con el C₃A y el C₄AF.

La luminiscencia en los CCF no depende del espesor de la muestra sino del área que ocupa y el contenido de SrAl₂O₄ en el compuesto, como se pudo evidenciar en la Figura 7 y los parámetros de la expresión matemática que permite el cálculo de la intensidad lumínica. Es decir, que la persistencia e intensidad no dependen del volumen de mezcla ocupado. Desde luego, por la complejidad de colocar en obra espesores menores a 1 mm y debido también al tamaño de partícula del árido fino, se recomienda no ocupar espesores inferiores a los 2mm.

En el estudio de persistencia lumínica de la muestra M3 se llega a determinar que a pesar de la duración de la prueba ésta tiende a ser similar y no decae con el pasar del tiempo.

El CCF debe preferentemente colocarse en una superficie sin terminado liso (rugosa), debido a que la difusión del compuesto fotoluminiscente al interior de la mezcla hace que el realizar un terminado liso de la superficie, la intensidad lumínica de los activadores se vea reducida debido a que la matriz cementante recubre las partículas que generan el efecto fotoluminiscente.

El CCF es factible de emplearse como sustituto de la señalética plástica de seguridad y emergencia empleada actualmente en las obras civiles, debido a que al ser el CCF un material cementicio con excelentes propiedades refractarias, en el caso de incendios o eventos donde existan altas tempera-



Figura 9. Colocación de una mezcla M3 como señalética en los exteriores del Poli-deportivo de Machala - Ecuador.

PRODUCTO: MORTERO FOTOLUMINISCENTE DESCRIPCIÓN:
1 m²-Espesor=5mm VIDA UTIL:+8 AÑOS



Figura 10. Señalética de seguridad elaborada con mezcla M2 colocada en las rampas de acceso y emergencia en el Coliseo 3000 de Machala.

Tabla 4. Análisis económico referencial comparativo de las distintas mezclas de CCF y CC

ELEMENTO	Unidad	P.U US\$	M1		M2		M3		P2		P3	
			Cantidad	Costo US\$	Cantidad	Costo US\$	Cantidad	Costo US\$	Cantidad	Costo US\$	Cantidad	Costo US\$
AGUA (W)	litros	0.001	1.323	0.00	1.699	0.00	2.373	0.00	1.699	0.00	2.373	0.00
CEMENTO (C)	Kg	0.460	2.540	1.17	3.267	1.50	4.563	2.10	3.267	1.50	4.563	2.10
ARENA (A)	Kg	0.002	7.633	0.02	6.534	0.01	4.563	0.01	6.534	0.01	4.563	0.01
SrAl ₂ O ₄ (AS)	Kg	266	0.763	202.96	0.98	260.68	1.369	364.15	0	0.00	0	0.00
SUBTOTAL:				204.14		262.20		366.26		1.52		2.11

Tabla 5. Análisis económico concerniente al costo de producción y mantenimiento de lámparas de alumbrado público

PRODUCTO: LAMPARA PARA POSTE DE LUZ
VIDA UTIL: 1 AÑO

	Valor US\$	Costo (\$/hora)	C.Consumo (\$/año)	C. TOTAL (\$/año)
Lampara (200W)	150	0.02	87.6	237.62

turas, el CCF perdurará guiando de esta manera a las personas hacia el lugar de encuentro ante una emergencia.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la CONSTRUDIPRO S.A. por el financiamiento de la investigación además de las facilidades brindadas en las diferentes obras de infraestructura en la ciudad Machala – Ecuador. A la empresa ADMIX LTDA., por el apoyo técnico y logístico para la realización de las pruebas de laboratorio.

Referencias bibliográficas

Alfani, R. y G. Lezzi (2016). Photoluminescent cementitious compositions based on hydraulic binders particularly suitable for use in safety signs, Italcementi S.P.A. (Bergamo, IT), WO 2016062873 A1.

ASTM International. (2010). ASTM E2073-10, Standard Test Method for Photopic Luminance of Photoluminescent (Phosphorescent) Markings, West Conshohocken, PA, doi: 10.1520/E2073-10

ASTM International. (2014). ASTM C136/C136M – 14: Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates, West Conshohocken, PA, doi: 10.1520/C0136_C0136M-14

ASTM International. (2015a). ASTM C128 – 15: Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of fine aggregate, West Conshohocken, PA, doi: 10.1520/C0128-15

ASTM International. (2015b). ASTM C1437-15: Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar, ASTM International, West Conshohocken, PA, doi: 10.1520/C1437-15

ASTM International. (2016a). ASTM C188 – 16, Standard test method for density of hydraulic cement.", West Conshohocken, PA, doi: 10.1520/C0188-16

ASTM International. (2016b). ASTM C187-16, Standard Test Method for Amount of Water Required for Normal Consistency of Hydraulic Cement Paste, West Conshohocken, PA, doi: 10.1520/C0187-16

ASTM International. (2016c). ASTM C33/C33M-16e1, Standard Specification for Concrete Aggregates, West Conshohocken, PA, doi:10.1520/C0033_C0033M-16E01

ASTM International. (2016d). ASTM C40/C40M-16:Standard Test Method for Organic Impurities in empresa doi:10.1520/C0040_C0040M-16

Carpio, V. (2016). Análisis experimental de un

hormigón elaborado con residuos industriales de polvo de grafito. IV Congreso REDU. ESPE, Sangolquí, Ecuador.

DIN. (2009). DIN 67510-1: Phosphorescent pigments and products – Part 1: Measurement and marking at the producer.

Grijalva, F. y Laines, T. (2016). Diseño de morteros fotoluminiscentes aplicados de forma ornamental y señalización en caso de emergencia para edificaciones. (Tesis de Pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.

Einstein, A. (1905). "Concerning an Heuristic Point of View Toward the Emission and Transformation of Light." *Annalen der Physik* 17,322(6), pp.132-148.

Henríquez, B. (s.f.). "La luz sin llamas: breve historia de la luminiscencia (primera parte)." Recuperado de:[http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/En energia14/HTML/articulo07.htm](http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/En%20energ%C3%ADa14/HTML/articulo07.htm)

Hirata, Y., T. Sakaguchi y N. Takeuchi (2005). Phosphorescence exhibiting phosphor and Fine Aggregates for International, West Concrete, ASTM Conshohocken, PA, Gschneidner, K.A., Eyring, L. y Lander, G.H. eds. (1999). Handbook on the physics and chemistry of rare earths (Vol. 26). Elsevier. process for producing the same, Nemoto & Co., Ltd., WO2005044944 A1.

INEN. (2014). Código de practica ecuatoriano: CPE INEN-NEC-SE-MP 26-6. Capítulo 6: Mampostería Estructural. Quito, Ecuador.

Rojas, R. (2015). Diseño y Síntesis de Materiales Nanoestructurados basados en Aluminatos de Estroncio con Propiedades Fotoluminiscentes. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, España.

Santolaya, P. (2014). Pieza de hormigón luminiscente. E. Tecment tecnología y gestión constructiva SL. (Valencia, ES), ES1124406U.

Velazco, G., Almanza, J.M., Cortés, D.A., Escobedo, J.C., y Escalante-García, J.I. (2014). Effect of the strontium aluminate and hemihydrate contents on the properties of a calcium sulphoaluminate based cement. *Materiales de Construcción*, 64 (315), Julio–Septiembre, doi:10.3989/mc.2014.04413

Influencia de la automatización de ensayos de flujo luminoso total en el cálculo de incertidumbre combinada y en el tiempo de ejecución del ensayo

Influence of the automation of the total luminous flux test on the calculation of the combined uncertainty and the period of execution of the test



De la Bastida Ronny

Escuela Politécnica Nacional (EPN)
e-mail: ronny.delabastida@epn.edu.ec



Velásquez Carlos

Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías (INER)
e-mail: carlos.velasquez@iner.gob.ec



Espín Francisco

Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías (INER)
e-mail: francisco.espin@iner.gob.ec

Resumen

El cálculo de la incertidumbre combinada de ensayos de flujo luminoso realizados en una esfera integradora es importante para la acreditación bajo los estándares de la norma ISO/IEC 17025. Los valores de los equipos de medición usados dentro del ensayo debían ser registrados de manera manual por el operador, por lo cual se implementó un sistema de adquisición de los datos automático mediante la integración de los equipos en una aplicación desarrollada en LabVIEW que incluye el cálculo de la incertidumbre basado en el modelo desarrollado por el mismo laboratorio y la generación de informes. El presente trabajo analiza la influencia de la automatización del proceso de adquisición, análisis y uso de los datos para el cálculo de la incertidumbre, comparando un ensayo designado de una lámpara de alta descarga usando el sistema manual y el sistema automatizado además de la reducción del tiempo del ensayo para cubrir una mayor demanda

Palabras clave: automatización; esfera integradora; flujo luminoso; incertidumbre combinada

Abstract

The calculation of the combined uncertainty of luminous flux tests carried out in an integrating sphere is a very important value for the accreditation of INER's Lighting Laboratory under the ISO/IEC 17025 standard. The values of the measurement devices used within the test should be registered manually by the operator, for which an automatic data acquisition system was implemented by integrating the devices into an application developed in LabVIEW that includes a real-time analysis of the luminous flux stabilization of the lamp and the calculation of the uncertainty based on the model developed by INER's Lighting Laboratory. The present work analyzes the influence of the automation of the process of acquisition, analysis and use of the data for the calculation of the uncertainty, comparing a designated test of a high discharge lamp using the manual system and the automated system for the calculation of the combined uncertainty of the luminous flux test within an integrating sphere.

Keywords: automation; integrating sphere; luminous flux; combined uncertainty.

Introducción

En el Ecuador el alumbrado público representa un 7.70% del rubro de la energía facturada del país (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2016) según la última estadística de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL). Para el estudio de mejoramiento de este campo el

Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER) creó un Laboratorio de Luminotecnia que es un Organismo Evaluador de Conformidad (OEC), encargado de realizar ensayos de flujo luminoso a lámparas de descarga de alta intensidad (HID) (Ministerio de Industrias y Productividad, 2016).

La eficiencia energética de lámparas es una de las magnitudes usadas para establecer una comparativa entre dos fuentes de luz de las mismas características, para lo cual es necesario obtener el flujo luminoso total de la lámpara y las magnitudes eléctricas de consumo de la misma (Espín, et al., 2016). Para obtener resultados confiables se realiza los ensayos dentro de un ambiente de temperatura controlada, usando una Esfera Integradora con el método recomendado por la Illuminating Engineer Society of North America (IESNA) (Illuminating Engineering Society, 2017). Este método exige la medición de una lámpara de referencia (patrón de flujo luminoso total), una lámpara de prueba, dado que es una medición relativa y la medición de absorbancia de ambas lámparas empleando una lámpara auxiliar del tipo halógena incandescente.

Los ensayos de flujo luminoso son realizados bajo un sistema de gestión conforme a la normativa ISO/IEC 17025, que es la referencia internacional para garantizar la competencia técnica en ensayos de cualquier magnitud (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2015). Un parámetro indispensable de la norma es el cálculo de incertidumbre del ensayo, que en este estudio se realiza mediante un modelo matemático implementado por el mismo laboratorio y descrito en las Ec. 1, Ec. 2 y Ec. 3.

$$\Phi = \Phi_R \frac{V}{V_R} \frac{\Phi_{AR}}{\Phi_A} \left(\frac{V \cdot C_V}{V_0}\right)^{m_V} \left(\frac{U_R \cdot C_R}{R \cdot J_R}\right)^{m_{JR}} \left(\frac{corS_R}{corS}\right) \quad \text{Ec. (1)}$$

$$corS = 1 + \alpha \Delta T - \Delta sf - \gamma \Delta t - S \quad \text{Ec. (2)}$$

$$corS_R = 1 + \alpha_R \Delta T_R - \Delta sf_R - \gamma_R \Delta t_R - S_R \quad \text{Ec. (3)}$$

El significado de las variables puede ser observado en la Tabla 1 y la correspondiente deducción de las mismas se encuentra en el trabajo (Velásquez & Espín, 2015).

La automatización de la toma de datos durante el ensayo influye directamente en su tiempo de ejecución y en el cálculo de incertidumbre del resultado. Realizar este proceso es importante para la mejora de las capacidades operativas del laboratorio y una muestra de la mejora continua, exigida por los estándares de calidad.

El objetivo del presente artículo es cuantificar la influencia de un determinado proceso de ingeniería de automatización en la incertidumbre y tiempos de ensayo, esto ayudará a laboratorios paralelos a tener perspectiva sobre la mejora de sus procedimientos. Para este fin se ha ensayado una lámpara HID de sodio con el método usual del laboratorio y

el método automatizado, analizando sus respectivos resultados.

Tabla 1. Símbolos y nombres de las variables del modelo de incertidumbre de la esfera integradora del Laboratorio de Lumino-tecnia del INER

Símbolo	Variable
Φ	Flujo luminoso teórico
Φ_R	Flujo luminoso lámpara de referencia
V	Señal del fotosensor de lámpara de prueba
V_R	Señal del fotosensor de lámpara de referencia
Φ_{AR}	Flujo luminoso de absorbancia lámpara de referencia
Φ_A	Flujo luminoso de absorbancia lámpara de prueba
V	Voltaje de lámpara de prueba
C_V	Factor de calibración voltaje AC
V_0	Voltaje nominal lámpara de prueba
m_V	Exponente de variación corriente-flujo de lámpara de prueba
U_R	Voltaje de derivación de lámpara de referencia
C_R	Factor de calibración del multímetro
R	Resistencia de derivación
J_R	Corriente nominal lámpara de referencia
$corS_R$	Factor de corrección lámpara de referencia
$corS$	Factor de corrección lámpara de prueba
α	Coefficiente de temperatura ambiental de lámpara de prueba
ΔT	Diferencia de temperatura ambiental lámpara de prueba
Δsf	Factor espacial lámpara de prueba
γ	Coefficiente de envejecimiento lámpara de prueba
Δt	Tiempo de estabilización lámpara de prueba
S	Luz no deseada lámpara de prueba
Δsf	Factor espacial lámpara de prueba
γ	Coefficiente de envejecimiento lámpara de prueba
Δt	Tiempo de estabilización lámpara de prueba
α_R	Coefficiente de temperatura ambiental lámpara de referencia
ΔT_R	Diferencia de temperatura ambiental lámpara de referencia
Δsf_R	Factor espacial lámpara de referencia
γ_R	Coefficiente de envejecimiento lámpara de referencia
Δt_R	Tiempo de estabilización lámpara de referencia
S_R	Luz no deseada lámpara de referencia

Metodología

El ensayo de flujo luminoso consistía en la toma manual de datos por parte del personal del laboratorio para el registro de mediciones en archivos auxiliares, que permitían calcular la incertidumbre

combinada del ensayo. Los equipos usados en la Fig. 1 corresponden a un fotómetro PR-200D con cabeza fotométrica corregida con la función de visión fotópica ($V(\lambda)$), un multímetro Yokogawa WT310 que obtiene los parámetros eléctricos consumidos por la fuente de luz, una fuente de corriente continua ITECH IT6154 que energiza la lámpara para la medición de absorbancia y un termohigrómetro MSR-255 que mide la temperatura ambiental del cuarto. Todos los equipos se encuentran calibrados en laboratorios acreditados con la norma ISO/IEC 17025 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2015).

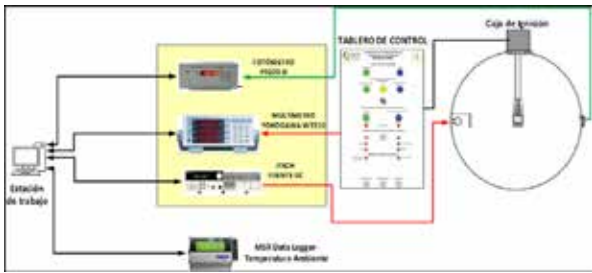


Figura 1. Sistema de medición en una esfera integradora. Fuente (De La Bastida, et al., 2017)

Se diseñó e implantó un sistema de adquisición automática que registró los datos de los equipos y realizó el cálculo de incertidumbre sin intervención del operador mediante una aplicación desarrollada en LabVIEW de acuerdo a lo expuesto en (De La Bastida, et al., 2017). La aplicación ejecuta flujos de programación paralelos para realizar tareas de análisis y muestreo de manera continua de las variables presentes en el ensayo (De La Bastida, et al., 2017).

El modelo de incertidumbre emplea los datos fotométricos y eléctricos registrados en las diversas etapas del ensayo. Los registros usados para el cálculo de la incertidumbre son aquellos verificados de acuerdo a los criterios de estabilización de la lámpara según la IES LM 51-13 (Illuminating Engineering Society of North America, 2013). El esquema de adquisición de datos y cálculo de las variables se puede observar en la Fig. 2.



Figura 2. Esquema del proceso de adquisición de datos para el análisis de estabilidad de flujo y registro de los datos de forma automática

Una vez automatizada la toma de datos, se procedió a realizar el ensayo según el método manual y automatizado, ambos de acuerdo a los procesos descritos en la Fig. 3.

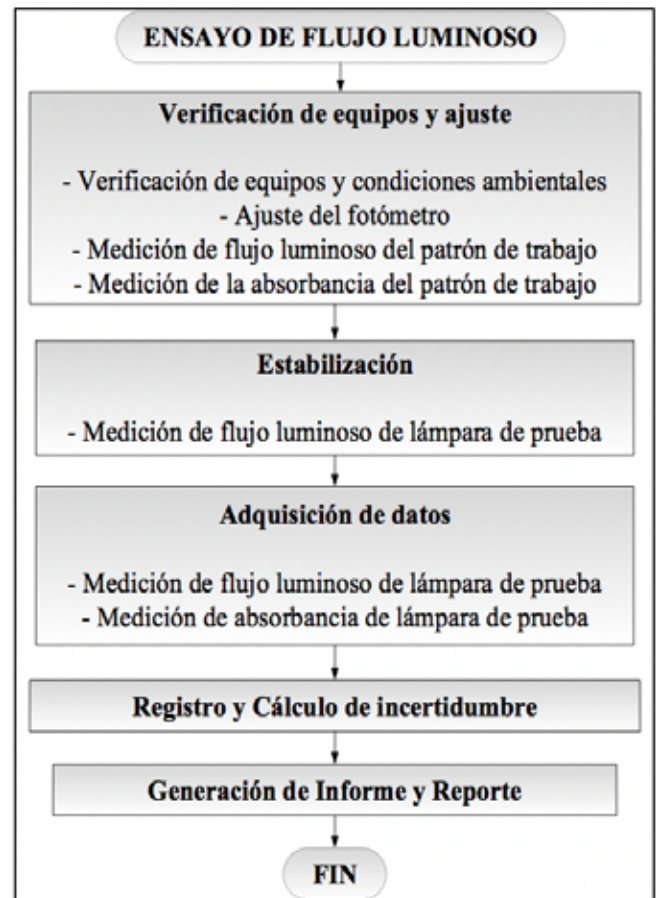


Figura 3. Esquema del proceso de ensayo de flujo luminoso para una lámpara usando una esfera integradora

Se calculó la incertidumbre en ambos ensayos y se procedió a comparar los resultados de cada variable, adicionalmente se tomaron medidas de tiempo para cada fase en cada método y se calculó la reducción total de tiempo.

Resultados y discusión

Las magnitudes medidas que intervienen en el cálculo de incertidumbre son la temperatura ambiental, flujo luminoso y voltaje consumido por la fuente de luz. Cada una de estas se monitorearon durante cada uno de los procesos realizados durante el ensayo de la lámpara HID.

Para el inicio de ambas pruebas se verificó que las condiciones ambientales se mantengan dentro de lo que dicta el método (Illuminating Engineering Society of North America, 2013).

Influencia en el cálculo de la incertidumbre combinada

Temperatura ambiental

El comportamiento de la temperatura durante el ensayo de la lámpara de prueba y lámpara de referencia se observan en la Fig. 4 y Fig. 5 respectivamente.

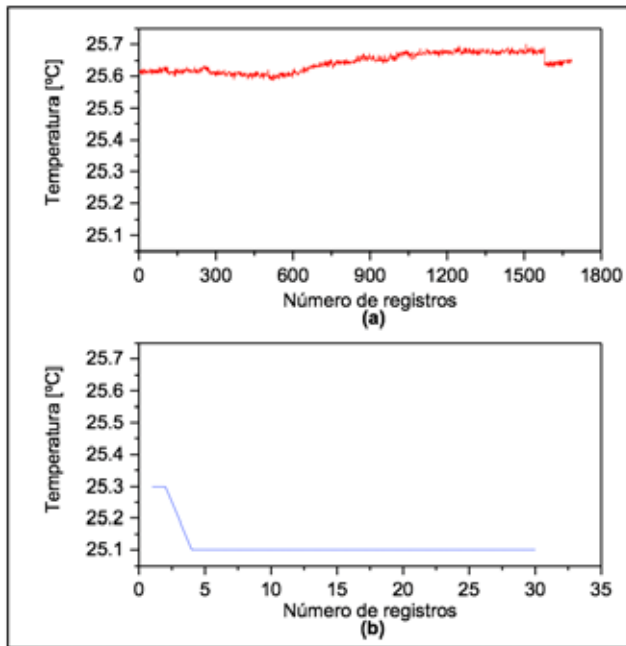


Figura 4. Evolución de toma de datos de temperatura durante el ensayo de lámpara de prueba (a) sistema automatizado y (b) sistema manual

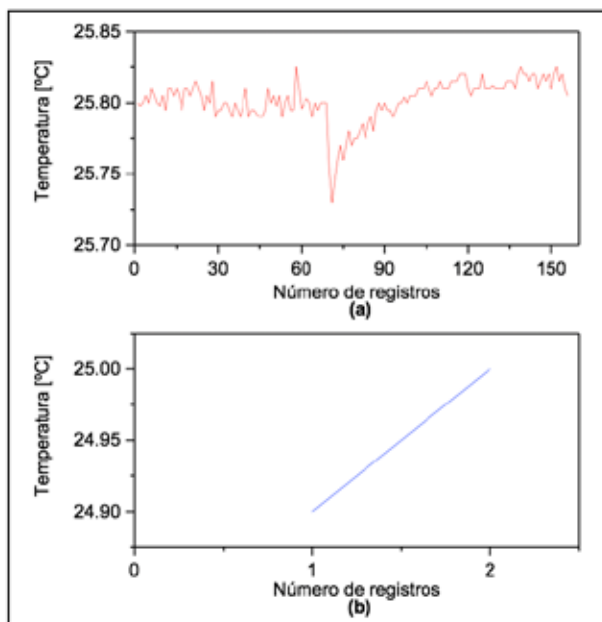


Figura 5. Evolución de toma de datos de temperatura durante la medición de flujo luminoso de lámpara de referencia (a) sistema automatizado y (b) sistema manual

La Figura 4 (a) y Figura 5 (a) correspondientes a la adquisición con sistema automático muestran una mayor cantidad de información de la evolución de temperatura durante el ensayo de cada lámpara. A diferencia de la Fig. 4 (b) y Fig. 5 (b) correspondien-

tes a la adquisición de manera manual que muestran poco detalle en la evolución de temperatura. Esto se debe a que la capacidad del sistema automatizado permite la adquisición de 1 registro cada segundo, en contraste con el sistema manual, la adquisición de datos del Termohigrómetro que está configurado a una tasa de muestreo de 1 registro cada minuto.

En la Tabla 2 se observa que el número de registros obtenidos con el sistema automatizado en ambos ensayos tiene un incremento de más del doble de datos obtenidos por el sistema manual.

Tabla 2. Número de registros de temperatura ambiental obtenidos usando el sistema manual y el sistema automático

Lámpara	Manual	Automático
Prueba	30	1685
Referencia	2	156

La diferencia en la cantidad de registros entre las lámparas de prueba y referencia se da por el tiempo de medición. La primera es aproximadamente 30 minutos y en la segunda 2 minutos.

Medición de flujo luminoso

La medición de flujo luminoso es el objetivo del ensayo, su evolución en las lámparas de prueba y referencia, medidas con el fotómetro PR-200D se observan en la Fig. 6 y Fig. 7 respectivamente.

Particularmente, en la Figura 6 (a) aparecen 8 picos que se apartan de la tendencia de los otros datos del flujo luminoso, este fenómeno no es más que un error de lectura propio del fotómetro PR-200D que independientemente con qué método se lo haga aparece de manera aleatoria. Estas medidas no son consideradas por el operador cuando se usa el sistema manual, por considerarlas un error de medida del dispositivo. En el sistema automatizado, las lecturas erróneas del dispositivo son minimizadas debido a que en el promedio de la gran cantidad de datos su ponderación tiende a cero.

En la Tabla 3 se muestra que la cantidad de registros obtenidos usando el sistema automatizado son 75 veces mayores a los datos obtenidos por el operador usando el sistema manual para la lámpara de prueba, y casi 3 veces más para la lámpara de referencia. Esto nuevamente comprueba la ventaja de la capacidad de registro del sistema automatizado sobre el sistema manual.

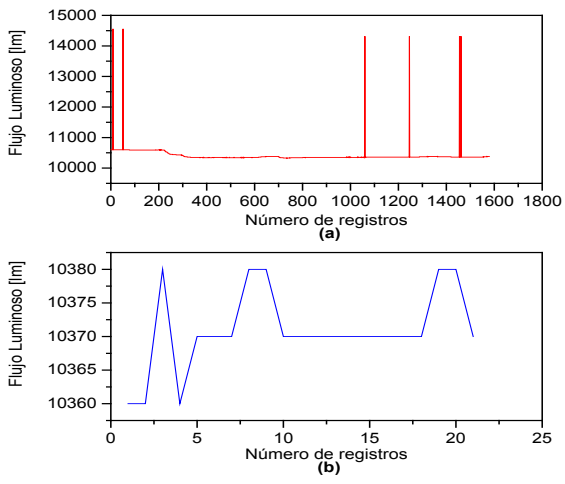


Figura 6. Evolución del flujo luminoso de la lámpara de prueba de descarga de alta intensidad (a) sistema automatizado y (b) sistema manual

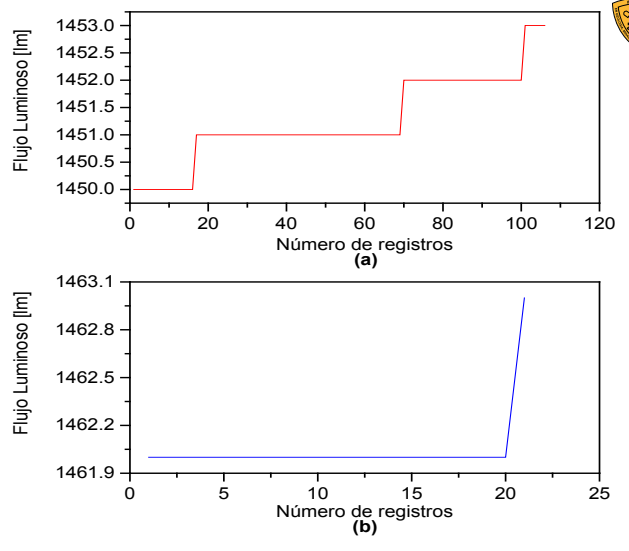


Figura 8. Evolución del flujo luminoso de la medición de absorbancia de la lámpara de prueba de descarga de alta intensidad (a) sistema automatizado y (b) sistema manual

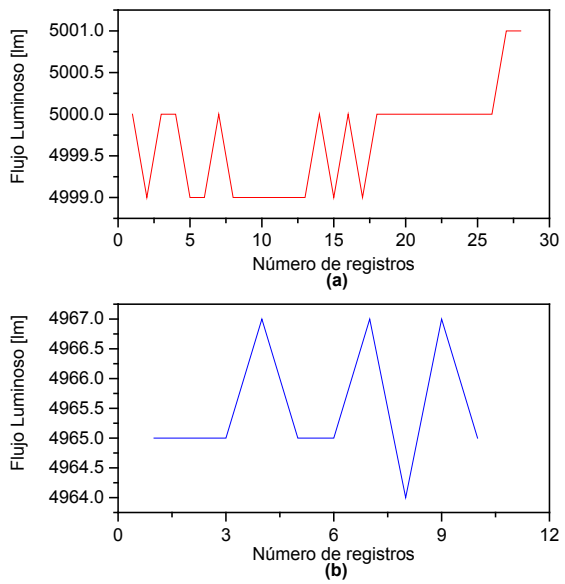


Figura 7. Evolución del flujo luminoso de la lámpara de referencia (a) sistema automatizado y (b) sistema manual

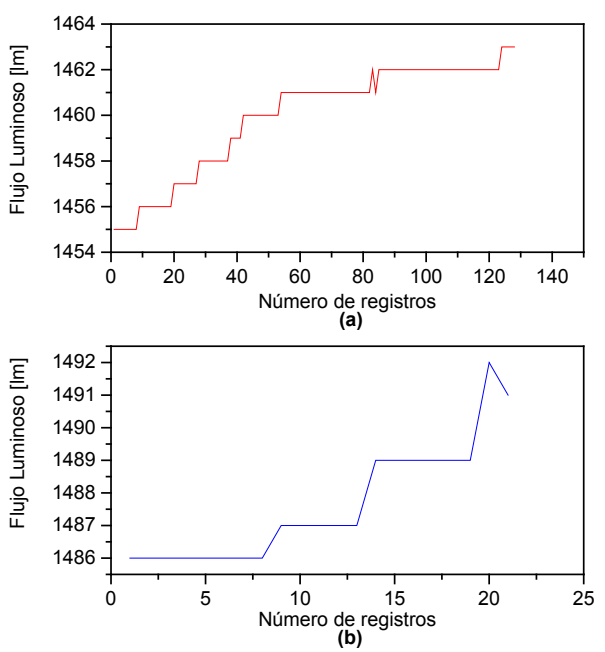


Figura 9. Evolución del flujo luminoso de la medición de absorbancia de la lámpara de referencia (a) sistema automatizado y (b) sistema manual

Tabla 3. Número de registros de temperatura ambiental obtenidos usando el sistema manual y el sistema automático

Lámpara	Manual	Automático
Prueba	21	1579
Referencia	10	28

Medición de absorbancia

La Figura 8 y Figura 9 corresponden a la medición de absorbancia de flujo luminoso de las lámparas de prueba y referencia respectivamente. Se puede observar una evolución del flujo luminoso mucho más definida por la cantidad de datos adquiridos con el sistema automatizado.

La Tabla 4 muestra que el número de registros obtenidos de la medición de absorbancia de las lámparas de prueba y referencia usando el sistema automatizado es 5 veces mayor a la cantidad de datos obtenidos de manera manual.

En la medición de absorbancia de ambas lámparas usando el método manual o automático, el número de registros es similar, debido a que la medición de absorbancia, independientemente de la lámpara, tiene un tiempo de medición similar.

Tabla 4. Número de registros de la absorbancia obtenidos usando el sistema manual y el sistema automático

Lámpara	Manual	Automático
Prueba	21	106
Referencia	21	128

Medición de voltaje

En la Figura 10 se muestra el comportamiento del voltaje durante la medición de la lámpara de prueba, observándose variaciones dentro de la ejecución del ensayo. El detalle de variación de voltaje es mucho más definido con el sistema automático, debido a que la cantidad de información registrada es 75 veces mayor que usando el sistema manual.

La Tabla 5 evidencia nuevamente la ventaja en la capacidad de monitoreo del sistema automático con lo cual el operador tiene mayor información del comportamiento eléctrico de la medición de la lámpara.

Tabla 5. Número de registros del registro de voltaje consumido por la lámpara de prueba usando el sistema manual y el sistema automático

Lámpara	Manual	Automático
Prueba	21	1579

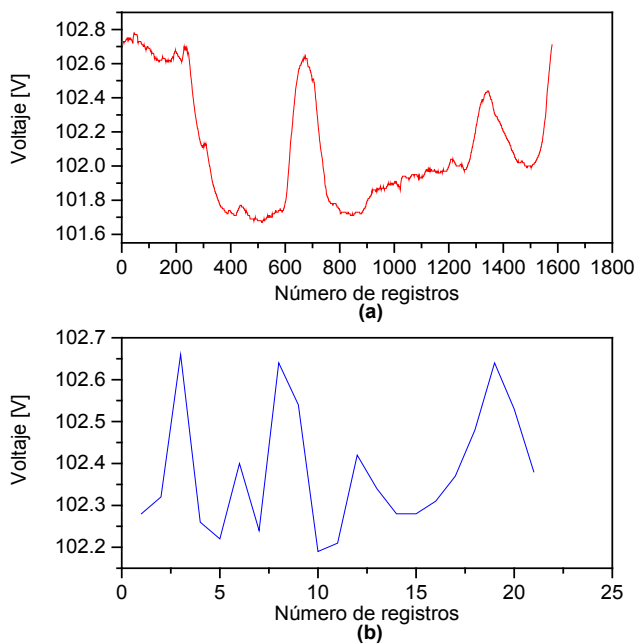


Figura 10. Evolución del voltaje consumido por la lámpara de prueba de descarga de alta intensidad (a) sistema automatizado y (b) sistema manual

Parámetros del modelo de incertidumbre

La influencia de la automatización se puede observar en el cambio de los valores correspondientes a los parámetros calculados por el modelo de incertidumbre y mostrados en la Tabla 6. Donde \bar{y} y \bar{t} son las temperaturas promedio de las lámparas de referencia y prueba respectivamente. GDL son los grados de libertad efectivos y k es el factor de cobertura del ensayo. Los demás parámetros corresponden a la Ec. (1) y se las puede encontrar en la Tabla 1.

En la diferencia de temperatura ambiental, tanto en la lámpara de referencia y la lámpara de prueba, se observa que la consecuencia de usar el método automatizado implica tener una variación 3 y 7 veces menor respectivamente.

Los valores de flujo luminoso de la lámpara de prueba obtenidos con los dos sistemas difieren en 0.36%, esto a pesar que el método automatizado incluye los errores de medida del dispositivo presentados en la Fig. 6 (a). Estos aportan un error de 38.89 lúmenes (lm), el cual es un valor despreciable por el rango de flujo medido de la lámpara HID, que en este caso es aproximadamente 10000 lm. Hay que mencionar que, si uno de estos picos coincidiera con la toma de un dato por el método manual causaría un incremento en el promedio de la medición.

Otra de las consecuencias de la automatización está en el número de grados de libertad efectivo, que es cinco veces mayor, lo que asegura un factor de cobertura igual a 2.

Finalmente, el valor de la incertidumbre combinada en el sistema manual difiere en la tercera cifra decimal del porcentaje con respecto al método automático, es decir 0.01%. Sin embargo, hablar de 3 cifras decimales porcentuales en una medición de flujo luminoso total carece de sentido físico, por tanto, tomando únicamente un decimal de la incertidumbre, conforme a la norma ISO/IEC 17025, su valor es de 7.5% en ambos casos. Esto implica que la toma de datos de forma automática verifica que la incertidumbre no se encuentra sobreestimada o subestimada, una forma distinta de tomar datos genera la misma incertidumbre de ensayo.

Tabla 6. Valores de los parámetros calculados dentro del modelo de incertidumbre usando el sistema manual y el sistema auto-mático.

	Parámetro	Sistema Manual	Sistema Automático
Lámpara de referencia		24.93	25.82
		0.0345	0.01104
		4965	4999.67
		1487.61	1459.94
Lámpara de prueba		25.12	25.65
		0.1897	0.02539
		10371.95	10409.84
		1462.05	1451.25
	V	102.38	102.10
Parámetros calculados del modelo de incertidumbre	GDL efectivos	50	288
	K	2	2
		10629.55	10466.15
	Incertidumbre combinada [%]	7.478742	7.4801145

cedimiento de ajuste del fotómetro del laboratorio adelantando a las características del sistema automatizado.

Durante el procedimiento de estabilización de la lámpara, ambos sistemas requieren el mismo debido a que el ítem de ensayo es del mismo tipo (tecnología de lámpara), sin embargo, es importante destacar que pueden existir lámparas con bondades técnicas mejores que permitan alcanzar la estabilidad en menor tiempo que el aproximado, en este caso el método manual tardará el mismo tiempo aproximado y el automatizado un tiempo menor ya que es capaz de detectar esta estabilización en tiempo real.

La tercera etapa muestra una reducción relativamente pequeña, este período se trata de la toma de datos (uno por minuto). El método manual depende del operador que demora 25 minutos en tomar 21 datos, el automatizado se demora solo 21 minutos tomando 1579 datos.

Las dos últimas etapas muestran una reducción total de tiempos, en el cálculo de incertidumbre y elaboración de informe que en el método manual el operador está obligado a realizar siempre en un mínimo de 20 y 30 minutos, el método automático lo realiza en menos de un minuto.

La Tabla 7 muestra los porcentajes de reducción en cada una de las etapas dentro del ensayo de flujo luminoso de una lámpara HID, donde en la primera etapa se tiene un incremento en el tiempo en un 50 % y desde la etapa de adquisición se ve un aumento del porcentaje de reducción del tiempo usando el sistema automatizado.

Tiempos de operación

La optimización del tiempo utilizado por ensayo es importante para mejorar la productividad. La Figura 11 muestra los indicadores de tiempos estimados en cada una de los procesos del ensayo de flujo luminoso usando el sistema manual y el sistema automático, estas etapas son las mismas que se encuentran en la Fig. 3.

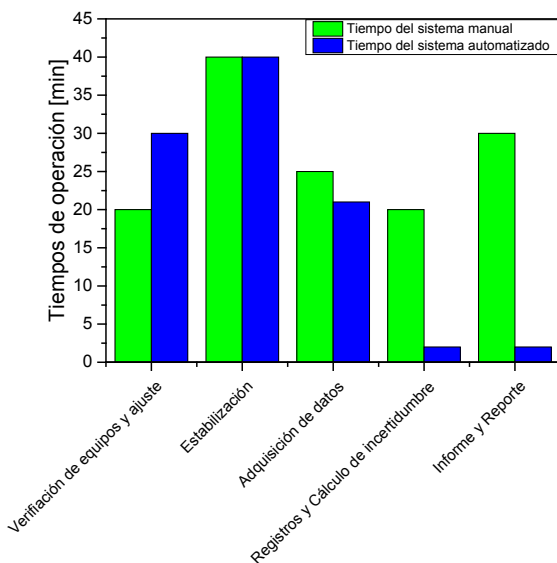


Figura 11. Tiempos de operación de cada una de los procesos de ensayo de flujo luminoso de una lámpara HID usando el sistema manual y el sistema automatizado

Se observa que durante la primera etapa de verificación y ajuste usando el sistema automatizado se requiere de un mayor tiempo, esto se debe al pro-

Tabla 7. Porcentaje de reducción de tiempos usando el sistema automatizado para ensayos de flujo luminoso

Fase del ensayo	Porcentaje de reducción de tiempo
Verificación de equipos y ajuste	- 50%
Estabilización	0%
Adquisición de datos	16%
Registros y Cálculo de incertidumbre	90%
Informe y Reporte	93%

La reducción del tiempo total de un ensayo se puede observar en la Fig. 12, donde se evidencia una reducción del 30%, o lo que equivale una disminu-

ción de 40 minutos por cada uno de los ensayos usando el sistema automatizado.

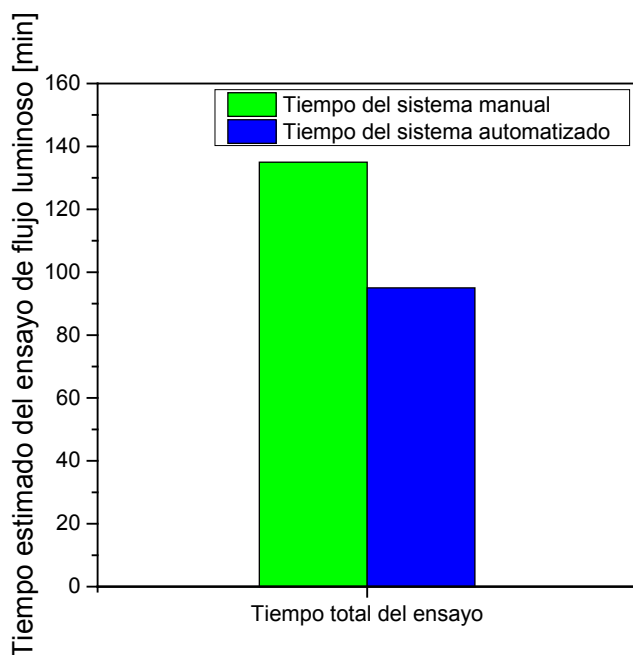


Figura 12. Tiempos totales estimados de duración de un ensayo de una lámpara HID usando el sistema manual y el sistema automático

Conclusiones

La automatización de la adquisición de los datos y cálculo de la incertidumbre combinada durante los ensayos de flujo luminoso mejoran el proceso, existe menos carga de análisis para el operador y evita errores de medición inherentes al ser humano.

Los errores propios de los dispositivos siguen presentes durante el proceso y su influencia en el valor promedio ha sido reducida por la gran cantidad de datos registrados, en particular los valores de flujo luminoso. La diferencia de la temperatura ambiental también se ha reducido por la cantidad de datos y el factor de cobertura igual a 2 ha sido asegurado.

El valor de la incertidumbre no se ha visto afectado, pero se debe tomar en cuenta que usando el método automatizado incluimos todos los errores de medición presentes (como los picos de flujo) y obtenemos los mismos resultados, y mediante el registro manual está la posibilidad que al reportar un error de medición los valores finales se vean comprometidos.

La reducción del tiempo de ensayo usando el sistema automático permite concluir que se puede incrementar la productividad del laboratorio en un 30% lo que permitiría cubrir una mayor demanda que se podría traducir en beneficio económico.

Referencias bibliográficas

Agencia de Regulación y Control de Electricidad, (2016). Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano, Quito: ARCONEL.

De La Bastida, R., Araguillin, R. & Sotomayor, N., (2017). Reingeniería como metodología para el desarrollo de instrumentación virtual y aplicaciones integrales. En: XXVII Jornadas en ingeniería eléctrica y electrónica. Quito: EPN, pp. 62-70.

Espín, F. y otros, 2016. Luminous Flux Variation on High-Pressure Sodium Lamps. Cuenca, UPS.

Illuminating Engineering Society of North America, (2013). IES Approved Method for the Electrical and Photometric measurement of High Intensity Discharge Lamps. New York : IESNA.

Illuminating Engineering Society, (2017). Approved Method for Total Luminous Flux Measurement of Lamps Using an Integrating Sphere Photometer. s.l.:Illuminating Engineering Society.

Instituto Ecuatoriano de Normalización , (2015). Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayos y de calibración, Quito: INEN.

Ministerio de Industrias y Productividad, (2016). Designación de Organismos de Evaluación de la Conformidad, Quito: MIPRO.

Velásquez, C. & Espín , F., (2015). Cálculo de la incertidumbre combinada en un goniófotómetro de espejo rotante tipo C y una esfera de Ulbricht. I+-T+C Investigación, Tecnología y Ciencia, 1(9), pp. 29-35.



Problemáticas en la función investigativa desde la perspectiva del profesor novel universitario

Problematics in the investigative function from the perspective of the university novel teacher



Guerrero Gallardo Héctor Iván
Ph.D. en Investigación Educativa Docente
Universidad Central del Ecuador
e-mail: higuerrero@uce.edu.ec

Resumen

En la actualidad el estudio de las problemáticas del profesorado novel universitario resulta importante para la generación de propuestas que permitan contribuir a su desarrollo profesional. El objetivo propuesto, permitió establecer las problemáticas del profesorado novel universitario en su función investigativa. La investigación, responde a un enfoque cualitativo. Los sujetos investigados, fueron 68 docentes noveles de la Universidad Central del Ecuador. En la metodología, se recurrió al análisis de entrevistas, mediante una guía de base estructurada con la intención de comprender e interpretar el significado de los relatos de los protagonistas. Los resultados alcanzados, permitieron develar que, del total de participantes, se comprobó que un 65,84% de profesores noveles, manifestó que sus problemáticas en la función investigativa, se deben a condicionantes institucionales. Mientras que un 29,19% de protagonistas, afirmó que sus problemas responden a condicionantes personales. Finalmente, un 4,97% de participantes, mencionaron no tener problemas. Se concluyó, que los problemas del profesorado novel universitario en sus funciones investigativas, son: la baja cultura investigativa que prima en la comunidad universitar-ia, la falta de apoyo de las autoridades institucionales para asignar presupuestos requeridos y la falta de formación académica que tiene el profesorado en la metodología de la investigación científica.

Palabras clave: *problemas del profesorado novel; desarrollo profesional universitario*

Abstract

At present the study of the problems of the university novel teacher is important for the generation of proposals that contribute to their professional development. The proposed objective allowed to establish the problems of the new university teaching staff in their investigative function. The research responds to a qualitative approach. The subjects investigated were 68 new teachers from the Central University of Ecuador. In the methodology, the analysis of interviews was used, through a structured base guide with the intention of understanding and interpreting the meaning of the stories of the protagonists. The results achieved, allowed to reveal that, of the total of participants, it was found that 65.84% of novice teachers, said that their problems in the investigative function, are due to institutional constraints. While a 29.19% of protagonists, said their problems respond to personal constraints. Finally, 4.97% of participants mentioned having no problems. It was concluded that the problems of the university novel faculty in their investigative functions are: the low research culture that prevails in the university community, the lack of support from the institutional authorities to allocate required budgets and the lack of academic training that teachers have in the methodology of scientific research.

Keywords: *novel teacher problems; university professional development*

Introducción

El siglo XXI se está identificando, por los permanentes cambios que se están produciendo en el planeta en cuanto a sociedad, política, economía, tecnología, educación y trabajo. Por ello, las universidades determinan su aporte para vincularse adecuadamente a las necesidades de la sociedad a través de la generación de ciencia, tecnología e investigación. En ese sentido, los cambios contextuales generan cambios en las tareas, funciones y roles que desarrollan los profesores en las comunidades universitarias. Dentro de este marco, se percibe la necesidad de que los docentes noveles sean desarrollados profesionalmente para impulsar la metodología de la investigación científica en sus estudiantes y coadyuven al avance de la ciencia y la tecnología en el entorno universitario.

Al respecto, Sánchez y Flores (2013), subrayan “la integración de la IEU con la sociedad precisa de un proceso educativo que necesariamente parta de una concepción global de los problemas humanos y de sus soluciones, así como de una visión holística del mundo” (p. 168). Dentro de este marco, se puede vislumbrar que las instituciones educativas universitarias (IEU), deben considerar a la globalización como un proceso histórico de unificación en los ámbitos políticos, económicos, sociales, culturales y tecnológicos, que han convertido al mundo en un lugar cada vez más interconectado, en una aldea global; lo que implica, que se deben fortalecer los procesos para el desarrollo profesional de los docentes universitarios de conformidad a las necesidades de la educación que se desenvuelve en un mundo globalizado y un mercado cada vez más competitivo. Por consiguiente, los procesos de formación para los docentes universitarios deben propender al desarrollo de competencias profesionales para coadyuvar en la resolución de los problemas del entorno social aplicando el método científico.

Según las Naciones Unidas (2014), asegura que los gastos en investigación y desarrollo, % del PIB (Producto Interno Bruto), desde 1996 al 2014, el valor medio para el Ecuador durante ese periodo fue de 0,21% con un mínimo de 0,05% en 2001 y un máximo de 0,44% en el 2014. Evidentemente, con ello se demuestra que el país ecuatoriano, se encuentra en niveles inferiores para aportar con el avance de la ciencia, tecnología e innovación, en comparación con el resto de países de su región y a nivel mundial. En este sentido, el Banco Mundial define a los gastos en investigación y desarrollo como los gastos de corrientes y de capital (público y privado) en trabajo creativo realizado sistemáticamente para incrementar los conocimientos para nuevas aplicaciones. Precisamente, el análisis de los datos que preceden, motivó a indagar las problemáticas del profesorado novel universitario en sus funciones investigativas.

Enfatizando, que en la institución objeto de estudio no existen indagaciones relacionadas con esta temática, por lo que la presente investigación, resulta novedosa y de interés para los distintos actores educativos.

Conforme el informe de evaluación emitido por el Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior, parte, la Universidad Central del Ecuador está ubicada en la categoría “B” (Resolución No. 001-073-CEAACES-2013-292013), resaltando que, en dicho proceso se consideraron, metodologías de análisis multicriterio y análisis de conglomerados, mediante cinco criterios: academia, eficiencia académica, investigación, organización e infraestructura. Por ende, conviene señalar que el criterio investigación, dentro del modelo de evaluación institucional, permite determinar el nivel en que las universidades generan nuevos conocimientos a través de la investigación científica (CEAACES, 2013). En esta perspectiva, es fundamental destacar, el papel que juegan los procesos de desarrollo profesional del profesorado universitario para coadyuvar a impulsar la investigación científica que se generan en los distintos contextos universitarios.

Por su parte, Villacís (2014), señala “la Universidad ha tenido que enfrentar una escasez de profesores debido a la salida de unos 300 profesores en febrero de 2014. La edad, la jubilación complementaria y los requisitos académicos para poder dar clases son los factores que motivaron la masiva renuncia”. Dentro de este marco, se puede vislumbrar que, en forma progresiva, muchos docentes antiguos con gran trayectoria y experiencia profesional decidieron retirarse de la carrera profesional universitaria. Por consiguiente, esa gran experiencia profesional debe ser reemplazada con nuevos docentes luego de haber ganado concursos públicos de merecimientos y oposición para completar la planta docente conforme necesidades de las distintas unidades académicas que integran la comunidad universitaria. Inmediatamente, es imprescindible que el profesorado novel debe ser desarrollado profesionalmente para que cumpla sus funciones básicas, como son: la docencia, la investigación y la vinculación con la sociedad, en las mejores condiciones.

El desarrollo profesional del profesorado novel universitario, es un proceso continuo, sistemático y organizado, de estructuración y reestructuración de competencias profesionales (Aramburuzabala, Hernández y Ángel, 2013). En otras palabras, debe ser comprendido como un proceso complejo que permite mejorar la calidad educativa de las organizaciones; así como también, incrementa el nivel de desempeño del profesorado en su entorno (González, Vicent, García, e inglés, 2014). Por este motivo, en las instituciones educativas de nivel superior, se deben viabilizar distintos



procesos que coadyuvan a su formación profesional y que deben caracterizarse por ser continuos a fin de que los docentes nuevos y experimentados fortalezcan sus funciones básicas (Díaz y del Toro, 2013). Por lo tanto, el desarrollo profesional comprende procesos de crecimiento, progreso, adecuación, en relación con las competencias profesionales requeridas para incrementar su desempeño profesional conforme las necesidades de desarrollo institucional y social del contexto (Antoli, 2016). Sobre la base de las ideas expuestas, el desarrollo profesional del profesorado universitario puede ser interpretado como un concepto amplio y complejo que consigue englobar múltiples significados, procesos y representaciones que posibilitan el fortalecimiento de las competencias profesionales del profesorado en los entornos universitarios.

El profesorado novel demanda de una etapa de inducción y para ello requiere, procesos de formación profesional (Bozu, 2010). Por ello, se puede entrever que el profesorado novel es un profesional nuevo, que se inicia en las actividades laborales y posee poca experiencia en la docencia (Bozu, 2009). Ante la situación planteada, el docente novel universitario, es considerado como un inexperto en los procesos institucionales (Lledó et al., 2015). Es evidente entonces, que el profesor novel, es un profesional con poca trayectoria, que se encuentra en un momento de transición entre los conocimientos, habilidades y actitudes aprendidas en sus procesos de formación académica, y la puesta en acción de lo aprendido en el marco real de la intervención pedagógica conforme los requerimientos de la comunidad universitaria, lo que justifica plenamente de apoyo a través de procesos de formación y acompañamiento para desarrollarse profesionalmente.

El desarrollo profesional de los docentes noveles universitarios, resulta ser un proceso complejo donde pueden intervenir una serie de factores. Al respecto, Cardona (2008), sostiene “buscamos constatar el pensamiento de los profesores acerca de aquellas medidas que es necesario adoptar para evitar, o paliar, las situaciones difíciles a las que ha de responder el docente en la escuela actual para lograr la calidad deseada” (p. 31). Dentro de este orden de ideas, conviene valorar la preocupación por la formación de los profesores noveles, ya que en los primeros años de haberse incorporado a una institución educativa de nivel superior se forman y se consolidan la mayor parte de los conocimientos, habilidades y actitudes que pondrán en práctica para el ejercicio de la profesión docente. Atendiendo estas consideraciones, conviene invertir para la permanencia del docente universitario y asegurar que la enseñanza universitaria sea de calidad con el profesorado mejor preparado.

Según Cortés, Leite y Rivas (2014) aseveran “una perspectiva narrativa nos puede ofrecer la posibilidad, como se ha puesto de manifiesto en esta experiencia, de integrar estos elementos de discusión y análisis

como base de la comprensión y reconstrucción del significado de la práctica educativa y/o docente” (p. 212). Evidentemente entonces, se puede dilucidar que resulta importante recurrir a las narrativas de los de los protagonistas, como instrumentos de investigación que permiten visualizar e interpretar cómo se construye la idea del desarrollo profesional de un colectivo expuesto sistemáticamente a cambios. Una perspectiva narrativa puede ofrecer la posibilidad de integrar elementos de discusión y análisis como base de la comprensión y reconstrucción del significado de la práctica educativa y/o docente. A fin de cuentas, comprender la construcción de la identidad docente, es una forma de repensar nuevas vías de desarrollo profesional, desde su experiencia en las propias aulas.

Vivas, Becerra y Díaz (2005), sostienen “los resultados arrojan una discordancia entre las funciones de docencia e investigación. Los profesores noveles no investigan sobre su práctica docente, ni están vinculados con grupos de investigación” (p. 11). Es evidente entonces, que el profesorado principiante en las comunidades universitarias tiene problemas en el inicio de sus actividades investigativas, tampoco está involucrado en centros de investigación. En consecuencia, el profesorado novel universitario demanda de procesos de formación profesional para perfeccionar sus competencias en el ámbito investigativo.

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

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

Sujetos y métodos

Población de estudio

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

Metodología

Se realizó un estudio investigativo con enfoque cualitativo con el criterio de comprender e interpretar el significado de las narrativas de los protagonistas. En

este sentido, se aplicaron tres fases fundamentales: En primer lugar, la fase preparatoria o inicial, que contempló dos etapas esenciales: la reflexión teórica referencial y el diseño del trabajo en el campo. En segundo lugar, la fase de desarrollo, donde se aplicaron tres etapas: acceso al campo, recopilación de los datos y el análisis de los datos. En tercer lugar, la fase del informe de presentación de resultados para su difusión en la comunidad científica.

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

El muestreo fue no probabilístico, de tipo intencional, dirigida a 68 profesores nuevos provenientes de 17 Facultades, distribuidas en 4 áreas del conocimiento: Humanidades, Ciencias de la Vida, Ciencias Sociales, Físico Matemática con la finalidad de que la muestra sea representativa en función de las características de la realidad institucional conforme a su estructura y dinámica organizacional. Con relación a los datos sociodemográficos de la muestra, la mayoría tenía

hasta 4 años de experiencia laboral en la institución (86.71%), laborando a tiempo completo (82.35%) y ubicados en la categoría Auxiliar (86.76%).

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

Para el proceso de tratamiento y análisis de los datos cualitativos fue necesario recurrir al software informático Aquad 6, Huber y Gürtler (citado en Fombona, Iglesias y Lozano, 2016) herramienta que facilita la interpretación de las narrativas de los participantes en una serie de temáticas emergentes. Para lo cual, preliminarmente se elaboró una matriz de coherencia (objetivos, cuestiones de investigación, marco conceptual, preguntas de entrevista, categorías, códigos y subcódigos) a partir de las unidades de texto de las narrativas de los entrevistados. Enfatizando, que dicha matriz fue validada mediante la triangulación de expertos, lo que permitió el diseño conceptual y descripción de las temáticas a través de un sistema de códigos inferenciales generados para su interpretación.

Resultados

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

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

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

Elaborado por: Guerrero Gallardo Héctor Iván

Fuente: Entrevistas aplicadas a docentes noveles universitarios (2014)

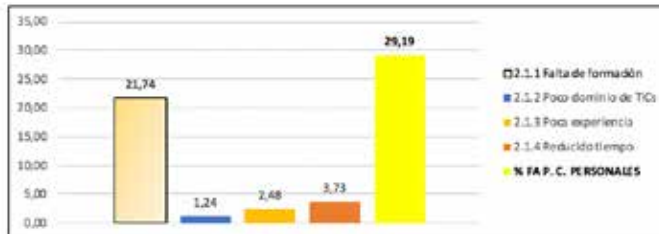


Figura 1. Porcentajes de las problemáticas que se deben a condicionantes personales.

Como se observa en la figura 1 del total de entrevistados, un 29,19% afirman que sus problemas responden a condicionantes personales, donde se aprecia en el subcódigo 2.1.1 que sobresale un 21,74% de los participantes, que asevera que sus problemáticas en las funciones investigativas, se deben a que no tienen la suficiente formación académica para el dominio de la metodología para la investigación científica. Los siguientes fragmentos, dan muestra de ello:

El desconocimiento del formato en sí para poder trabajar. Todo lo que es la estructura de la investigación, sobre todo, la metodología de la investigación científica (Participante 010).

En investigación científica. La dificultad de plantear el problema, el planteamiento del problema, el inicial, el darle un rumbo a la investigación, esa es la parte más difícil (Participante 013).

Bueno, yo creo que primero personales. No estamos capacitados. Lamentablemente hay que ser bien claros en la parte de investigación (Participante 046).

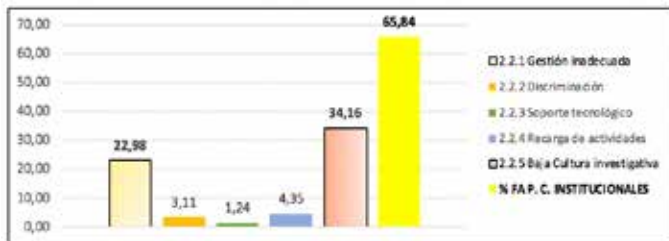


Figura 2. Porcentajes de las problemáticas que se deben a condicionantes institucionales.

Conforme la figura 2 se puede visualizar del total de entrevistados, un 65,84% señalan que sus problemas se deben a condicionantes institucionales; de donde, en el subcódigo 2.2.1 se puede apreciar que prevalece un 22,98% de los participantes, que aseguran que los problemas en la investigación, se deben a que no existen suficientes asignaciones presupuestarias y falta de organización de las autoridades institucionales para cubrir recursos económicos requeridos para los procesos de investigación. Las siguientes narrativas de texto justifican estas afirmaciones:

Bueno, la mayor dificultad que había es la falta de presupuesto. Yo por ejemplo tenía un proyecto que lo presenté desde el año 2003 hasta hoy. Lo he presentado unas 6 veces y recién apenas ahora en esta administración me aprobaron este proyecto (Participante 055).

Falta de organización institucional, tal vez. El tema de tener, de sentarse un buen ratito, tener claro y po-

nerse a escribir con claridad los objetivos, hacer un esquema, tener el tiempo de sentarse a investigar (Participante 013).

La dificultad que yo he visto está dentro de la organización universitaria. Yo le cuento como anécdota que me fui al centro de investigación y en el mismo centro de investigación, no nos supieron dar una respuesta. Mi posición como docente contratado y con contrato ocasional se muestra turbia dentro de las leyes (Participante 030).

A diferencia de los porcentajes que se pueden observar, en el subcódigo 2.2.5 se verifica que sobresale un 34,16% de participantes que afirman que los problemas en el inicio de la investigación, se deben a la baja cultura de investigación existente en los distintos actores de la comunidad universitaria, lo que repercute notablemente en sus actividades investigativas que tienen que cumplir. Los siguientes fragmentos, corroboran tales afirmaciones:

Bueno, no hay una cultura de investigación. No se ha dado mucho en cuanto a la investigación se refiere y en parte también se requiere de varios recursos económicos (Participante 007).

Porque realmente no tenemos una cultura de investigación. Es esa la realidad. No tenemos una cultura de investigación (Participante 005).

Que en el país se tiene un proceso de investigación bastante precario. Nosotros en nuestra realidad cotidiana, nosotros no estamos preparados para la investigación (Participante 025).

De las narrativas que anteceden en relación al código descrito, se puede vislumbrar que, del total de entrevistados, un 57,14% sostiene que sus problemas responden a condiciones institucionales, donde predominan la baja cultura de investigación de los diferentes actores educativos y la falta de apoyo de las autoridades institucionales para otorgar asignaciones presupuestarias para la ejecución de proyectos de investigación del profesorado.

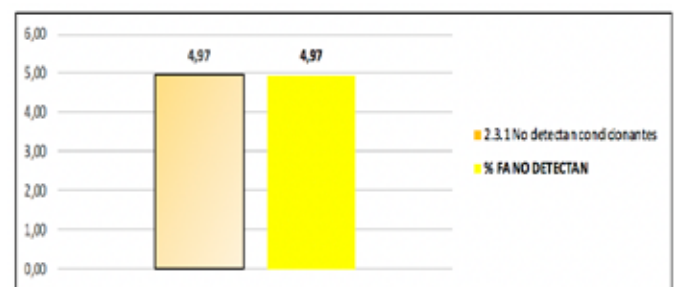


Figura 3. Porcentajes del código no detectan problemáticas.

La figura 3 permite apreciar que, del total de entrevistados, en el subcódigo 2.3.1 prevalece un 4,97% de protagonistas que afirma, que no tienen dificultades o no detectan situaciones que perjudiquen sus funciones investigativas. Así, por ejemplo:

No he tenido ninguna dificultad. Hemos tenido la apertura total del caso para presentar trabajos cortos de investigación. (Participante 053)

Discusión

Los resultados obtenidos en el presente estudio, permiten descubrir que un 65,84% de participantes, afirma en sus narrativas, que sus problemas en las funciones investigativas responden a condicionantes institucionales. Sobresaliendo un 22,98% de participantes, que asevera que la limitada gestión de las autoridades son la causa principal de sus problemáticas en el inicio de la investigación, haciendo notorio que la falta de organización y la falta de apoyo para las asignaciones presupuestarias, afectan los procesos en sus funciones investigativas. Por otro lado, predomina un 34,16% de los protagonistas que afirma que la baja cultura investigativa en los distintos actores educativos, son otro motivo que interfiere en el inicio de sus funciones investigativas.

Evidentemente los hallazgos de la presente investigación difieren con los estudios de (Martínez y Sauleda, 2006 a; Cáceres et al., 2003) que destacan que al profesorado universitario se lo evalúa por su producción de conocimientos y la resolución de problemas. Dentro de este marco, se puede destacar que el conocimiento científico es un aspecto fundamental para el desarrollo de las comunidades universitarias. Por consiguiente, si no existe producción científica desde el docente, también puede afectar con baja cultura investigativa en la comunidad universitaria. Por ende, el docente novel universitario se siente en desventaja competitiva para el uso de la investigación como una herramienta que le permita llegar a la verdad de los fenómenos y objetos investigados.

En cambio, los resultados obtenidos en la presente investigación concuerdan con los estudios de (Martínez y Sauleda, 2006 b; Vivas, Becerra y Díaz, 2005), quienes sostienen que el docente novel no investiga sobre sus procesos académicos, ni se integran a grupos de investigación, lo que demanda de nuevas tendencias pedagógicas para sus procesos de formación. Ello coincide, con lo que en este estudio se devela. En este sentido, a juzgar por sus aportaciones, vale la pena destacar la relevancia que tiene el proceso de formación profesional en los docentes noveles universitarios en el área investigativa con la finalidad de incrementar sus competencias profesionales en el dominio del proceso investigativo para atender necesidades y problemas del contexto universitario. En este propósito, el éxito de cualquier propuesta para el desarrollo profesional del profesorado novel universitario, debería caracterizarse por mantener un proceso de formación profesional permanente que permita al docente principiante potenciar sus habilidades, conocimientos y valores en los procesos de investigación para la producción de nuevos conocimientos y la resolución de problemas en su ámbito profesional.

En cambio, según los logros obtenidos en el presente estudio, se pudo comprobar que un 29,19% del profesorado novel universitario entrevistado, asegura en sus narrativas, que otra causa que trasciende en los

problemas de la función de investigación se debe a condicionantes personales, dejando entrever, que un 21,74% de participantes, asevera en sus relatos, que la falta de formación académica en la metodología de la investigación científica es la causa esencial de sus problemas, haciendo notorio la necesidad de procesos de formación profesional en el área investigativa y la generación de planes, programas, proyectos que promuevan la investigación como eje transversal para el desarrollo institucional.

Los hallazgos obtenidos en la presente investigación son afines con los estudios realizados por Martínez y Sauleda (2004), Mas Torelló (2011) y Marcano y Aular (2013), quienes exaltan sobre la importancia de establecer programas, la creación de redes de investigación y la formación del profesorado universitario para desarrollar actividades y proyectos de investigación en diferentes áreas del conocimiento para brindar bienestar a la sociedad y a las comunidades científicas. Ello demuestra, la coincidencia con los resultados alcanzados en la presente investigación. Dentro de este marco, se puede comprender lo esencial que resulta el dominio de la metodología de la investigación científica por parte del profesorado universitario, para fomentar la cultura investigativa en la comunidad universitaria. En forma análoga, el desconocimiento y la falta de aplicación de la investigación generan una baja cultura investigativa en los distintos actores educativos que no aportan al avance de la ciencia y la tecnología. Consecuentemente, es esencial la creación de equipos multidisciplinares y redes de investigación en las comunidades universitarias.

Pretendiendo dar un significado a los resultados obtenidos en la presente investigación, se puede interpretar, que existe inconformidad en el profesorado novel participante, respecto al nivel en que se encuentran sus conocimientos, habilidades y valores que son primordiales para cumplir en forma adecuada sus funciones de investigación, lo que indica una tendencia de desmotivación respecto a su nivel de competencias profesionales que son indefectibles para la resolución de problemas y la producción de nuevos conocimientos.

Conocidos los hallazgos del presente estudio, es pertinente prestar atención al estudio de Martínez y Sauleda (2005), quienes defienden sobre la importancia de la conformación de redes o alianzas para la promoción de la investigación con la finalidad de buscar adecuadas alternativas frente a las problemáticas investigadas. Sobre la base de estas ideas, se puede subrayar la importancia del rol y gestión que cumplen las autoridades para propiciar el desarrollo institucional, es decir, deben caracterizarse por articular su estilo de gestión con otros organismos y comunidades universitarias mediante la concreción de convenios y alianzas estratégicas para propender al desarrollo profesional del profesorado principiante, determinando un modelo de desarrollo profesional



que involucre al profesorado novel para perfeccionar sus competencias profesionales requeridas para los procesos de investigación de las unidades académicas donde se desempeñan y posteriormente posibilitar su inserción en centros de investigación a nivel institucional; así como también, se requiere la creación de redes de centros de investigación a nivel nacional e internacional. Finalmente, es imprescindible el estímulo y reconocimiento a la labor que cumple el profesorado en las comunidades universitarias buscando estrategias que posibiliten el auspicio y el financiamiento para su participación en distintos congresos, seminarios y programas encaminados al fortalecimiento de la investigación, el desarrollo y la innovación en distintas áreas del conocimiento.

Conclusiones

En definitiva, la contribución del presente estudio, ha permitido develar que existen tres factores desde la perspectiva de los protagonistas, que se constituyen en principales causas de las problemáticas que enfrenta el profesorado novel universitario en el inicio de sus funciones investigativas, como son: En primer lugar, se deben a condicionantes institucionales, donde sobresale, la baja cultura investigativa que existe en los distintos actores educativos. En segundo lugar, también se deben a condicionantes institucionales, donde prevalece, la falta de apoyo de las autoridades para asignar presupuestos requeridos por los docentes para los procesos de investigación. En tercer lugar, sus problemas responden a condicionantes personales, donde se destaca que sus dificultades, se deben a la falta de formación académica que tiene el profesorado respecto a la metodología de la investigación científica. Significa entonces, que el profesorado novel participante por su limitada formación profesional, carece de suficientes competencias profesionales para contribuir con la producción de nuevos conocimientos y la resolución de problemas en su ámbito profesional, lo que justifica plenamente la necesidad de procesos de formación profesional continuos para contribuir a su desarrollo profesional en la comunidad universitaria.

Recomendaciones

- Es necesario, perfeccionar los procesos de formación profesional del profesorado novel universitario a través de distintos modelos de formación profesional.
- Resulta importante, impulsar la cultura de investigación en los distintos actores educativos mediante enfoques cualitativos y cuantitativos para descubrir otros factores que pueden afectar la función investigativa del profesorado novel.
- Es fundamental, diferenciar distintas fases que son requeridas para el desarrollo profesional del profesorado universitario a fin de perfeccionar compe-

tencias profesionales de los docentes principiantes y docentes con mayor trayectoria.

- Es indispensable en los entornos universitarios, el mejoramiento de la gestión institucional mediante distintos modelos y sistemas de gestión para asegurar la calidad educativa en las instituciones educativas de nivel superior.

Referencias bibliográficas

- Antoli, V. (2016). Desarrollo profesional del profesor universitario. *Campo Abierto. Revista de Educación*, 10 (1), 175-197. Recuperado de: <http://mascvuex.unex.es/revistas/index.php/campoabierto/article/view/2622>
- Aramburuzabala, P., Hernández Castilla, R., y Ángel Uribe, I. (2013). Modelos y tendencias de la formación docente universitaria. *Profesorado Revista de currículum y formación del profesorado*. Vol. 17 (3), 346-356. Recuperado de: <http://digibug.ugr.es/bits-tream/10481/30073/1/rev173COL9.pdf>
- Bozu, Z. (2009). El profesorado universitario novel y su proceso de inducción profesional. *Magis. Revista Internacional de Investigación en Educación*, 1 (2), 317-328. Recuperado de: <http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/MAGIS/article/view/3387/2576>
- Bozu, Z. (2010). El profesorado universitario novel: estudio teórico de su proceso de inducción o socialización profesional. *Revista Electrónica de Investigación y Docencia (REID)*, (3), 55-72. Recuperado de: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codi-go=3186125>
- Cáceres, M., Lara, L., Iglesias, M., García, R., y Bravo, G. (2003). La formación pedagógica de los profesores universitarios. Una propuesta en el proceso de profesionalización del docente. *Revista Iberoamericana de Educación*, (33), 1-14. Recuperado de: <http://www.rieoei.org/deloslectores/475Caceres.pdf>
- Cardona Andújar, José (2008). Problemática actual del profesorado: algunas soluciones. *Enseñanza: Revista interuniversitaria de didáctica*, (26), 29-56. Recuperado de: http://campus.usal.es/~re-vistas_trabajo/index.php/0212-5374/article/viewFi-le/684/858
- CEAACES (2013). Resolución No. 001-073-CEAACES-2013-29. El Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior. Consultado el 19 de febrero de 2018. Recuperado de: <http://www.ceaaces.gob.ec/sitio/wp-content/uploads/2013/10/RESOLUCIO%C-C%81N-No.-001-073-CEAACES-2013-29-UCE.pdf>
- CEAACES (2013). Informe General sobre la Evaluación, Acreditación y Categorización de las Universi-

- dades y Escuelas Politécnicas. Dirección de Acreditación de Universidades y Escuelas Politécnicas. Recuperado de: <https://universidadsociedadec.files.wordpress.com/2014/04/ceaaces-informe-general-eval-accred-categn.pdf>
- Cortés González, P., Leite Méndez, A., y Rivas Flores, (2014). Un enfoque narrativo de la identidad profesional en profesorado novel. pp. 199-214. *Tendencias Pedagógicas*, (24), 199-214. Recuperado de: <https://revistas.uam.es/tendenciaspedagogicas/article/download/2101/2199>
- Díaz, R. T., y del Toro, P. S. (2013). Estrategias de intervención para la formación de competencias profesionales en la educación superior. *Pedagogía Universitaria*, 15 (5), 39-53. Recuperado de: <http://cvi.mes.edu.cu/peduniv/index.php/peduniv/article/view/554/553>
- Fombona, J., Iglesias, M., y Lozano, I. (2016). El trabajo colaborativo en la educación superior: una competencia profesional para los futuros docentes. *Educação & Sociedade*, 37(135), 519-538. <https://dx.doi.org/10.1590/ES0101-73302016147914>
- González M., Vicent M., García, J., e Inglés C. (2014). La concepción del desarrollo profesional docente como factor influyente en la actividad educativa. XII Jornadas de Redes de investigación en Docencia Universitaria. El reconocimiento docente: innovar e investigar con criterios de calidad, Universidad de Alicante, España, 650-665. Recuperado de: http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/41831/1/2014_XII_Jornadas_Redets_51.pdf
- Las Naciones Unidas (2014). Ecuador: Gasto en I +D (investigación y desarrollo), % del PIB. Recuperado de: http://es.theglobaleconomy.com/Ecuador/Re-search_and_development/
- Lledó Carreres, A., González Macià, C., Vicent Juan, M., Hernández Amorós, M. J., Delgado Domenech, B., Lorenzo Lledó, G., ... y Martínez Monteagudo, M. C. (2015). Profesorado novel y tutoría entre iguales en innovación tutorial. XIII Jornadas de Redes de investigación en Docencia Universitaria. Nuevas estrategias organizativas y metodológicas e la formación universitaria para responder a la necesidad de adaptación y cambio. Universidad de Alicante. España, 668-684. Recuperado de: http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/49159/1/XIII_Jornadas_Redets_51.pdf
- Marcano, M., Marcano N. y Aular J. (2013). Capital intelectual en los centros de investigación educativa de las instituciones de educación universitaria. *Encuentro Educativo*, 20 (2), 230-247. Recuperado de: <http://www.produccioncientificaluz.org/index.php/encuentro/article/download/19651/19608>
- Martínez Ruíz, M.A. y Sauleda Parés, N. (2004). Criterios de diseño del modelo de redes de investigación para el desarrollo profesional docente en el espacio universitario. En G. Bernabeu Pastor y N. Sauleda Parés (Eds.), *Espacios de Investigación en la Profesionalización Docente Universitaria* (pp. 5-27). Alcoy: Marfil. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2384361>
- Martínez Ruíz, M.A. y Sauleda Parés, N. (2005). La investigación basada en el diseño y en el diseño del crédito europeo. En M.A. Martínez y V. Carrasco (Eds.), *Investigar en diseño curricular. Redes de docencia en el Espacio Europeo de Educación Superior*, (Vol. I) (pp. 7-22). Alcoy: Marfil.
- Martínez Ruiz, M.A. y Sauleda Parés, N. (2006a). Escenarios alternativos en el presente - futuro de la universidad. En M.J. Frau y N. Sauleda (Eds.), *La reconfiguración curricular en el espacio universitario. Redes de Investigación docente en el Espacio Europeo de la Educación Superior*, (Vol. II) (pp. 5-20). Alcoy: Marfil.
- Martínez Ruiz, M.A. y Sauleda Parés, N. (2006b). Las universidades en la era numérica: nuevas tecnologías, nuevos problemas, nuevas teorías. En M.A. Martínez y V. Carrasco (Eds.), *La construcción colegiada del modelo docente universitario del s. XXI. Redes de Investigación docente en el Espacio Europeo de la Educación Superior* (Vol. I) (pp. 5-25). Alcoy: Marfil.
- Mas Torelló, Ó. (2011). El profesor universitario: sus competencias y formación. *Profesorado: Revista de curriculum y formación del profesorado*. 15 (3), 196-211. Recuperado de: http://ddd.uab.cat/pub/artpub/2011/112747/profesorado_a2011v15n3col1.pdf
- Sánchez, E. F. y Flores, J. Y. (2013). La formación docente y el desarrollo curricular como alternativas de innovación educativa. *Revista EDUCARE*, 17 (1), 166-181. Recuperado de: <http://revistas.upel.edu.ve/index.php/educare/article/view/1094/397>
- Villacís David (2014, junio 24). La Universidad Central busca otro perfil de docentes frente a las renuncias. *El Comercio*. Recuperado de: <http://www.elcomercio.com/tendencias/universidad-central-busca-perfil-docentes-frente-renuncias-profesores-escacez.html>
- Vivas, M., Becerra, G. y Díaz, D. (2005). La formación del profesorado novel en el Departamento de Pedagogía de la Universidad de Los Andes Táchira. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 7 (1), 2-17. Recuperado de: <http://redie.uabc.mx/vol7no1/contenido-vivas.html>



GUÍA PARA LA PRESENTACIÓN Y APROBACIÓN DE ARTÍCULOS

La revista **FIGEMPA: Investigación y Desarrollo, indexada en Latindex (Directorio, Catálogo, Electrónica) ISSN i 1390-7042, ISSNe 2602-8484** 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.

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.

Lineamientos:

- Originalidad.- Los artículos presentados a la revista FIGEMPA deben ser originales e inéditos y no estar postulados para su publicación en ninguna otra revista o publicación científica.
- Evitar hacer afirmaciones que no están claramente apoyadas por los datos presentados en el texto académico.
- Dejar la forma y estilo (Normas APA) de presentar sus ideas depende en gran medida de quién está leyendo.

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, Introducción, Metodología, Discusión de Resultados, Conclusiones y Referencias.

Formato

Su extensión no deberá ser mayor a 8000 palabras y 8 pag, 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, adicionalmente se solicita el resumen en idioma inglés.

Todo el material impreso, incluyendo el texto, las ilustraciones, y los gráficos, se deben mantener dentro de un área de impresión de 17,5 cm ancho por 23 cm alto. No escriba, ni imprima nada fuera del área de impresión. Todo texto debe estar en un formato de dos columnas. Las columnas deberán ser 8 cm de ancho, con una separación de 1 cm de espacio entre ellas y con espaciado sencillo entre renglones. El texto debe estar justificado.

Las características generales del texto deben de respetar los siguientes criterios: Los escritos deben ser impresos en hojas tamaño INEN A4.

Los márgenes externos deben de respetar los siguientes criterios:

- Margen izquierdo: 2,5 cm.
- Margen derecho: 2,0 cm.
- Margen superior (página 1): 2,5 cm.
- Margen superior (otras páginas): 2,0 cm.
- Margen inferior: 2,0 cm.

Mencione las figuras con la abreviatura: Fig. 1, a menos que sea al inicio de la oración.

a) Título principal

El título principal debe empezar en el margen superior de la primera de la página, en mayúsculas, centrado, Arial de 14 Pts, negrita. Deje un espacio en blanco después del título.

b) Nombres de los autores y sus e-mail

Los nombres de los participantes deberán estar centrados bajo el título Arial de 11 Pts. los correos electrónicos se centrarán debajo de los nombres, en Arial de 10 Pts., (sin hipervínculo), se incluirá el nombre del institución que proviene el autor. Nota: Inicie con sus apellidos, seguido de sus nombres.

Foto. Del autor, a color tamaño carnet (2,5 cm x 3,5 cm).CV: Título más importantes que ha obtenido; las instituciones a las que pertenece y/o trabaja.

c) Segunda y páginas siguientes

Los márgenes para la segunda y las páginas siguientes deben cumplir con los establecidos con anterioridad.

d) Tipos de letra

Se utilizará únicamente tipo de letra Arial. Nota: Por favor evite hacer uso de otros tipos de letra.

e) Texto principal

Escriba su texto en Arial de 9 Pts, espacio simple. No utilice el doble espaciamiento. Todos los párrafos deberán iniciar con una sangría de 0,75 cm en el primer renglón y justificados. Por favor deje un espacio en blanco entre párrafos.

Los títulos de la figura y de las tablas deben ser en Arial de 9 Pts (o un tipo de letra semejante), en cursiva. 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.

Utilice explícitamente la notación exponencial, es decir: $5,6 \times 10^{-3}$.

f) Título de primer nivel

Por ejemplo, “1 INTRODUCCION”, en Arial, negrita de 12 pts, mayúsculas, justificado, con un espacio en blanco antes y un espacio en blanco después.

Título de segundo nivel

Cuando sea necesario este título, deben ser en Arial, negri-

ta, de 11 pts, en mayúsculas, justificado, con un espacio en blanco antes, y un espacio en blanco después.

Título de tercer nivel

Los títulos de tercer orden no son recomendables, pero si es necesario, deben ser en Arial de 9 pts, en negritas, mayúsculas, justificado con un espacio en blanco antes, y un espacio en blanco después.

g) Paginación

Cuando copie su manuscrito a la plantilla, las páginas se numerarán automáticamente. Por favor no quite los números de página.

h) Gráficos, fotografías y tablas

Un gráfico, tabla o fotografía deberá incluirse en un artículo, únicamente si éste lleva mucha información de trascendencia conceptual o metodológica. Es preferible evitar el recurso si puede describirse con pocas palabras su aporte dentro del estudio. Es inadmisibles colocar una tabla y una figura que representen la misma información, es una causal para que su artículo no sea considerado para la publicación. En el caso de la publicación en la revista virtual, se puede enviar los recursos mencionados como anexos.

Los gráficos, fotografías y tablas se deben centrar. Recuerde que la calidad de los gráficos, fotografías y tablas debe tan buena como los originales. Es deseable colocar las tablas o figuras al principio o al final de la columna.

Las tablas o figuras muy grandes pueden ponerse abarcando las dos columnas de preferencia en la parte baja de la página.

No colocar figuras antes de su primera mención en el texto. Los ejes de las figuras deberán tener nombres y no símbolos. Enmarque las figuras con líneas de 1 punto de grosor. El título de las tablas se coloca sobre ellas, mientras que el de las figuras se coloca debajo.

Ejemplos:

Tabla 1.xxxxxxxx.

Elaborado por: xxxxxxxxxxxxxxxx

Fuente: xxxxxxxxxxxxxxxx

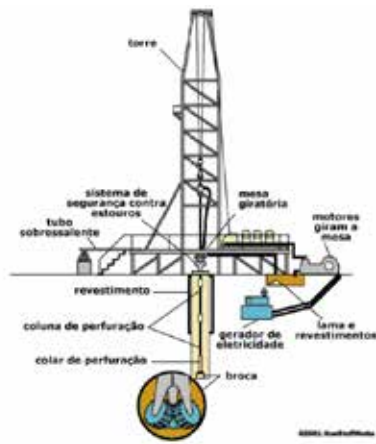


Figura 1. Esquema de perforación. Fuente: xxxxxx

Imágenes a color

Está permitido el uso de imágenes a color.



Figura 2. Ejemplo de Figura

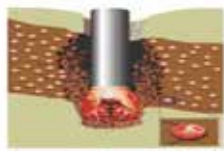


Figura 3. Ejemplo de Figura

Las citas, referencias y ecuaciones deberán de seguir los siguientes criterios:

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.

$$VGSV_{GG} \quad I DRS \quad \text{Ec. (1)}$$

i) Citas

Emplear un sistema de citación 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. 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 Domínguez (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: Mucho 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), Lazarrillo de Tormes (2000).

Citas del mismo autor con igual fecha de publicación: en estos casos se coloca su fijación al año de publicación para

marcar la diferencia (Rodríguez, 2015a), (Rodríguez, 2015b). Se ordena por título alfabéticamente, en la lista de referencias.

j) 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.

k) 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.

l) Recomendaciones

De ser necesarias y conforme al artículo.

APÉNDICE

Los apéndices, si son necesarios, aparecen antes del reconocimiento. Los apéndices irán ubicados después de las Conclusiones, y antes de los Agradecimientos y las Referencias. Se numerarán con números romanos, tal como en el título de esta sección

AGRADECIMIENTOS (OPCIONAL)

Evite las expresiones como “Uno de nosotros (G.R.P.A.) gustaría agradecer.....” Exponga reconocimientos a instituciones y grupo de apoyo. Los Alumnos de la asignatura: Eco-ética del 6° Sem-2018 de la Carrera de Petróleos, desean expresar su agradecimiento a la Universidad Central del Ecuador por el apoyo recibido durante el desarrollo de

m) 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 au-



tor 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.

Guía a la redacción en el estilo APA, 6ta edición. Recuperado de <http://www.suagm.edu/umet/biblioteca/pdf/GuiaRevMarzo2012APA.6taEd.pdf>.

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). Wii have a problem: a review of self-reported Wii 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/comision/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. El plazo máximo para la presentación de artículos será el determinado en la respectiva convocatoria, de lo contrario se lo dejará pendiente para la siguiente publicación.
- 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, uso adecuado de títulos, paginación, fotografías, tablas, gráficos y ecuaciones, y presentación adecuada de Referencias. La realiza una subcomisión del Consejo Editorial que informa a este de los resultados para que se traslade a conocimiento de los autores. Adjunto las normas de publicación y formato de evaluación.

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.
- c. 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.
- d. 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.
- e. El Consejo Editorial de la Revista conocerá y a través de la Dirección notificará a los autores los resultados de la evaluación.
- f. Los artículos que sean aprobados pasarán a las fases de Edición Técnica y Gráfica y publicación
- g. Los artículos seleccionados deberán presentarse en un congreso.

Bibliografía:

- Normas APA (Sexta Edición). 2016. normasapa.net/normas-apa-2016/
- Diccionario de la Real Academia Española. 2016. www.rae.es.
- Formato y Guía para presentación de artículos académicos, de investigación, desarrollo e innovación. Revista FIGEMPA: INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO González E, Marco A. (2016). Quito.

A photograph showing a close-up of two people in business suits shaking hands. In the background, a hand is holding a tablet computer. The image is slightly blurred, focusing on the handshake.

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.



SPE STUDENT CHAPTER UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

El capítulo estudiantil SPE de la Universidad Central del Ecuador continúa con su misión de compartir conocimiento y realizar eventos que ayuden al desarrollo profesional y personal de los estudiantes.

EVENTOS



Durante este 2018 se han realizado varios eventos en beneficio de la comunidad estudiantil gracias al apoyo de empresas como Repsol, Sertecpet, Halliburton, Schlumberger, JD Well, Tripoint, Tecpetrol, habiendo organizado PetroTest 2018 el evento más grande de petróleos en el Ecuador organizado por estudiantes, participado en un evento internacional Capic - Cairo Annual Petroleum International Conference, logró la suscripción gratuita a la OnePetro la biblioteca virtual de papers de la industria petrolera más grande del mundo, realizó una visita técnica a Perú en donde se visitó la empresa Unipetro ABC. SPE STUDENT CHAPTER UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR continúa trabajando para realizar eventos, abrir oportunidades y lograr ser un excelente capítulo estudiantil.

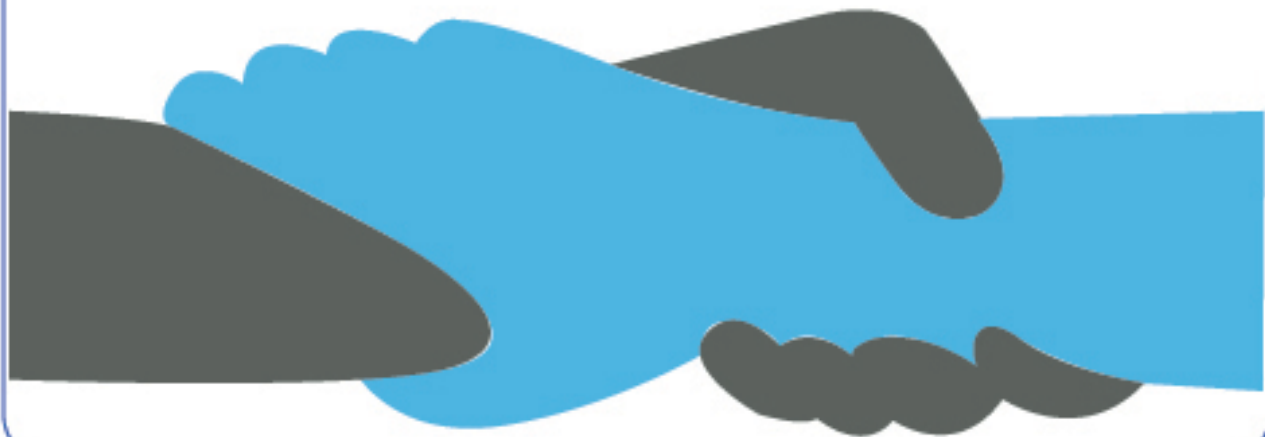
Directiva

Presidente	William Manuel Guerrero Cevallos
Tesorero	Patricio Rubén Espinoza
Responsables Comunicaciones	Kevin Andrés Flores Morales Mayra Jizbell Ruilova
Oficiales	Helen Marcela Sánchez Moncayo Christian Lucas Bryan Daniel Taipe Simbana Andrés Loja Denisse Jhoset Sánchez



LEALTAD

Sentimiento de respeto y fidelidad a los propios principios, creencias, ideales, formas de ver el mundo pero principalmente a la Institución y a las personas y compromisos establecidos. No es común y cuesta mucho encontrarlo en un mundo altamente individualista.



SOLIDARIDAD

Basada en la amistad y el compañerismo, es la necesidad de cooperación y ayuda entre autoridades, editores e investigadores que más que competir entre grupos busque construir ambientes de diálogo que permitan alcanzar objetivos comunes



Universidad Central del Ecuador
FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL





Universidad Central del Ecuador

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL



FIGEMPA

Investigación y Desarrollo

Dirección: Ciudadela Universitaria, calle Jerónimo Leyton y Gatto Sobral

Teléfonos: (593-02) 2550-588 (593-02) 2566-726 ext: 116

Email: revista.figempa@uce.edu.ec

Blog: <http://revistafigempa.weebly.com>

Quito-Ecuador

Código postal: 170521