

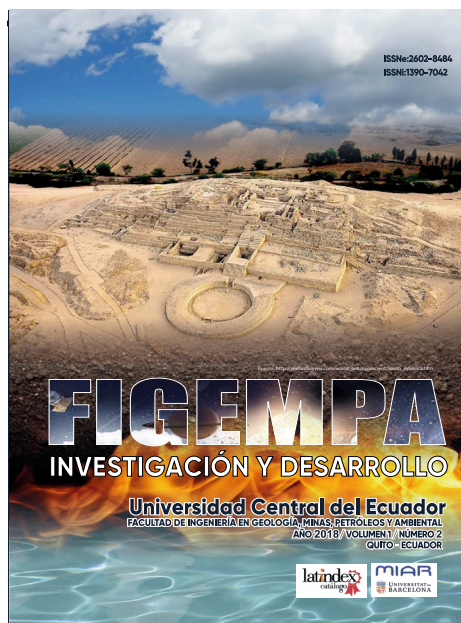
**FIGEMPA:FIGEMPA: Investigación y Desarrollo / ISSN: 2602-8484 / ISSN: 1390-7042
año 2018 / Volumen 1 / Número 2 / Quito, Diciembre 2018 / Periodicidad semestral**

Revista Científica Indexada en Latindex

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

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

En la Portada:



Hombre y sociedad

El hombre es un ser social, siempre ha vivido en sociedad como un hecho natural, necesitando de ella para nacer en una familia, para vivir en grupo, para desarrollarse. Ni el hombre ni la sociedad humana pueden ser comprendidos ni explicados independientemente, es así que la naturaleza ha sido objeto de uso, apropiación y explotación en su beneficio, impactando positiva y negativamente en las condiciones de los recursos naturales necesarios para la vida; esta relación se caracterizó porque el hombre se proveía de ella mediante lo que cazaba y lo que recolectaba. Actualmente, la relación entre sociedad-naturaleza es un aspecto importante de debate en los diferentes escenarios políticos, académicos y cotidianos, entre otros, debido a las múltiples problemáticas resultantes hoy en día entre el ser humano y las interacciones que este desarrolló en el entorno. El antagonismo de la relación naturaleza-sociedad, permite que las tendencias surjan y los nuevos enfoques buscan integrar y asociar estos dos componentes fundamentales para el desarrollo

social y la preservación del ambiente, son el objeto de reflexión y estudio en nuestra perspectiva académica y práctica en el aprovechamiento responsable de los recursos naturales, por eso nuestro lema **“FIGEMPA: comprometida con la vida y el desarrollo”**, para lograr una estructura justa en la que los ciudadanos sientan reconocido un equilibrio entre lo que la sociedad les ofrece y el esfuerzo de cooperación que les demanda supondría el éxito de un sistema social que aún no se ha logrado, pues la estratificación en clases según los roles de poder, la detentación generacional de la riqueza, la corrupción institucional, los privilegios jurídicos, la apatía laboral, la defraudación fiscal y la oligarquía mercantil permanecen como exponentes de la aparente incapacidad de gobernarse con acierto la humanidad. Toda la imperfección que se percibe induce al desencanto social, pero no se debe olvidar que esa misma sociedad, con todos sus defectos, es la que transmite y enriquece, de generación en generación, la ciencia y el saber que sostienen el progreso.



1. CUERPO EDITORIAL

DIRECTOR EDITOR GENERAL

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

CONSEJO EDITORIAL

NOMBRE	INSTITUCIÓN	CARGO	CORREO
Ing. Francisco Viteri Santamaría, M.Sc.	FIGEMPA	EDITOR ASOCIADO	frviteri@uce.edu.ec
Dr. Juan Solano Mora	Consultor	SECRETARIO DE REDACCIÓN	solmor37@hotmail.com
Ing. Susana Cadena Vela, M.Sc.	DTIC	ASESORA TECNOLÓGICA	scadena@uce.edu.ec
Dr. Félix Andueza Leal, Ph.D.	FIGEMPA	ASESOR CIENTÍFICO	fdandueza@uce.edu.ec felixandueza@hotmail.com
Dr. Ovidia Shoham, Ph.D.	Tulsa University, USA	ASESOR EN HIDROCARBUROS	ovadia-shoham@utulsa.edu
Ing. Carolina Bernal, MSc	Escuela Politécnica Nacional	COORDINADOR MINAS	lsabel.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
Dr. José Rosero, Ph.D.	Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemáticas	COORDINADOR CIENCIAS EXACTAS	jarosero@uce.edu.ec
Ph.D. Alicia Ramírez O.	Universidad de Almería, España	ECONOMISTA EN ENERGÍA	aramirez@ual.es

COMITÉ DE ÉTICA

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

COMITÉ EDITOR

NOMBRE	INSTITUCIÓN	CORREO
Dr. Marco González Escudero, M.Sc.	Comité de Ética	magonzaleze@uce.edu.ec magonzalesro@hotmail.com
Lic. Christian Ortiz Villarreal	Consultor	khryss2406@gmail.com
Gabriel Armas	FIGEMPA	ggarmas@uce.edu.ec

COMITÉ CIENTÍFICO

NOMBRE	INSTITUCIÓN	CORREO
Ing. Ernesto de la Torre, Ph.D.	Escuela Politécnica Nacional	ernesto.delatorre@epn.edu.ec
Ing. Johnny Zambrano, Ph.D.	Escuela Politécnica Nacional	johnny.zambrano@epn.edu.ec
Ing. Carolina Bernal, MSc	Escuela Politécnica Nacional	Isabel.bernal@epn.edu.ec
Ing. Boroshilv Castro Merizalde, M.Sc.	Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemáticas	gbcastro@uce.edu.ec gbcm_2006@yahoo.com
Dr. Fernando Novillo Logroño, Ph.D.	Facultad Ciencias Químicas	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	fdandueza@uce.edu.ec felixandueza@hotmail.com
Dr. Jorge Ortiz Herrera	FIGEMPA	jdortiz@uce.edu.ec

COMITÉ ASESOR

NOMBRE	INSTITUCIÓN	CORREO
Ing. Susana Cadena Vela, M.Sc.	Dirección de Tecnología de Información y Comunicación	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	mrponce@uce.edu.ec marlon.ponce23@gmail.com
Dr. Carlos Ordoñez Campain, M.Sc.	FIGEMPA	cordonez@uce.edu.ec
Ing. Luis Villacís Buenaño, M.Sc.	FIGEMPA	lfvillacis@uce.edu.ec
Ing. Galo Albán Soria, M.Sc.	FIGEMPA	gfalban@uce.edu.ec
Ing. Gustavo Pinto Arteaga, Mgtr.	FIGEMPA	grpinto@uce.edu.ec grpa54@yahoo.es
Quím. Bolívar Enríquez Vallejo, Mgtr.	FIGEMPA	bgenriquez@uce.edu.ec
Ing. Nelson Suquilanda Duque, Dipl. Sup.	FIGEMPA	nhsuquilanda@uce.edu.ec suquialanda@yahoo.es
Ing. Marcelo Llerena Carrera, Mgtr.	FIGEMPA	gmllerenc@uce.edu.ec marcelollerenac@gmail.com
Ing. Fernando Lucero Calvache, M.Sc.	FIGEMPA	falucero@uce.edu.ec

EVALUADORES PARES EXTERNOS

NOMBRE	INSTITUCIÓN	CORREO
Dr. Antonio García Amate	Universidad de Almería, España	aga237@inlumine.ual.es
Ing. Jorge Erazo Basantes, Mgtr.	Consultor	jorgeerazob@yahoo.com
Dr. Fernando Novillo, Ph.D.	Facultad de Ciencias Químicas	fnovillo@uce.edu.ec
Ing. Johnny Zambrano, Ph.D.	Escuela Politécnica Nacional	johnny.zambrano@epn.edu.ec
Ing. Carolina Bernal, M.Sc.	Escuela Politécnica Nacional	isabel.bernal@epn.edu.ec
Ing. Marco Rosero, M.Sc.	Facultad de Ingeniería Química	mvrosoero@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	cristian.vallejo@geostrats.com
Ing. Jaime Gutiérrez, M.Sc.	Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemáticas	jhgutierrez@uce.edu.ec
Ing. Daniel Philco C., M.Sc.	Consultor	danelo99@yahoo.ca
Ing. Boroshilv Castro, M.Sc.	Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas Y Matemáticas	gbcm_2006@yahoo.com
Ing. Alberto Castillo, M.Sc.	Consultor	ajcastillo@uce.edu.ec
Ing. Ernesto de la Torre, M.Sc.	Escuela Politécnica Nacional	Ernesto.delatorre@epn.edu.ec
Ing. Pablo Dejavyayan, Ph.D.	Universidad Nacional de Chimborazo, UNACH	pdjabayan@gmail.com

Ing. Gerardo Medina, Ph.D.	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH	medinag47@gmail.com
Ing. Pedro Almagro Blanco, Ph.D.	Grupo de Modelado de Sistemas Complejo	palmagro@uce.edu.ec palmagroblanco@googlemail.com
Ing. René Ayala, M.Sc.	Fundación FERLAT	rayala@ferlat.org
Ing. Roberth Enríquez, M.Sc.	Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemáticas	renriquez@uce.edu.ec
Dr. Moisés Logroño, M.Sc.	Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación	rlogrono@uce.edu.ec moiseslogrono@yahoo.com
Dr. Fabián Rodríguez, Ph.D.	Universidad de Las Fuerzas Armadas – ESPE	ffrodriguez3@espe.edu.ec
Ing. Lucía Jiménez, M.Sc.	Universidad de Las Fuerzas Armadas – ESPE	lejimenez@espe.edu.ec
Ing. Sabino Menolasina, Ph.D.	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH	menolasina1960@gmail.com
Ing. Edwin León, M.Sc.	INIGEM	edwin.leon@geoinvestigacion.gob.ec
Econ. Bernardo Brito	Consultor	bernardo.brito@geostrats.com jrviteri@uce.edu.ec
Ing. Jorge Viteri Moya, M.Sc.	Facultad de Ingeniería Química	viterim@hotmail.com
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
Ing. Carlos Ortega Tejada, M.Sc.	Facultad de Ciencias Agrícolas	caortega@uce.edu.ec

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

TDG. Cecilia Gordón A - BORBOLETA

PORTADA

TDG. Cecilia Gordón A - BORBOLETA

CORRECCIÓN DE ESTILO

Lic. Juan Solano Mora / Dr. Marco González Escudero, EAPS.
/ Ing. Gustavo Pinto Arteaga, Mgtr. / Gabriel Armas.

FOTOGRAFÍA:

TDG. Cecilia Gordon / Autores.

IMPRESIÓN:



0984605849

Contenidos:

Investigación

FIGEMPA: Investigación y Desarrollo 2018 / VOLUMEN 1 /
NÚMERO 2

PERIODICIDAD SEMESTRAL

ISSN 1390-7042

QUITO

AÑO DE INICIO: 2000

IDIOMA: ESPAÑOL

E-MAIL: revista.figempa@uce.edu.ec

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

BLOG: <http://revistafigempa.blogspot.com>

Dirección: Ciudadela Universitaria, calle Jerónimo Leyton y
Gatto Sobral

Teléfonos: (593-2) 321 4020 (593-2) 2566-726 ext: 118

(593 9) 98776225

Quito-Ecuador



ÍNDICE

MENSAJE DEL DECANO	8
EDITORIAL	9
Caracterización físico-química del suelo del botadero de Portoviejo y análisis de la distribución espacial de cromo (VI), níquel, bromo y hierro / Physical-chemical characterization of the land of the Portoviejo dump and analysis of the spatial distribution of chromium (VI), nickel, bromine and iron. / Viera Torres Mauricio / Jami Aymacaña Lisseth/ Carrera Villacrés David / Merizalde Mora María José / Mora Paspuezan María Belén / Masabanda Caisaguano Marco / Gutiérrez Cevallos Oscar / Delgado Rodríguez Vicente	10
Influencia de los paneles modulares M2 en el comportamiento sismo resistente de edificaciones / Influence of the modular panels M2 on the resistant earthquake behavior of buildings / Morales Luis / Santamaría Jorge	20
Escalamiento de secciones a partir de módulos de elasticidad / Scaling of sections from elasticity modules / Morales Luis /Chimarro Quishpe Priscila Elizeth / Coronel Armas María Gabriela	26
Modelamiento espacial en la ubicación de un relleno sanitario para la zona de Intag, cantón Cotacachi, Ecuador / Spatial modeling in the location of a sanitary landfill for the Intag area, Cotacachi canton, Ecuador / Charpentier Alcívar Andrea Freire Mancheno Jorge Andrés / Carrera Villacrés David Vinicio / Haro Robayo Margarita del Pilar	36
Modelamiento de Procesos en la depositación de Carbonatos, Plataforma Marion Norte y Sur del Mioceno Modeling of Processes in the deposition of Carbonates, Platform Marion North and South of the Miocene / Navarrete Johanna / John Cedric / Benítez Marcelo / Bustos Jairo	43
Desarrollo del software inflow para la determinación de curvas de oferta (IPR) en pozos horizontales, mediante las correlaciones empíricas de Joshi, Cheng, Bendakhlia & Aziz, Economides & Retnanto / "Development of inflow software for the determination of supply curves (IPR) in horizontal wells, through the empirical correlations of Joshi, Cheng, Bendakhlia & Aziz, Economides & Retnanto." / Angos Huera Jefferson Paúl / Lucero Calvache Fernando Andrés	54
GUÍA PARA LA PRESENTACIÓN Y APROBACIÓN DE ARTÍCULOS	58
SISTEMA DE ARBITRAJE: EVALUACIÓN EXTERNA POR PARES Y ANÓNIMA	64



Mensaje del Decano



La revista indexada, FIGEMPA Investigación y desarrollo, publicación muy importante dentro del contexto nacional, es uno de los aportes claves para el desarrollo informativo e investigativo dentro de la comunidad universitaria y porque no decirlo a nivel país, está generando un espacio para la difusión de trabajos de investigación y documentación técnica de interés, es así que la Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental de la Universidad Central del Ecuador, actualmente está en una posición importante a nivel nacional e internacional como uno de los centros de Educación Superior de mayor importancia por su liderazgo y proyección, esto gracias al trabajo tesonero de sus autoridades, docentes, estudiantes y personal administrativo.

La FIGEMPA ha sido un referente de gran importancia en la conducción académica y administrativa dentro de la Universidad Central del Ecuador. Estamos viviendo un proceso de transformación por lo que hemos trabajado para superar etapas improductivas.

Al ser parte de un centro de estudios universitarios con gran beneplácito, la FIGEMPA, presenta a la comunidad científica y al país en general un nuevo volumen de la Revista FIGEMPA – INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO, órgano oficial de difusión de los estudios investigativos que se han gestado y desarrollado en los laboratorios, en el campo y espacios académicos de esta Facultad.

Presento mi saludo al Consejo Editorial, a los autores y a todos los que han aportado conocimiento, aplaudo su esfuerzo, participación y dedicación para llegar a la publicación de esta revista, una nueva contribución de gestión para la FIGEMPA, y por el compromiso para un mejor desarrollo y un futuro excelente al que aspiramos, por ello reciban mi congratulación.

Ing. Francisco Viteri Santamaria, M.Sc.

DECANO DE LA FIGEMPA





Editorial



El próximo año 2019 comenzará un nuevo periodo en la administración de la Universidad Central del Ecuador con la esperanza de que se la conduzca a los destinos que siempre perseguiremos, una Universidad al servicio del Pueblo, que trabaje alrededor de la Docencia, Investigación y la Vinculación como un solo objetivo Institucional, en que lo administrativo sea un soporte para un eficiente cumplimiento de la función y misión universitarias y particularmente, el apoyo a la divulgación científica, el incentivo a los investigadores sea una constante en esta nueva etapa.

La revista FIGEMPA: investigación y desarrollo, ha trabajado intensamente en su empeño de brindar a la comunidad universitaria y al país una publicación de calidad, consolidada en el universo científico y en el campo de las revistas indexadas. Este periodo de gran importancia en la consecución de nuestros objetivos, y a pesar de las dificultades, hemos mantenido el compromiso con todos quienes han confiado en nosotros, el trabajo constante y el

esfuerzo para continuar en ese camino ha dado sus frutos, y hoy FIGEMPA: investigación y desarrollo, se ha constituido en una revista reconocida por su prestigio y por el rigor con que se lleva a cabo el proceso de edición en cada número.

Los procesos implementados para garantizar la calidad de nuestra revista son de gran importancia en los tiempos actuales, pues según el sociólogo Aníbal Mesa, de la Universidad de la Laguna, la presión que viven los docentes e investigadores ha multiplicado la proliferación de Revistas seudocientíficas para engordar currículos académicos, las llamadas “revistas depredadoras”, que difunden artículos carentes de rigor y han menoscabado la influencia de estudios e investigación de calidad en el desarrollo de los países. El problema tiene tal envergadura que el pasado septiembre la Agencia Estatal de Investigación de México alertaba del aumento de estas publicaciones depredadoras: “Es un sistema de difusión del conocimiento que contribuye de forma perversa a la ciencia de mala calidad”.

En 2015, Cenyu Shen y Bo-Christer Björk, de la Hanken School of Economics de Helsinki, calcularon que el año anterior se habían publicado 420.000 artículos en 8.000 revistas depredadoras, frente a los 53.000 de 2010. Y la cifra no para de subir en un contexto de extrema competencia por publicar con el fin de acreditar los méritos suficientes para lograr una plaza o un complemento. Se estima que en la mitad de las revistas depredadoras se paga entre 88 y 348 euros por salir.

Hace casi dos décadas surgieron las revistas open access, financiadas modestamente por sus autores, que cualquiera puede leer, descargar, copiar, distribuir, imprimir, buscar o enlazar gratuitamente, que ha supuesto un gran avance para expandir la ciencia, pero ahora sufre el descrédito al colarse miles de depredadoras.

Investigadores de Helsinki detectaron, además, que el 75% de los trabajos editados en las depredadoras provenían de Asia - donde radican muchas de las publicaciones, en especial China e India - o África, y que el plazo de publicación era de entre dos y tres meses. En las revistas clásicas se puede tardar hasta dos años por el prolongado proceso de corrección. “Las depredadoras no evalúan la calidad de los trabajos o se aplican formatos estandarizados de revisión contestados con síes y noes”, sostiene Mesa.

En ese contexto, se deben fortalecer las publicaciones científicas de Instituciones serias y responsables como las Instituciones de Educación Superior, para lo cual se hace necesario impulsar alianzas estratégicas entre dichas revistas a fin de aprovechar las fortalezas de cada una de ellas, ayudar a consolidar la investigación y constituirnos en referente en el desarrollo investigativo del país. Por nuestra parte agradecemos la confianza depositada en FIGEMPA, investigación y desarrollo, y renovamos el compromiso para continuar trabajando arduamente, con ética y calidad por la divulgación científica del país.

Ing. Gustavo Pinto Arteaga, Mgtr

DIRECTOR EDITOR GENERAL

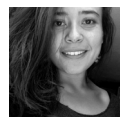
Caracterización físico-química del suelo del botadero de Portoviejo y análisis de la distribución espacial de cromo (VI), níquel, bromo y hierro

Physical-chemical characterization of the land of the Portoviejo dump and analysis of the spatial distribution of chromium (VI), nickel, bromine and iron



Viera Torres Mauricio

Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción. Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente. Carrera de Ingeniería Civil. Email: rmviera@espe.edu.ec



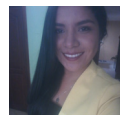
Merizalde Mora María José

Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción. Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente. Carrera de Ingeniería Civil. Email: mjmerizalde@espe.edu.ec



Jami Aymacaña Lisseth

Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción. Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente. Carrera de Ingeniería Civil. Email: jljami@espe.edu.ec



Mora Paspuezan María Belén

Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción. Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente. Carrera de Ingeniería Civil. Email: memora6@espe.edu.ec



Carrera Villacrés David

Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción. Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente. Carrera de Ingeniería Civil. Email: dvcarrera@espe.edu.ec



Gutiérrez Cevallos Oscar

Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción. Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente. Carrera de Ingeniería Civil. Email: oskredu89@gmail.com



Masabanda Caisaguano Marco

Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción. Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente. Carrera de Ingeniería Civil. Email: mvmasabanda1@espe.edu.ec



Delgado Rodríguez Vicente

Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción. Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente. Carrera de Ingeniería Civil. Email: vadelgado@espe.edu.ec

Resumen

El botadero de basura, a cielo abierto, de la ciudad de Portoviejo se encuentra en etapa de cierre técnico y en éste existen desechos de origen doméstico e industrial. Estos desechos pueden generar contaminación por los diversos elementos químicos tóxicos que contienen. El objetivo de este trabajo fue caracterizar los suelos mediante parámetros físicos y químicos como pH, humedad, conductividad eléctrica, Residuo Seco Evaporado (RSE), Residuo Seco Calcinado (RSC), densidad real y aparente y medir Cr (VI), Ni, Br y Fe para proponer una zonificación de posible propagación de los contaminantes, con relación a las curvas de lixiviación. Se procedió a analizar varias técnicas de muestreo, en cuanto a factibilidad y aplicabilidad a la zona de estudio, por ello se empleó metodología propuesta por la Norma Técnica Ambiental Ecuatoriana, la Secretaría de Medio Ambiente de México y la propuesta basada en la publicación de Investigación de la Contaminación de Suelos del Gobierno Vasco de España, se optó por esta última, que dio como resultado un total de 20 muestras en la zona de estudio. La caracterización fisicoquímica del suelo permitió obtener información de sus propiedades, las mismas que sirvieron como insumo para la elaboración de mapas de distribución espacial, con la finalidad de aplicar algebra de mapas, en función de la variación de estas propiedades, para la determinación de dos zonas, donde, se identificó mayor y menor vulnerabilidad de contaminación, en cuanto a la movilidad de estos elementos. Los valores mostrados por el pH y conductividad eléctrica determinaron que son suelos que se comportan de manera neutral y ligeramente alcalino, y suelos significativamente salinos. El porcentaje de humedad obtenido en cada uno de los extractos determinó suelos franco arenosos. Como resultado se tuvo que la mayor concentración de los elementos medidos está orientada al suroccidente del botadero, y tras analizar la relación entre la zonificación y lixiviación, se pudo determinar cómo se encuentra la movilidad de estos elementos en donde se debe prestar especial atención a la zona vulnerable que presenta curvas de lixiviación crecientes.

Palabras clave: botadero; cromo; níquel; bromo; hierro; distribución; zonificación; lixiviación.



Abstract

The open dump in the city of Portoviejo is in the technical closure stage and there are domestic and industrial waste. These wastes can generate contamination by the various toxic chemical elements they contain. The objective of this work was to characterize soils through physical and chemical parameters such as pH, humidity, electrical conductivity, Dry Evaporated Residue (RSE), Calcined Dry Residue (RSC), real and apparent density and measure Cr (VI), Ni, Br and Fe for proposing a zoning of possible spread of contaminants, in relation to leaching curves. We proceeded to analyse several sampling techniques, in terms of feasibility and applicability to the study area, so was used methodology proposed by the Ecuadorian Environmental Technical Standard, the Secretariat of the Environment of Mexico and the proposal based on the publication of Research of the Soil Pollution of the Basque Government of Spain, it was decided to use the last one, which resulted in a total of 20 samples in the study area. The physical-chemical characterization of the soil allowed to obtain information about its properties, which served as input for the elaboration of spatial distribution maps, with the purpose of applying algebra of maps, depending on the variation of these properties, for the determination of two zones, where, greater and less vulnerability of pollution was identified in terms of the mobility of these elements. The values shown by the pH and electrical conductivity, determined that they are soils that behave neutrally and slightly alkaline, and significantly saline soils. The percentage of moisture obtained in each of the extracts determined sandy loam soils. As a result, the highest concentration of the measured elements was oriented to the southwest of the dump, and after analysing the relationship between zoning and leaching, it was possible to determine how the mobility of these elements is, where special attention should be paid to the vulnerable zone that presents increasing leaching curves.

Keywords: *dump; chromium; nickel; bromine; iron; distribution; zoning; leaching*

Introducción

En la ciudad de Portoviejo, vía a El Rodeo, se encuentra ubicado un botadero de basura a cielo abierto, el mismo, comprende un área aproximada de 16 hectáreas y constituye uno de los mayores problemas ambientales de todo el sitio, ya que es fuente de contaminación de aire, agua y suelo (Peñarrieta, 2004). Debido al impacto ambiental que se ha generado tras 40 años de funcionamiento, se encuentra en el proceso de cierre técnico (GAD Portoviejo, 2017).

Mediante el análisis de parámetros como pH, conductividad eléctrica, humedad, contenido de materia orgánica del suelo, se puede realizar la caracterización del mismo; a través del pH se puede mostrar la estabilidad de los compuestos metálicos presentes en el suelo y, de cierta forma, predecir el comportamiento de los metales pesados y otros elementos, frente a un cambio de condiciones ambientales (Sanchez et al., 2017), la conductividad eléctrica es un potencial estimador de la variabilidad espacial de las propiedades del suelo (Simón et al., 2013), el conocimiento del contenido de agua en el suelo es fundamental para explicar una serie de procesos de diversa índole tales como: balances de agua, tasas de, infiltración, generación de escorrentía, riesgos hidrológicos, crecimiento y desarrollo de cultivos, estabilidad de formaciones forestales, modelización hidrológica (Fernández & Ceballos, 2012), la materia orgánica tiene efecto sobre las propiedades del

suelo, al formar agregados y dar estabilidad estructural, lo que le permite unirse a las arcillas y formar el complejo de cambio, lo que favorece la penetración del agua y su retención; el resultado, es la disminución de la erosión y el beneficio del intercambio gaseoso, además de que actúa como tampón del suelo (Julca et al., 2006).

Los metales pesados están presentes, naturalmente, en los suelos, pero en los últimos años se ha presentado una acumulación antropogénica por las actividades industriales, agrícolas y la disposición de residuos de todo tipo. En general se dice que estos contaminantes no son biodegradables y por lo tanto pueden bioacumularse produciendo efectos tóxicos progresivos tanto en el ser humano como en la cadena alimenticia (Miranda et al., 2008). Estos interactúan con las arcillas, los oxi-hidróxidos, la materia orgánica, carbonatos, sulfatos y demás, con lo que se presentan procesos de adsorción, sustitución isomórfica, quelación, precipitación, oxidación, reducción, etc. que dependen de las propiedades particulares del suelo, pueden ser benéficas o dañinos o no presentar efecto (Zúñiga, 1999).

Según referencias de los perfiles de suelos desarrollados por el Instituto Ecuatoriano Espacial (IEE) en el año 2012, las características presentadas en el suelo de la zona de estudio muestran que el tipo de suelo es arcilloso, con un pH de 7.5, y una concentración nula de Fe, las cuales fueron tomadas como características de referencia para afirmar que la contaminación es consecuencia del botadero.

Existen varios elementos tóxicos para el recurso suelo, entre los más relevantes se encuentra el Cromo (VI), Níquel, Bromo y Hierro, debido a su acción contaminante, los cuales, probablemente son muy comunes de encontrar en un botadero a cielo abierto (CONAM; CEPIS; OPS, 2004). Así, es probable que los elementos nocivos estén migrando desde el suelo hacia la población localizada en la ciudad de Portoviejo.

El objetivo de esta investigación fue: caracterizar física y químicamente el suelo del botadero de basura a cielo abierto, mediante el análisis de Cr (VI), Ni, Br y Fe, así como también, obtener una zonificación que indique la posible migración de los contaminantes hacia los centros poblados, por medio de la determinación de la concentración máxima de muestras de suelos representativas del sector, a través, de la relación de la zonificación con las curvas de lixiviación.

tricos, la calidad del agua y con el diseño analítico, deben permitir el logro de los objetivos definidos, en relación a la caracterización y la dispersión de la contaminación con un máximo de fiabilidad, rapidez y un mínimo de esfuerzo y costos (IHOBE, 1995). El número de muestras, según la Normativa Española (IHOBE, 1995), que establece mediante la ecuación (1).

$$n=5+A \quad (1)$$

En donde **n** significa el número total de muestras a obtener y **A** al número de hectáreas totales del área de estudio, lo cual dio como resultado un total de 20 muestras individuales. La toma de dichas muestras se las realizó a una profundidad de 10 como se detalla en (Volke, 2005) y (IHOBE, 1995).

El muestreo se lo realizó en el mes de diciembre del 2017 en condiciones de baja precipitación, en la cual

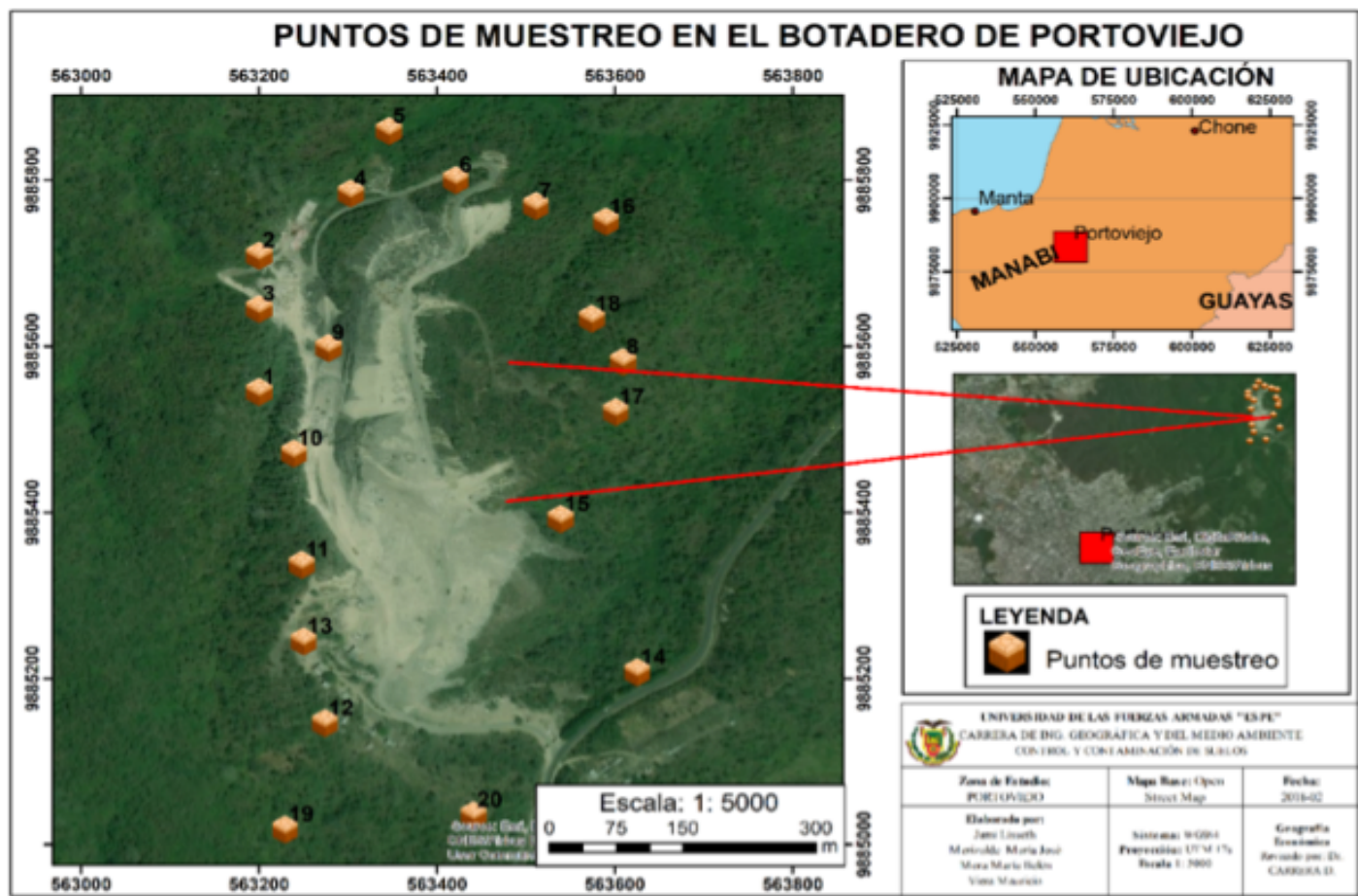


Figura 1. Área de estudio

Para la toma de las muestras se procedió a evaluar la aplicación de distintas metodologías de muestreo. De las cuales, la más factible fue la propuesta basada en la publicación de Investigación de la Contaminación de Suelos del Gobierno Vasco de España (IHOBE, 1995), se obtuvo mejores resultados, ya que ésta se centra en los principios que sustentan el diseño de muestreo que, en conjunto con el diseño de la red de control de niveles piezométricos,

la estación meteorológica de Portoviejo registró un valor medio mensual de 25mm de precipitación (INAMHI, 2017).

De las muestras se obtuvieron extractos acuosos con proporción 1:1, 1:5, 1:10 (Carrera, et al., 2014). En la Tabla 1 se muestran los métodos y referencias utilizados para la determinación de los parámetros físicos-químicos y medición de los elementos (Cr (VI), Ni, Br, Fe).



Tabla 1. Métodos empleados

Parámetro/ Elemento	Método/ Referencia
pH	pH-METRO HANNA / APHA-4500 HB
Conductividad Eléctrica (CE)	Conductivímetro HANNA / APHA-2510.B
Densidad real	Picnómetro / NOM-021-RECNAT-2000
Densidad aparente	Probeta / (Gandoy, 1991)
Residuo Seco Evaporado	Gravimetría mediante estufa / NOM-AA-341981
Residuo Seco Calcinado	Gravimetría mediante mufla / NOM-AA-341981
Humedad	Gravimetría mediante estufa / NOM-021-AS5
Fe	Espectrofotómetro HANNA / (HI83099, Instruction Manual COD and Multiparameter Bench Photometer, 2018)
Ni	
Cr	
Br	

Elaboración de la distribución espacial

El área de influencia, según (De la Torre, 2013), toma en cuenta distintas variables que establece la legislación ambiental para la ubicación de un sitio de disposición final de residuos. Esta referencia de estudio se siguió como guía para la elaboración del área de influencia del botadero, por lo tanto, se tomó el centroide del área de estudio para realizar un buffer de 500 m.

Para la elaboración de la distribución espacial, se realizó una interpolación en el software ArcGIS 9.3, de cada parámetro fisicoquímico y de las concentraciones de Cr (VI), Ni, Br, Fe, medidos de las muestras del botadero. La interpolación se realizó con Kriging Ordinario, debido a que presenta mejor grado de estimación para variables como el pH y demás parámetros (Henríquez, et al., 2013).

Dichas distribuciones espaciales se utilizaron como insumos para la elaboración del álgebra de mapas. Para ello se determinó realizar una zonificación en cuanto a sitios con mayor probabilidad de presencia de contaminantes, de manera que se convirtió los niveles digitales a un valor de 1, de las distribuciones espaciales obtenidas con las siguientes consideraciones: pH menor a 7.5, conductividad eléctrica mayor a 2 dS m⁻¹, y, una porosidad menor a 50 %. Y, por otro lado, el valor de 0 al nivel digital que no cumpla con las especificaciones, que representa la zona con menor probabilidad de encontrar los elementos. Las operaciones realizadas consistieron en

una multiplicación de las distribuciones espaciales de los parámetros fisicoquímicos con la nueva asignación de valores.

Resultados

Parámetros fisicoquímicos

Potencial hidrógeno (pH)

Se trata de la unidad de medida de alcalinidad o acidez de una solución (Arellano, et al., 2016). En el caso de los suelos del botadero, a cielo abierto, de la ciudad de Portoviejo, los valores de las 20 muestras tanto de los extractos 1:1, 1:5 y 1:10 variaron entre un rango de 6 – 7.5 unidades de pH, lo que indica que los suelos se comportan mayormente de manera neutral y ligeramente alcalino (NOM-021-SEMARNAT-2000, 2002).

Conductividad eléctrica

La concentración total de sales solubles en las aguas, con fines de diagnóstico y clasificación, se puede expresar en términos de conductividad eléctrica. En el caso de los suelos del botadero a cielo abierto de la ciudad de Portoviejo varían en un rango 0.2-4.5 dS m⁻¹ por lo cual según la norma mexicana NOM-021 se establece que se trata de suelo, desde salinidad insignificante a moderada (NOM-021-SEMARNAT-2000, 2002).

Residuo seco evaporado (RSE) y residuo seco calcinado (RSC)

Ambos indicadores, RSE y RSC representan la concentración de sales en el suelo (Perez, 2013). En suelos salinos, el contenido de sal, en los horizontes superiores va de entre 0,5% y 1% y se eleva hasta 2%, en caso de presentar estos valores, las sales predominantes en la composición del suelo son bicarbonato, cloruro y sulfato de sodio (Kovda, 1973). Los valores de RSC y RSE del suelo del botadero de Portoviejo no están entre los valores establecidos, para ser considerado como un suelo salino.

Densidad real, densidad aparente

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-SEMARNAT-2000, 2002), se establece que los suelos que se hallan en una un rango de densidad menor a 1 g cm⁻³ son denominados orgánicos y volcánicos, entre 1 a 1.19 g cm⁻³ como arcillosos, de 1,2 a 1.32 g cm⁻³ como francosos y mayores a 1.32 g cm⁻³ como arenosos. Las muestras presentan un comportamiento variado entre las diferentes clasificaciones establecidas, es decir, se han encontrado suelos desde orgánicos y volcánicos hasta suelos arenosos.

Humedad

La humedad en estos suelos varía en un porcentaje entre 8% a 22%, por lo cual fueron clasificados como suelos arenosos a franco arenosos (Bosch, 2014). El agua que circula por el suelo, al estar en contacto con elementos potencialmente tóxicos, bajaría el pH de ésta, haciendo que estos sean liberados. Por ello la humedad cumple un papel importante en estudios de contaminación de este recurso; mientras mayor sea la humedad existirá mayor movilidad de los elementos que posee el suelo (Sanchez et al., 2017).

Elementos medidos

Cromo

El contenido natural de Cr (III) en suelos superficiales varía ampliamente, a pH bajo la oxidación de

como III a cromo VI es muy probable, a este último también se lo puede encontrar residuales de la industria metalúrgica, de acabados metálicos, materiales refractarios y de la producción o aplicación de pigmentos, debido a su uso como materia prima, en cada uno de estos procesos industriales (Sotelo, 2012).

Las concentraciones altas de Cr-VI encontrados en el suelo del botadero, a cielo abierto, de la ciudad de Portoviejo se deben a la contaminación por colorantes, pinturas, desechos orgánicos y de agroindustria, plástico, vidrio, chatarra, entre otros, los cuales comúnmente se pueden encontrar en un botadero (Sotelo, 2012); (Peñarrieta, 2004).

Los límites permisibles que presenta (TULSMA Libro VI Anexo 2 , 2009), en criterios de calidad de suelo, establecen un valor de 2.5 mg/kg. La distribución espacial del Cr (VI) se puede apreciar en la Fig. 2.

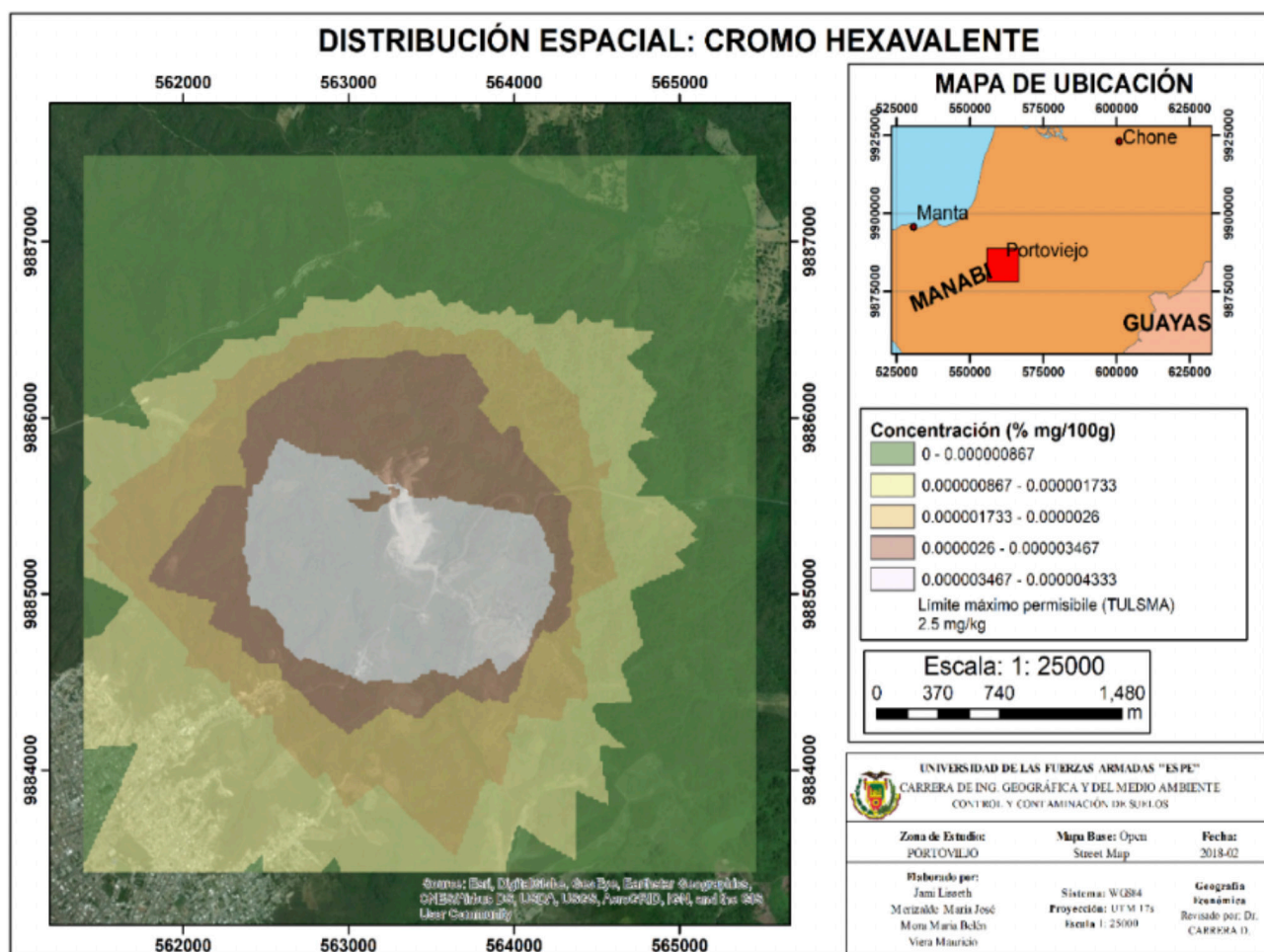


Figura 2. Distribución espacial del Cromo (VI)

Níquel

Las concentraciones normales de níquel (Ni) en los suelos, normalmente, varía de 0,0089 a 0,89 (g/l). La mayor parte de todos los compuestos del níquel que son liberados al ambiente se absorberán por los sedimentos o partículas del suelo y llegará a inmovilizarse (Muñiz & Rodríguez, 2015).

Los límites permisibles que presenta (TULSMA Libro VI Anexo 2, 2009), en criterios de calidad de suelo, establecen un valor de 20 mg/kg. Las muestras presentan un valor máximo de 3250 mg/kg que dan a conocer que sobrepasaron los límites permisibles en calidad de suelo. La distribución espacial del níquel se puede apreciar en la Fig.3.

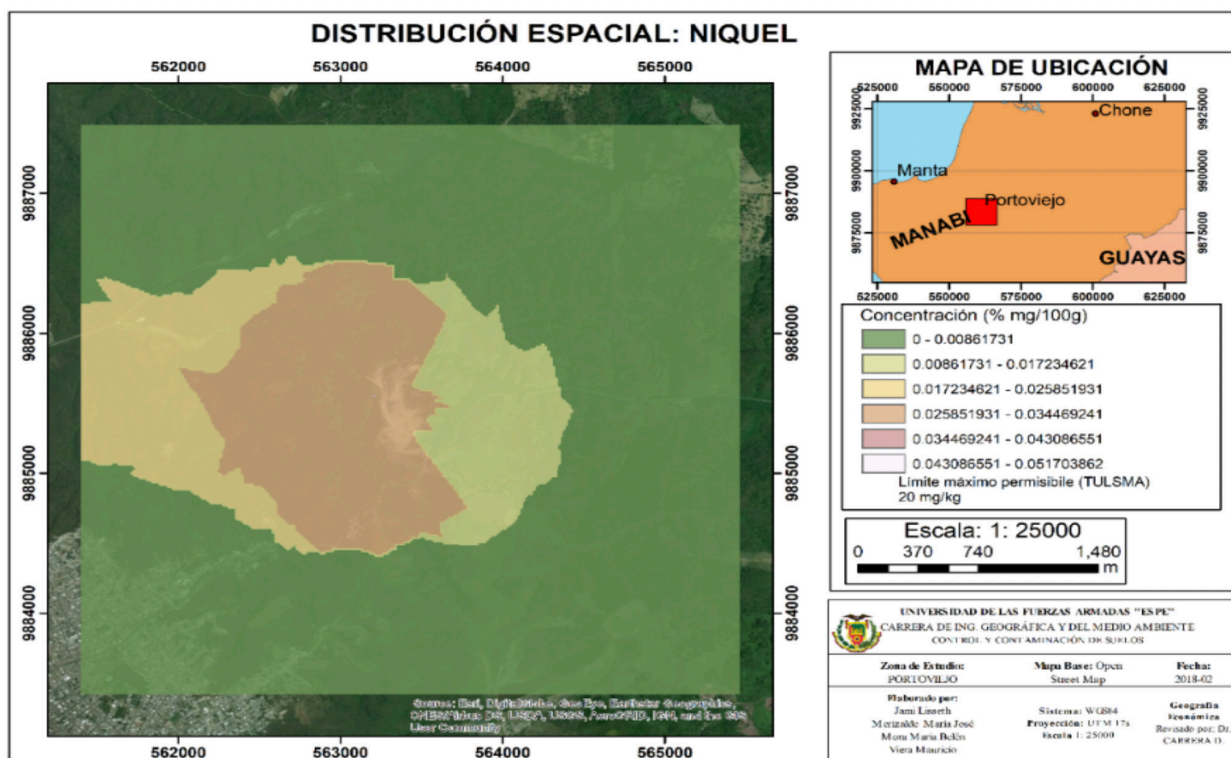


Figura 3. Distribución espacial del Níquel

Hierro

La toxicidad de hierro (Fe) es causada fundamentalmente por la elevada absorción de Fe, desde la solu-

ción del suelo, donde este metal se encuentra en altas concentraciones. La distribución espacial de la concentración del Hierro se puede observar en la Figura. 4.

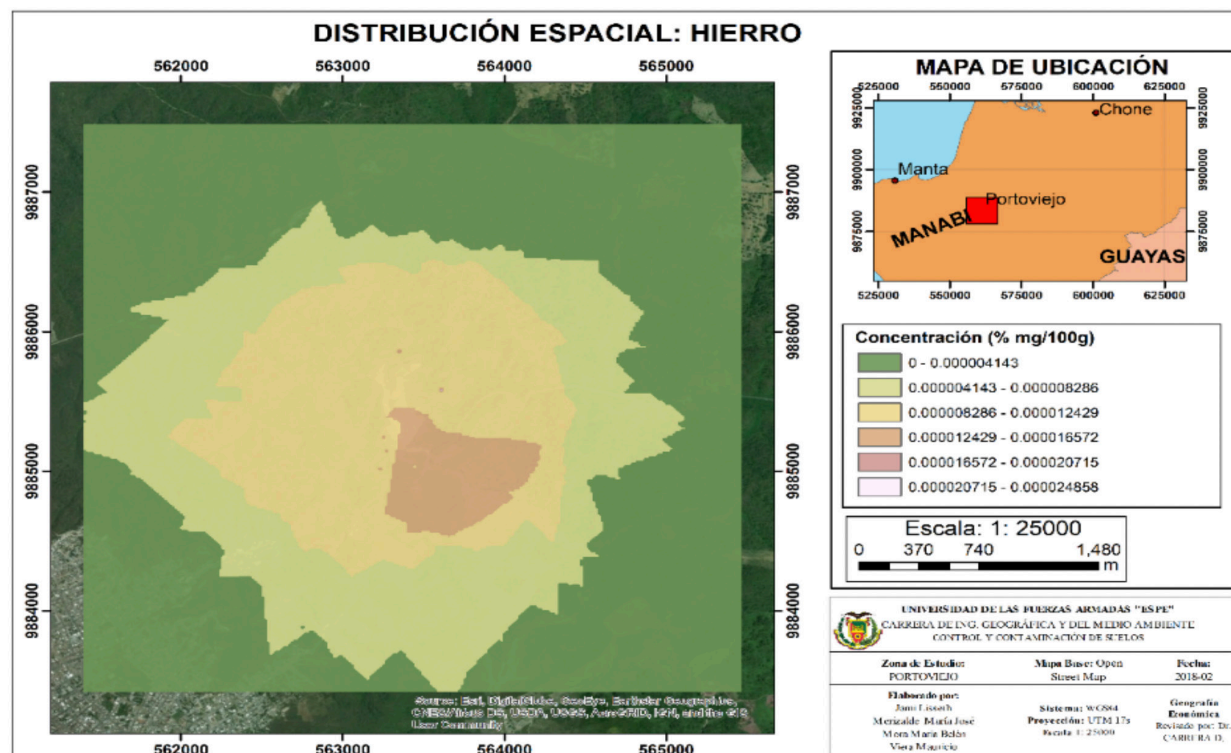


Figura 4. Distribución espacial del Hierro

Bromo

El bromo (Br) puede ser incluido en el suelo por medio de plaguicidas y de productos utilizados en la agricultura. La cantidad normal de Br en los suelos es de 50 g/m² de suelo (Vallejo et al., 2003), por lo cual se establece que constituye un contaminante menor en el suelo. La distribución espacial del Bromo se puede observar en la Figura.5.

Curvas de lixiviación

Se denomina lixiviación al proceso de desplazamiento de sustancias solubles o dispersables, según indica el Glosario de Conservación de Suelos y Aguas del (Soil Conservation Society of America, 1963). Este proceso puede provocar que algunas capas de suelo pierdan sus compuestos vitales y, a su vez, generar toxicidad (Arellano, et al., 2016). (Carrera, 2011) menciona que las sales solubles en los suelos pueden ser determinadas o estimadas a partir de extractos acuosos de muestras de suelo, es por ello, que en este trabajo se realizó dichos extractos (1:1, 1:5, 1:10).

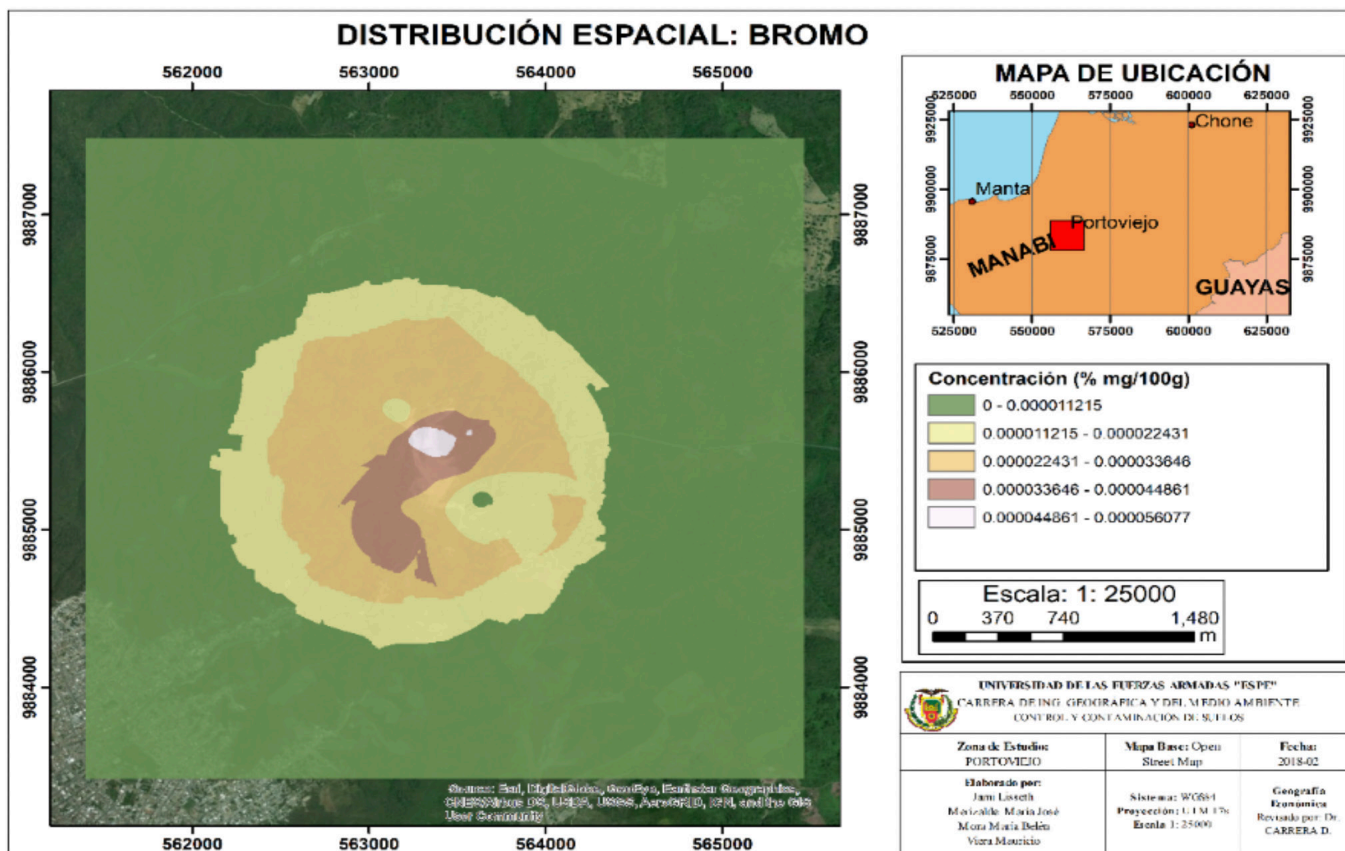


Figura 5. Distribución espacial del Bromo

Zonificación

Tras realizar el álgebra de mapas se obtuvo como resultado dos zonas (Fig. 6). En la primera se halla la mayor vulnerabilidad de contaminación contiene las muestras: 1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 15, 16, 17 y 18. En la segunda zona, se encuentra la menor vulnerabilidad de contaminación, en la que quedaron el resto de las muestras.

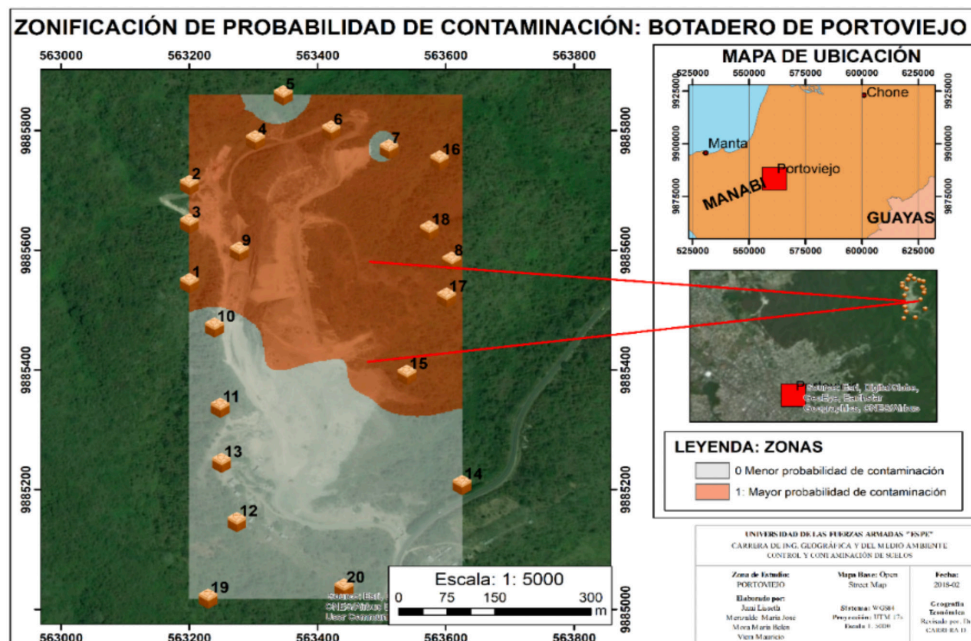


Figura 6. Zonificación de probabilidad obtenida por el álgebra de mapas

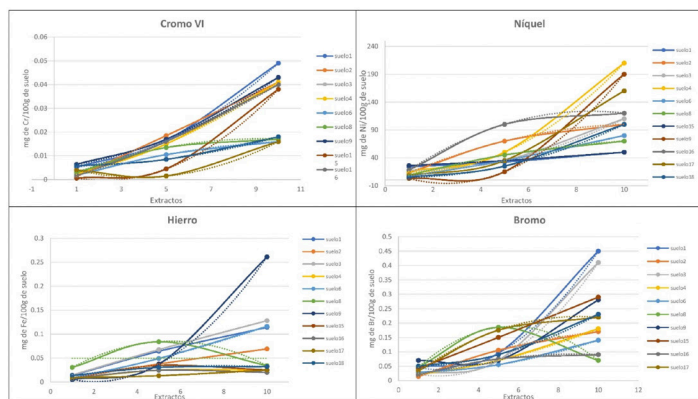


Figura 7. Curvas de lixiviación de los elementos en la zona 1

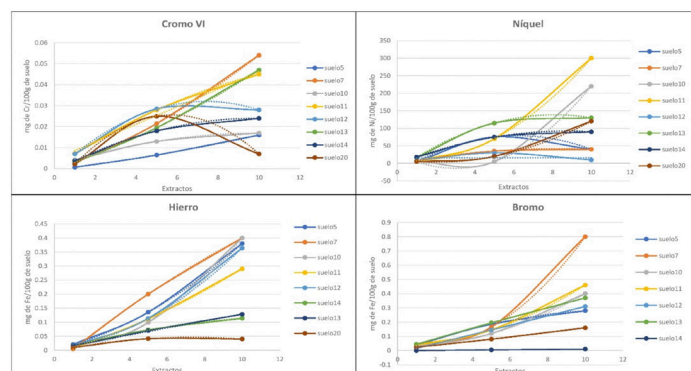


Figura 8. Curvas de lixiviación de los elementos en la zona 0

Discusión

Cromo (VI)

La distribución espacial obtenida para el Cr (VI) muestra que la presencia de concentraciones más alta de este metal se encuentra en la parte suroccidental. Las curvas de lixiviación del Cr (VI) presentan un comportamiento creciente, especialmente las muestras de suelo ubicadas en el sector occidental del botadero. En promedio, la concentración de Cr (VI) es la que en menor valores, presenta con respecto a los demás metales; pero su mayor concentración, en la parte suroccidental puede deberse al pH y potenciales de óxido reducción, como menciona (Sotelo, 2012) en el estudio del Cr en distintas soluciones del suelo, además que indica que la reducción de Cr (VI) a Cr (III) es el proceso dominante en el suelo, en la actualidad, existen estudios que demuestran la probabilidad que existe de que el Cr (III) se oxide a especies de Cr (VI) en el suelo, aumentando su movilidad y generando, verdaderamente, un riesgo ambiental y sanitario (Sotelo, 2012).

Níquel

El porcentaje de concentración más alto de Ni, de acuerdo con su distribución espacial, se ubica al oeste del botadero, y las curvas de lixiviación para las muestras ubicadas en esta dirección, son crecientes; se entiende que la lixiviación del níquel a través del suelo favorece al aumento de este elemento (Sotelo, 2012).

Bromo

El bromo muestra en su distribución espacial (Fig. 5) el mayor porcentaje de concentración en la parte suroccidental del botadero, es decir que las muestras de suelo

ubicadas en este sector tienen altas concentración con respecto a las otras, y se espera una mayor persistencia, además que sus curvas presentan un comportamiento creciente. Es decir que el proceso de lixiviación aumenta la concentración de este elemento.

Hierro

Para el Fe, la distribución espacial muestra una presencia casi homogénea en toda la zona que rodea el botadero, es decir que sus concentraciones no varían significativamente en las diferentes muestras de suelo analizadas. Las curvas de lixiviación para este elemento muestran comportamientos distintos, en promedio no significativamente creciente, por lo que la lixiviación, ayuda a la disminución de la concentración de este metal en presencia del agua.

De acuerdo con el estudio realizado por (GUO et al, 2013), menciona que la capacidad de lixiviación de ciertos metales, entre ellos el Fe, Zn, Cu y Mn depende del pH y del tiempo de contacto con el fluido, y la duración de desintegración de estos metales está estrechamente relacionado con el pH inicial y como resultado obtiene que valores de pH cercanos a 2, muestran la capacidad máxima de los metales analizados. Esto corrobora lo obtenido en este trabajo, con el modelo de Fe, se observa que las áreas donde existe una mayor dispersión (sector suroriental del botadero) están acompañadas de pH ácidos, según indica el comportamiento del pH de las muestras ubicadas en esta zona.

Relación curvas de lixiviación y zonificación

La zona correspondiente a la menor probabilidad de contaminación, por estos elementos, se debe a que la condición que se planteó de los parámetros: pH, conductividad eléctrica y porosidad sea favorable para inmovilización de estos, las muestras de suelos ubicados dentro de esta zona presentan valores de los parámetros mencionados, dentro de las condiciones establecidas. En contraste, la zona que presenta las condiciones en donde los parámetros favorecen a la movilidad de los contaminantes, los suelos poseen una mayor probabilidad de verse contaminados debido a que estos podrían migrar hacia posibles capas freáticas que se puedan encontrar en esta zona.

Pagnanelli et al., (2004) menciona que los metales pesados pueden quedar retenidos en el suelo de distintas maneras, esto correspondería para el Cr (VI), Ni y Fe, de forma disuelta en la fase acuosa del mismo, también cuando ocupan sitios de intercambio o específicamente adsorbidos sobre constituyentes inorgánicos del suelo, asociados con la materia orgánica del suelo o precipitados como sólidos.

También Novotny (1995), sostiene que desde la caracterización fisicoquímica del suelo, se sabe que los metales precipitan, como resultado de cambios en el pH,

oxidación y otros cambios de su composición química.

Las curvas de lixiviación para el Cr (VI) de las muestras que se encuentran en la zona de menor probabilidad de contaminación antes mencionada, presentan en promedio un crecimiento menor y de forma asintótica, en comparación de las curvas de las muestras de la zona opuesta. Es decir, existe un aumento más considerable de la concentración de este metal a medida que varía los extractos. Por lo tanto, el proceso de lixiviación del Cr (VI) en los suelos en la zona de mayor probabilidad de contaminación, ayuda al aumento de la concentración de este elemento.

En cuanto al Ni, la mayoría de sus curvas de las muestras ubicadas dentro de la zona vulnerable, presentan un comportamiento creciente en relación de la zona menos propensa a problemas de contaminación, donde solo tres de ellas muestran una forma asintótica, es decir, a partir de ella se puede estimar el total de este elemento, mientras que las demás no es posible determinar su umbral. Es por ello que la lixiviación de este metal, en los suelos de la zona vulnerable, también favorece al incremento de la concentración como el caso del Cr (VI).

Para el Br, sus curvas de lixiviación dentro de la zona vulnerable a la contaminación, presentan en mayor parte un carácter medianamente creciente, mientras que existe una de notable forma asintótica y, esto para ese suelo resulta beneficiosa la lixiviación debido a que, si la zona es vulnerable, este proceso ayudará a la disminución de la concentración de Br en dicha zona. Mientras que la lixiviación para la zona menos vulnerable, en cambio no ayudará a la disminución de la concentración de este elemento, ya que sus curvas son netamente crecientes.

Por último, el Fe representa un contaminante potencial, cuando sus concentraciones son extremadamente elevadas. Sus curvas de lixiviación en la zona con menos probabilidad de contaminación, tienen un comportamiento generalmente creciente, lo que da a conocer que no habrá disminución de la concentración, como se puede apreciar en la distribución espacial de este elemento; la zona presenta mayor concentración, debido a que el hierro se encuentra en abundancia en la corteza terrestre (Linsay & Norvell, 1978), mientras que para la zona con mayor vulnerabilidad las curvas tienen distintos comportamientos, que presentan un ligero crecimiento, así como muestras con curvas asintóticas, lo que implica la posible disminución del elemento.

Algunos estudios sostienen que la movilidad, de los metales pesados y otros elementos no metales, es de gran importancia en cuanto a su disponibilidad y potencial para lixivarse de los perfiles de suelo a los niveles freáticos, y esto difiere de sí su origen es natu-

ral o antropogénico (Karczewska, 1996); (MaY, 1998); (Wilcke et al., 1998).

Banat (2005), menciona que para definir el comportamiento de los metales pesados en los suelos y prevenir riesgos tóxicos potenciales, es necesario evaluar la disponibilidad y movilidad de los mismos.

Conclusiones

El estado actual de los suelos del botadero se pudo analizar con la caracterización físico/química. Los valores de pH medidos (6-7.5) concuerdan con las características obtenidas en los demás parámetros, este indica ser neutro y ligeramente básico, lo cual se asegura mediante las características mostradas por RSE y RSC ya que los valores son menores a el rango de (0.5 % - 1 %) para suelos salinos, como también por la conductividad, ya que ésta, al indicar la concentración total de sales solubles se determinó que es de salinidad insignificante. Se observa que en el extracto 1:1 el pH indica, en su mayoría, valores que tienden a ser básicos a diferencia de los extractos 1:5 y 1:10 que tienden, más a ser neutros. La conductividad eléctrica en los extractos 1:1 tiende a ser alta dando valores mayores a 1. La humedad en estos suelos varía en un porcentaje entre 8% a 22%, por lo cual fueron clasificados como suelos arenosos a franco arenosos característica que los hace presentar una propensión a la contaminación por Cr (VI), Ni y Fe. En cuanto a la densidad y de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-SEMAR-NAT-2000, 2002), se obtuvo valores que establece que se trata de suelos francos, arcillosos y arenosos, sin presentar un único comportamiento, sino variante a lo largo del botadero.

La distribución espacial de los elementos medidos, muestra que la mayor presencia de estos está ubicada en la parte suroccidental, y mediante un contraste de dichas distribuciones y las curvas de lixiviación se ha podido estimar como los contaminantes podrían desplazarse espacialmente, para lo cual se debe tener en cuenta un estudio para analizar la situación de los suelos, mediante una caracterización físico-química en la zona occidental del botadero, que permita contrastar los resultados de este trabajo.

De acuerdo con el objetivo de este trabajo, la zonificación, en función de los parámetros pH, conductividad eléctrica y porosidad se contrastó con las curvas de lixiviación de Cr (VI), Ni, Br y Fe para comprender la movilidad de estos elementos y su disponibilidad en función de los diferentes extractos. Los estudios señalan que es necesario analizar la movilidad para evitar problemas de toxicidad, por lo que se recomienda plantear una toma de muestras de suelos en zonas más alejadas del botadero,



con la finalidad de analizar la movilidad también de estos y relacionarlos a este trabajo.

Referencias bibliográficas

- Fernández, G. (2000). Presencia Antropogénica de Cromo (Cr) en el Ambiente y su Impacto en la Salud de los Pobladores de las Toscas (Santa Fé - Argentina). *Ambiente Ecológico*, 72. Obtenido de <http://www.ambiente-ecologico.com/ediciones/072-07-2000/072-aldoguzmanramos.html>
- Fernández, J., & Cevallos, A. (2012). Diseño y validación de una sonda TDR para la medición de la humedad del suelo.
- GAD Portoviejo. (Julio de 2017). Procedimiento para la operación, control y mantenimiento de la celda emergente para la disposición final de desechos comunes.
- Gandoy. (1991). Manual de laboratorio para el manejo físico de suelos. Universidad Autónoma Chapingo, 173.
- GUO et al. (Octubre de 2013). Leaching of heavy metals from Dexing copper mine tailings pond. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 23(10), 3068-3075. doi:10.1016/S1003-6326(13)62835-6
- Henríquez, et al. (2013). Interpolación de variables de fertilidad de suelo mediante el análisis kriging y su validación. *Agronomía Costarricense*, 37(2), 71-82.
- HI83099, Instruction Manual COD and Multiparameter Bench Photometer. (2018).
- IHOBE. (1995). Manual práctico para la investigación de la contaminación del suelo. Gobierno Vasco, España.
- INAMHI. (2017). Boletín Agrometeorológica. (12), 3. f
- Julca et al. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *SciELO*, 49-61.
- Karczewska, A. (1996). Metal species distribution in top and subsoil in an area affected by copper smelter emissions. *Applied Geochemistry*, 11, 35-42.
- Kovda, V. (1973). Quality of irrigation water. In: *Irrigation, drainage and salinity. An international source book*. Chapter 7. FAO/UNESCO. Hutchinson.
- Linsay, W., & Norvell, W. (1978). Development of a DTPA soil zinc, iron, manganese and copper. *J. Am. Sci. Soil*, 421-428. Recuperado el 02 de 2018
- MaY, U. (1998). Transformations of heavy metal added to soil-application of a new sequential extraction procedure. *Geoderma*, 84, 157-168.
- Miranda et al. (2008). Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas, regados con agua del río Bogotá. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 180-191.
- Muñiz, O., & Rodríguez, M. (2015). El níquel en suelos y plantas de Cuba. *Nickel in soils and plants of Cuba* (pág. 2). La Habana- Cuba: EMBRAPA.
- NOM-021-SEMARNAT-2000. (2002). Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. 40-62.
- Novotny, V. (1995). Diffuse sources of pollution by toxic metals and impact on receiving waters. *Heavy Metals: problems and solutions*.
- Pagnanelli, et al. (2004). Sequential extraction of heavy metals in river sediments of an abandoned pyrite mining area: pollution detection and affinity series. *Environmental Pollution*, 132(2), 189-201.
- Peñarrieta, S. (2004). Análisis de la política ambiental implementada por la ilustre municipalidad del cantón Portoviejo en el período 2000 - 2004. Quito.
- Pérez, D. (2013). Composición y caracterización, química del suelo: indicadores de salinidad y sodicidad. (pág. 2). Jalisco - México: NUS099.
- Sánchez et al. (2017). Caracterización Físico Química y caracterización de retención de plomo en los suelos del campo experimental Yachay. *FIGEMPA: investigación y desarrollo*, 1(8), 56-60.
- Simón et al. (2013). *Ciencia del suelo. Relación entre la conductividad eléctrica aparente con propiedades del suelo y nutrientes*. Buenos Aires.
- Soil Conservation Society of America. (1963). *Glosario de conservación de suelos y aguas*. México: Centro regional de ayuda técnica.
- Sotelo, A. (2012). digital. Especiación de cromo en la solución del suelo de tres suelos enmendados con biosólidos bajo diferentes condiciones oxidoreductoras, (págs. 22-23). Medellín.
- TULSMA Libro VI Anexo 2. (2009). Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados. Quito.
- Vallejo et al. (2003). Efectos de la utilización del Bromuro de Metilo en agricultura.
- Volke, T. (2005). Suelos contaminados por metales y metaloides. México DF, México: Instituto Nacional de Ecología.
- Wilcke et al. (1998). Aluminum and heavy metal partitioning in A horizons of soils in Costa Rican coffee plantations. *Soil Sci.*, 163, 463-471.
- Zúñiga, F. (1999). Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados. Mérida: Universidad Autónoma de Yucatán.

Influencia de los paneles modulares M2 en el comportamiento sismo resistente de edificaciones

Influence of the modular panels M2 on the resistant earthquake behavior of buildings



Morales Luis

Magister en Estructuras y Ciencias de los Materiales, docente titular Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática de la UCE
Email: lwmorales@uce.edu.ec



Santamaria Jorge

PhD en Ingeniería, docente titular Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática de la UCE
Email: jsantamaria@uce.edu.ec

Resumen

La investigación consiste en analizar la influencia de los paneles modulares M2 en el comportamiento sismo resistente de edificaciones. En un 1° Caso: se consideró al panel M2 como mampostería confinada y en un 2° Caso: como sistemas de pisos (losas). Para ello se consideraron 5 proyectos arquitectónicos diferentes ubicados en Quito. Una vez que los sistemas aporticados planteados alcancen los parámetros sismo resistentes establecidos en la normativa, en un 1° Caso, se incorporan, los paneles modulares M2 como mampostería confinada en edificios de 3, 6 y 9 pisos. Mientras que, en un 2° Caso, se dispuso que el panel modular M2 sea considerado como sistema de piso (losas). De estos dos grupos de edificaciones con diferente disposición de los paneles, se determinan nuevos valores de respuestas estructurales, con cuyos datos se procede a comparar con los resultados obtenidos con el sistema aporticado. Para la colocación de los paneles modulares como mampostería, dentro de los sistemas estructurales propuestos, se utilizó el método puntal equivalente, donde las paredes trabajan sólo axialmente a compresión y no absorben cortante. Mientras que, para los sistemas de pisos, se utilizó como modelo base, al sistema de piso con steel deck y otra con la implementación de paneles modulares M2. Para ello se dispuso de dos edificios de mediana altura (6 pisos) y gran altura (16 pisos). Del análisis estructural, para ambos casos: los sistemas aporticados con paneles modulares M2, utilizados tanto como mampostería confinada como sistemas de piso (losas), generó respuestas estructurales como períodos y derivas de piso menores que el sistema sólo aporticado, debido a que el panel modular M2 aporta rigidez lateral y disminuye el peso de las edificaciones, demostrando así que: se puede reducir la vulnerabilidad estructural y mejorar el comportamiento estructural de edificaciones, ante la acción sísmica.

20

Palabras Claves: hormigón; paneles modulares m2; sistemas de piso, mampostería confinada; análisis sismo resistente; respuestas estructurales.

Abstract

The investigation consists of analyzing the influence of the modular panels M2 on the resistant earthquake behavior of buildings. In a 1st case: the M2 panel was considered as confined masonry and in a 2nd case: as floor systems (slabs). For this purpose, 5 different architectural projects located in Quito were used. Once the proposed systems have reached the earthquake resistant parameters established in the regulations, in a 1st case, the M2 modular panels are incorporated as confined masonry in buildings of 3, 6 and 9 floors. While, in a 2nd case, it was arranged that the modular panel M2 be considered as a floor system (slabs). Of these two groups of buildings with different layout of the panels, new values of structural responses are determined, with whose data we proceed to compare with the results obtained with the contributed system. For the placement of the modular panels as masonry within the proposed structural systems, the equivalent strut method was used, where the walls work only axially under compression and do not absorb shear. While, for floor systems, the floor system with steel deck was used as a base model and another with the implementation of modular M2 panels. For this, two buildings of medium height (6 floors) and high height (16 floors) were available. From the structural analysis, for both cases: the systems contributed with modular M2 panels used both as confined masonry and floor systems (slabs), generated structural responses as periods and floor drifts lower than the system only contributed, because the modular panel M2 provides lateral stiffness and decreases the weight of the buildings, demonstrating that: structural vulnerability can be reduced and the structural behavior of.

Keywords: concrete; modular panels m2; floor systems; confined masonry; earthquake resistant analysis; structural responses.



Introducción

Nuestro país es vulnerable ante catástrofes naturales como el sismo, ocasionados por 3 fenómenos: el de subducción, fallas locales y los terremotos relacionados con la actividad volcánica.

La ciudad de Quito, en particular, puede ser afectada en gran magnitud por sismos que tienen sus orígenes por la presencia de las fallas activas locales, que podrían ocasionar movimientos constantes y tendrían gran potencial para generar sismos destructivos. Por otra parte, el desarrollo de la ciudad es en sentido vertical, mediante la construcción de grandes edificios, los mismos que deberán ser diseñados en base a estudios que aporten a reducir la vulnerabilidad sísmica y, mejorar el comportamiento global de las estructuras ante la acción de cargas laterales y gravitacionales.

Por otra parte, los sistemas constructivos en edificaciones, se han mantenido por décadas volviéndose convencionales, siendo necesario ya un cambio, esto debido a la necesidad que tiene nuestro país por la zona geográfica en donde se encuentra y los peligros a los que está expuesto, para lo que se necesitan estructuras que brinden mayor seguridad a la población; en los últimos años ha aumentado la aplicación de nuevos métodos constructivos, aplicados a diferentes elementos estructurales, como es la prefabricación de elementos. La losa, así como la mampostería son los elementos estructurales donde se ha evidenciado mayor crecimiento innovador, saliendo al mercado nuevos tipos de losas y mamposterías como las conformadas por placas cooperantes, aquellas formadas o construidas por paneles de poliestireno, conocida como panel modular M2 y planchas de fibrocemento como el eterboard. (Morales L., Antamba T. & Cuaical F., 2017).

Para conseguir que los nuevos materiales y sistemas constructivos sean aplicados a edificaciones, estos primeramente deben cumplir con requisitos de resistencia, durabilidad, como también, al entrar en interacción con los sistemas estructurales, deben aportar a reducir la vulnerabilidad sísmica y mejorar la resiliencia de las estructuras. La inclusión de nuevos materiales, sistemas constructivos y criterios de análisis y diseño estructural, deben ser aquellos que se aproximen a los posibles eventos que puedan reflejar la realidad de nuestras edificaciones.

El costo de un nuevo sistema constructivo es superior al tradicional de hormigón armado, pero se pueden optimizar recursos dentro de los tiempos de ejecución de la obra y, además se alcanza un mejoramiento del comportamiento estructural de las edificaciones ante posibles desastres, esto para salvaguardar la integridad y la vida de seres humanos que debe ser la prioridad al momento de la construcción de una estructura.

Para el uso de los paneles como elementos estructurales se debe conocer las características de los paneles modulares M2, los sistemas de pisos con placas coo-

perantes y la mampostería confinada:

- Los paneles modulares M2 se caracterizan por estar compuestos por planchas de poliestireno expandido corrugadas en una dirección, malla electro-soldada, conectores de acero y hormigón que, en conjunto trabajan como un sistema de piso unidireccional. (Morales L., Antamba T. & Cuaical F., 2017).
- Las placas cooperantes o stell deck están conformadas por planchas preformadas hechas de acero estructural que se combinan con el hormigón, comportándose como un elemento estructural mixto hormigón-acero. (Morales L., Antamba T. & Cuaical F., 2017).

Con lo expuesto anteriormente, el objetivo de la presente investigación es implementar paneles modulares M2 en los sistemas estructurales de edificaciones, cuyo fin es disminuir el peso de la edificación con respecto a la losa con placa cooperante o tradicional, así como también disminuir el peso de la mampostería, logrando reducir el peso total de la estructura y valores de corte basal, derivas de piso y periodos de vibración, para obtener estructuras más estables y seguras. (Morales L., Antamba T. & Cuaical F., 2017).

Para este propósito, es importante conocer las características físico - mecánicas de los sistemas de piso con panel modular M2, de la losa con placa cooperante (stell deck) y de la mampostería confinada con panel modular M2, para implementar en estructuras aporticadas de hormigón armado y acero estructural.

Para implementar los paneles M2 como sistema de piso, es necesario conocer el comportamiento estructural de los mismos y su interacción de manera conjunta a fin de determinar que su forma de trabajo como un elemento de entre piso es factible o no, para lo cual se deben efectuar modelaciones puntuales y por separado de las edificaciones. De la misma manera es importante determinar ¿cuál es la contribución de la mampostería con panel modular M2 a la rigidez lateral de las estructuras aporticadas?. (Morales L., Antamba T. & Cuaical F., 2017).

Para verificar la implementación de los materiales antes indicados, se aplicaron en modelos estructurales de edificaciones existentes de 6 y 16 pisos implementadas los tipos de losas para obtener las respuestas estructurales máximas, resultado del comportamiento de dichas edificaciones, ante cargas actuantes laterales y gravitacionales. Estas edificaciones son regulares en planta y elevación.

En cambio, para incluir la mampostería con paneles modulares M2 en sistemas aporticados se seleccionó, para el análisis, proyectos arquitectónicos destinados a uso residencial de 3, 6 y 9 pisos, en Hormigón Armado y Acero estructural, todos con una configuración geométrica regular en planta y elevación.

Finalmente, se debe comparar los modelos estructurales con sistemas de piso mediante paneles modulares M2 y placa cooperante, como también el sistema apor-

ticado, con la inclusión de la mampostería con paneles modulares M2 y sin ella, para determinar las respuestas estructurales máximas y comparar los aspectos económicos y constructivos para cada caso de estudio. (Morales L., Manosalvas G., & Tarapué J., 2017).

Metodología

En la presente investigación se analizará y comparará las respuestas estructurales máximas de una edificación residencial de 6 pisos y otra de oficinas de 16 pisos, que constan de un sistema estructural tradicional (columnas y vigas) de hormigón armado, en las cuales se implementan dos sistemas de piso, losas con tecnología M2 y losas con Placa Cooperante, que serán implantados dentro del Distrito Metropolitano de Quito, como se muestra en las figuras 1 y 2 de los anexos (formato digital). Asimismo, se incluirá la mampostería con pales modulares M2 en sistemas aporticados; para este fin se seleccionó para el análisis proyectos arquitectónicos destinados a viviendas de 3, 6 y 9 pisos, en Hormigón armado y estructura metálica, cuya área en planta es de 317.95m², 390.58m², 136.57m² respectivamente con una configuración geométrica regular en planta y elevación, implantados también dentro del Distrito Metropolitano de Quito como se muestra en la figura 3, figura 4, figura 5, figura 7 y figura 8 de los anexos (Formato digital).

Además, se reunirá información para conocer las características que tienen los paneles de tecnología M2, y desarrollar varias hipótesis con las cuales iniciar el diseño e implementación de la losa en la estructura de hormigón. Se realiza el pre-diseño de los elementos estructurales de columnas, vigas y losas; para este último elemento se toma en cuenta las recomendaciones que hacen los fabricantes dentro de sus catálogos.

Se calcula el espectro de respuesta elástico e inelástico de aceleraciones del sismo de diseño bajo las recomendaciones que hace la Norma Ecuatoriana de la Construcción-Peligro Sísmico (NEC-SE-DS, NEC15).

Se realizarán modelaciones en programas computacionales estructurales, donde se ingresarán los datos de geometría de la edificación, las secciones obtenidas del pre-diseño de columnas y vigas, las características de los materiales, el espectro de respuesta inelástico, para obtener las respuestas estructurales de los análisis lineales estático y dinámico que nos permitan obtener resultados del comportamiento de los sistemas de piso. Para una mejor visualización de resultados se realizará cuadros comparativos de las respuestas estructurales máximas obtenidas del análisis, precios de los materiales que intervienen en la construcción de la obra gris, para cada estructura, con cada tipo de losa, además de las ventajas y desventajas que ofrecen estos sistemas de piso.

Resultados panel modular M2 como losas

Existe una reducción del 5.00% en el peso de la edificación de 6 pisos, al reemplazar la losa de placa colabo-

rante por la losa de tecnología M2. (Morales L., Antamba T. & Cuaical F., 2017).

De igual forma en la edificación de 16 pisos con un porcentaje de reducción del 2.06%. (Morales L., Antamba T. & Cuaical F., 2017).

La reducción del peso en la edificación de 6 pisos influyo en todas las respuestas estructurales analizadas donde cuyos porcentajes de reducción son;

Periodo de vibración: 2.79%

- Cortante Basal: 5.26%
- Deriva inelástica máxima de piso: 4.89%

(Morales L., Antamba T. & Cuaical F., 2017). De igual manera en las respuestas estructurales de la edificación de 16 pisos, los porcentajes de reducción obtenidos son:

- Periodo de vibración: 2.27%
- Cortante Basal: 4.44%
- Deriva inelástica máxima de piso: 4.09%

(Morales L., Antamba T. & Cuaical F., 2017).

Ver en anexos las figuras de la 9 a la 24

(Formato digital).

Comparación metros cuadrados de construcción

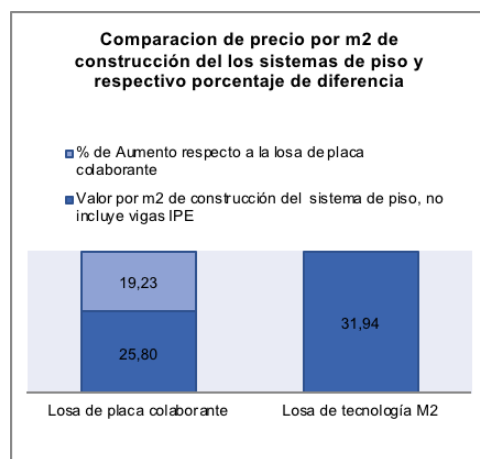


Figura 1. Comparación de m2 de construcción de sistema de piso. (Morales L., Antamba T. & Cuaical F., 2017).

El costo por metro cuadrado de materiales en la losa de placa colaborante es de 25.80 USD. y 31.94 USD. de losa de tecnología M2, generando una diferencia de 19.23% en su costo.

Panel modular M2 como mampostería confinada Edificios de hormigón armado Comparación de Cortante Basal

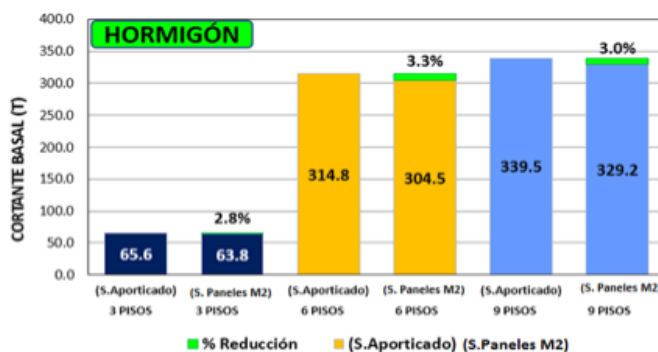


Figura 2. Cortante Basal de las edificaciones aporticadas y con mampostería.

Comparación de periodo de vibración

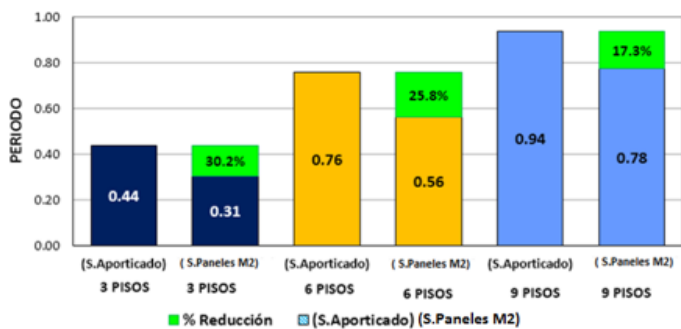


Figura 3. Periodo de las edificaciones aporticadas y con mampostería. (Morales L., Manosalvas G. & Tarapués J., 2017)

Comparación de derivas

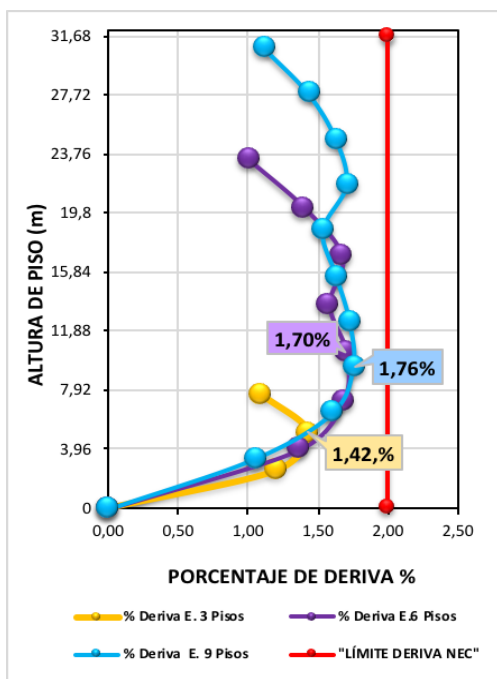


Figura 4. Derivas de piso. "Análisis Dinámico" Sistema Aporticado (Morales L., Manosalvas G., & Tarapués J., 2017).

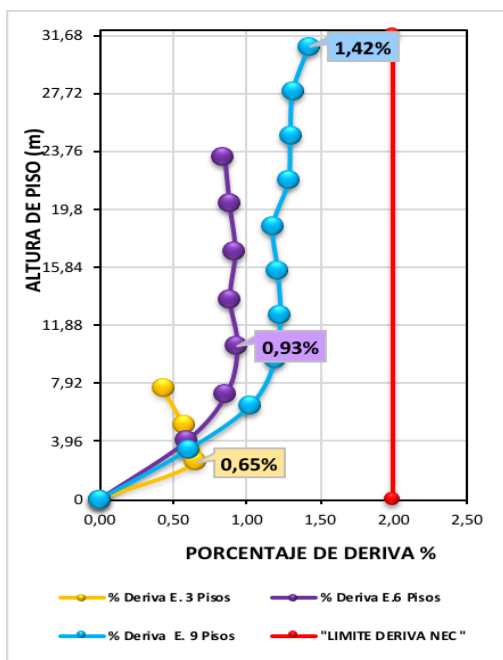


Figura 5. Derivas de piso. "Análisis Dinámico" Sistema Aporticado con paneles modulares M2 (Morales L., Manosalvas G., & Tarapués J., 2017).

Edificios de acero

Comparación de cortante basal

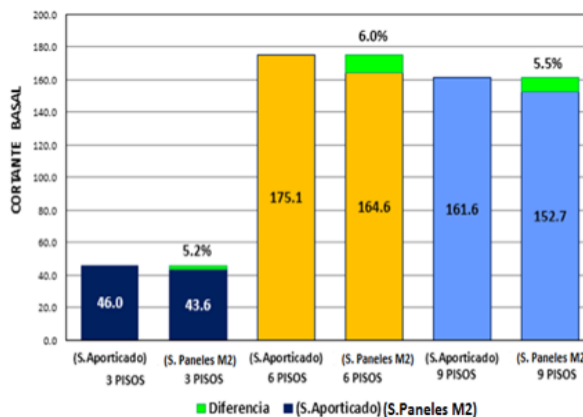


Figura 6. Cortante Basal de las edificaciones aporticadas y con mampostería. (Morales L., Manosalvas, G., & Tarapués, J., 2017)

Comparación de periodo de vibración

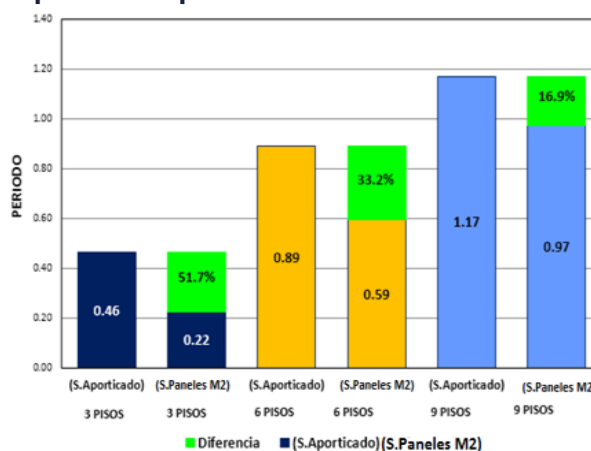


Figura 7. Periodo de las edificaciones aporticadas y con mampostería. (Morales L., Manosalvas G., & Tarapués J., 2017)

Comparación de Derivas

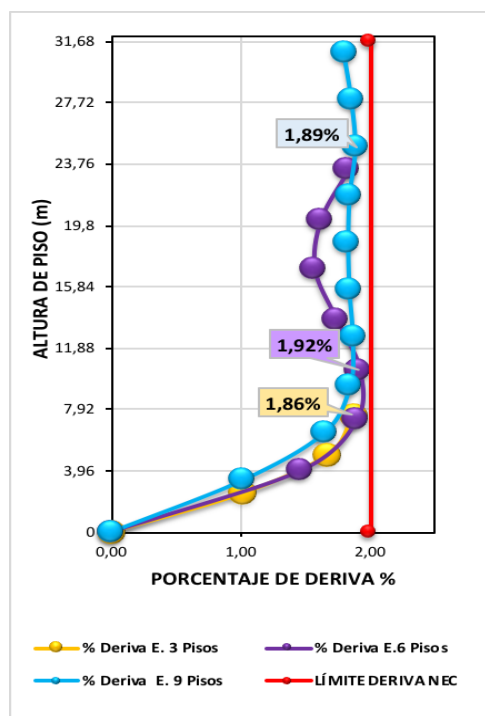


Figura 8. Derivas de piso. "Análisis Dinámico" Sistema Aporticado (Morales L., Manosalvas G., & Tarapués J., 2017)

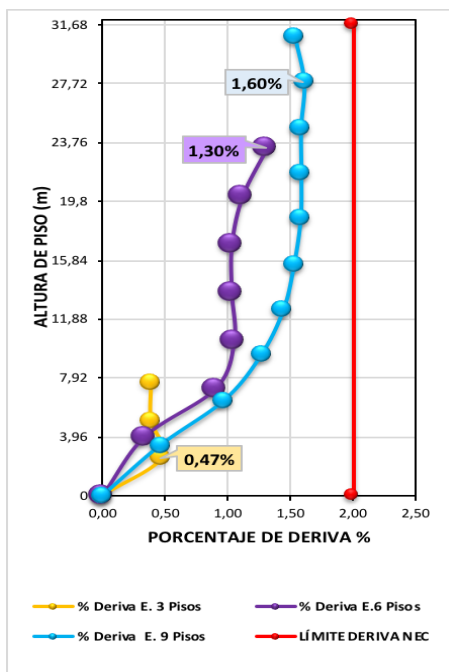


Figura 9. Derivas de piso. “Análisis Dinámico” Sistema Aporticado con paneles modulares M2 (Morales L., Manosalvas G., & Tarapués J., 2017)

Comparación entre edificios de hormigón y acero

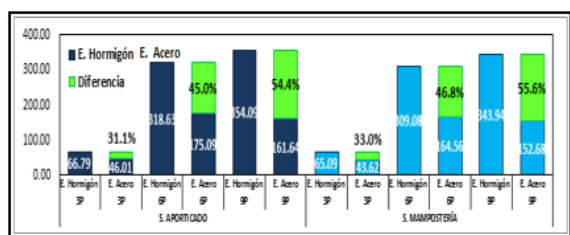


Figura 10. Cortante Basal de las edificaciones aporticadas y con mampostería. (Morales L., Manosalvas G., & Tarapués J., 2017)

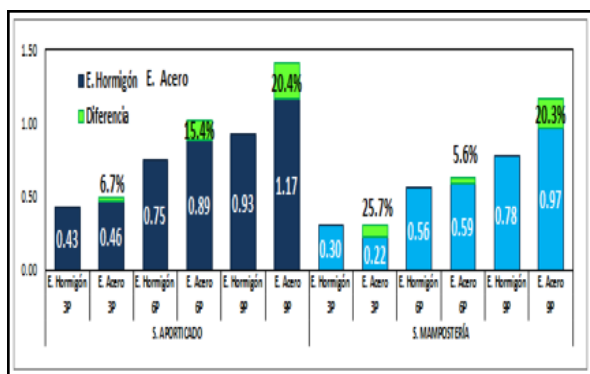


Figura 11. Periodo de las edificaciones aporticadas y con mampostería. (Morales Luis, Manosalvas G., & Tarapués J., 2017)

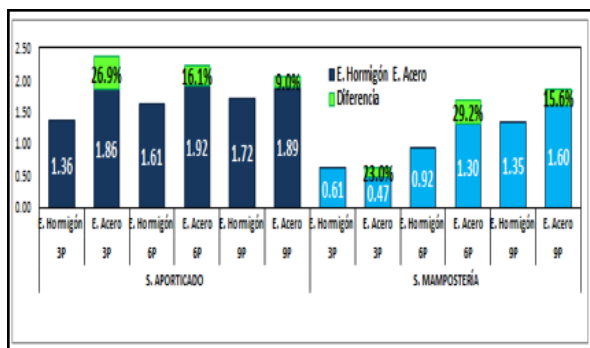


Figura 12. Derivas de Piso de las edificaciones aporticadas y con mampostería. (Morales Luis, Manosalvas G., & Tarapués J., 2017)

Conclusiones

La inclusión de la mampostería (M2) dentro del sistemas estructurales aporticado, disminuye la vulnerabilidad estructural y mejora la resiliencia ante la acción sísmica.

Las derivas de piso disminuyen al incluir la mampostería M2 dentro del análisis estructural, por el aumento de rigidez lateral que aporta el M2 al sistema estructural aporticado.

El porcentaje de reducción obtenido en peso, constante y periodo de vibración de las estructuras de acero fue de un 5% – 10 % más que en las estructuras de hormigón.

La disminución del periodo fundamental de vibración de las edificaciones de hormigón armado como de acero estructural, es resultado de la inclusión de la mampostería M2 dentro del sistema aporticado.

La mampostería M2 es factible usarlas en todo tipo de edificaciones, mejorando el comportamiento global de los sistemas aporticados y disminuyendo el costo y tiempo de ejecución en obra, en comparación con un sistema tradicional.

Para certificar las bondades que se obtiene al incluir los paneles M2 como mampostería dentro del sistema estructural aporticado, estos deben arriostrarse al marco estructural de hormigón armado y acero estructural, mediante el anclaje a varillas de refuerzo horizontales y verticales (chicotes) previamente dispuestas en el marco estructural.

La reducción de peso entre la Losa con Placa Colaborante y la Losa con Paneles de Tecnología M2 se debe a que el núcleo de poliestireno está compuesto por un 98% de aire siendo un elemento muy ligero.

Para evitar deflexiones que sobrepasen la máxima admisible, en la losa con Tecnología M2, es necesario integrar vigas IPE al sistema de entrepiso entre las vigas principales de hormigón armado, reduciendo así, considerablemente las deflexiones.

La variación en el porcentaje reducción del peso de las edificaciones, está en función del empleo de vigas secundarias IPE con mayor peralte, para disminuir la vibración que generaba al implementarse la losa de tecnología M2 en grandes luces que se presentaba en la edificación de 16 pisos con tramos de 6.85m, diferente a la edificación de 6 pisos que comprendían tramos entre 3 y 5.40 m, conservando en todos los tableros el mismo peralte de las vigas IPE utilizado para la losa de placa colaborante.



El índice de flexibilidad presente en un sistema de piso, sugiere que; la rigidez del mismo aumenta conforme la altura de la edificación y con la relación a la configuración de la estructura; además es un factor significativo en la determinación de la respuesta sísmica ya que interviene en los resultados de deformaciones y derivas.

Al cambiar el sistema de losa de Placa Colaborante a Paneles de tecnología M2 la estructura tuvo cambios en sus elementos, como en vigas y columnas, donde se redujeron los valores de momento y cortante, debido a la reducción de peso de la estructura y aumentaron las deflexiones en vigas, por las características resistentes del material.

Al reemplazar la losa de placa colaborante por la losa de tecnología M2, en el sistema estructural tradicional de hormigón armado se consiguió mayor rigidez y estabilidad a las edificaciones ante un evento sísmico.

A fin de garantizar los resultados obtenidos en esta investigación al implementar los paneles modulares M2 como sistemas de piso (losas), estas deben estar conectadas a vigas secundarias de acero estructural, a través de conectores de corte tipo stud o similar, formando una sección compuesta.

A pesar de que la reducción del peso total del edificio de 6 pisos fue mayor al edificio de 16 pisos, los porcentajes de reducción, en las respuestas estructurales de las edificaciones son similares, a causa de que las edificaciones de gran altura son más sensibles ante la variación de su masa, presentando así un mejor comportamiento al reducir el peso de sus losas.

El costo total de los materiales que intervienen en la construcción de las edificaciones de 6 y 16 pisos implementando el sistema de losa de tecnología M2, resulta un 12.96% más costoso con respecto a las edificaciones implementadas losa de placa colaborante ya que, a pesar de la disminución de las secciones de columnas y vigas, estas no son tan significativas como para reducir costos en lo que es la obra gris de la estructura.

Además del incremento en el costo de obra de las edificaciones, el sistema constructivo de la losa con paneles de tecnología M2 en comparación con el sistema constructivo de placa colaborante, es menos eficiente, ya que requiere más tiempo de ejecución, debido a la necesidad de más procedimientos técnicos en obra, convirtiéndose en un proyecto más caro y menos viable.

Referencias bibliográficas

Antamba, T&Cuaical, F. (2017). Análisis comparativo del comportamiento estructural de una edificación de 6 y 16 pisos implementando losas con paneles de tecnología M2 frente a losas con placa cooperante. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/14260/1/T-UCE-0011-IC327-2018.pdf>

Manosalvas, G. & Tarapués, J. (2017). Análisis comparativo de las derivas de piso, para edificaciones de 3, 6 y 9 pisos entre un sistema de muros confinados con M2 y un sistema aporricado. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/13272>

ACI 318S-14. (2015). Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (Versión en español y en Sistema Métrico SI). Recuperado de https://civilshare.files.wordpress.com/2016/07/aci_318s_14_en_espanol.pdf

Aguiar, R. (2016). Análisis Sísmico por Desempeño. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/280627456_Analisis_Sismico_por_Desempeno

M2 EMMEDUE. (2014). Manual Técnico "Sistema Constructivo Emmedue". Recuperado de https://issuu.com/gruppopranti/docs/emmedue_spa.

Norma ecuatoriana de la construcción NEC. Capítulo NEC-SE-HM. Estructuras de hormigón armado.

Norma ecuatoriana de la construcción NEC. Capítulo NEC-SE-DS. Cargas sísmicas diseño sismo resistente.

Norma ecuatoriana de la construcción NEC. Capítulo NEC-SE-PS. Peligro sísmico.

PANECONS. (2012). Proceso Descriptivo para Cálculo Estructural con el Sistema Hormi2 Dirigido a Ingenieros Estructurales y Calculistas.

Recuperado de <https://es.scribd.com/presentation/98250118/Calculo-Hormi2-General>.

Escalamiento de secciones a partir de módulos de elasticidad

Scaling of sections from elasticity modules



Morales Luis

Magister en Estructuras y Ciencias de los Materiales, docente titular Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática de la UCE

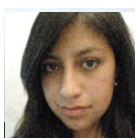
Email: lwmorales@uce.edu.ec



Coronel Armas María Gabriela

Estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática de la Universidad Central del Ecuador

Email: gabriela.coronel@outlook.com



Chimarro Quishpe Priscila Elizeth

Estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática de la Universidad Central del Ecuador

Email: priscila.chimarro@gmail.com

Resumen

La modelación a escala, en acero, de un edificio de 9 pisos situado en la ciudad de Quito, sometido a cargas sísmicas en la mesa de vibración XY Shake Table III, de la Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemática, a partir de la modelación matemática en ETABS, considera especificaciones establecidas por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) para el diseño de los elementos estructurales y el análisis de los resultados, permitiendo determinar técnicas de construcción y tipo de acero a ser utilizados para la elaboración de modelos a escala que reflejen el comportamiento real de la edificación. Utilizando el proceso de investigación para el desarrollo del proyecto, se identifican los elementos estructurales de la edificación existente en planos arquitectónicos, para el desarrollo del pre diseño de los mismos y posteriormente su escalamiento a acero, utilizando módulos de elasticidad. Además, al ser sometidos a la misma carga sísmica, tanto el modelo matemático como el modelo a escala, se realiza la comparación de resultados para analizar el comportamiento estructural, con base en la normativa vigente. Para el uso de la mesa de vibración XY Shake Table III se realizará el procedimiento de escalamiento de sismos del ASCE/SEI 10, considerado por el Dr. Aguiar Falconí, R., & García, H., utilizando eventos sísmicos registrados por el IG-EPN y sismos que podrían producirse en la ciudad de Quito, debido a las fallas geológicas presentes y a la energía acumulada en la corteza terrestre.

Palabras clave: modelación a escala; cargas sísmicas; mesa de vibración; modelación matemática; comportamiento estructural; escalamiento; norma ecuatoriana de la construcción.

Abstract

The modeling to steel-scale of a 9-floor building which is located in Quito city, under seismic loads on the XY vibration Table III table of the Engineering, Physical Sciences and Mathematics Faculty, based on mathematical modeling in ETABS, considers established specifications by the Ecuadorian Construction Standard (NEC) for the design of structural elements and the analysis of results, getting the determination of construction techniques and steel type to be used for the elaboration of scale models that reflect the real behavior of the building. Using the research process for the development of the project, the structural elements of the existing building are identified in architectural plans, for the development of the pre-design of the same and later its scaling to steel using elasticity modules. In addition, when subjected to the same seismic load, both the mathematical model and the scale model, the results are compared to analyze the structural behavior based on current regulations. For the use of the XY Shake Table III vibration table, the earthquake escalation procedure of the ASCE/SEI 10 will be carried out, considered by Dr. Aguiar Falconi, R., & García, H., using seismic events registered by the IG-EPN and earthquakes that could occur in the city of Quito due to the present geological faults and the energy accumulated in the earth crust.

Keywords: scale modeling; seismic loads; vibration table; mathematical modeling; structural behavior; scaling; Ecuadorian construction regulation.



Introducción

Un sismo no daña las edificaciones, es la fuerza de inercia, generada a partir de la vibración de la masa del edificio, la que produce dichos daños; su forma, las dimensiones y la configuración determinan la fuerza de afectación y resistencia ante la acción de los sismos; además, el peso de la edificación es lo que produce el colapso; generalmente los edificios caen verticalmente, no a los lados, como consecuencia de que las fuerzas laterales tienden a doblar y quebrar las columnas y muros estructurales, y la acción de la gravedad sobre la estructura debilitada produce dicho colapso. (Belriq, 2017).

Debido al crecimiento demográfico de la ciudad de Quito se ha incrementado la construcción de viviendas con diferentes materiales como: adobe, ladrillo, bloques y principalmente hormigón armado en sitios inestables, como quebradas rellenas de material suelto y en laderas empinadas, gran parte de las construcciones antiguas y actuales son informales, es decir, que carecen del uso de la normativa vigente y de mano de obra calificada, siendo un problema por la disminución del desempeño estructural de las mismas, de tal manera que, si ocurriera un sismo de gran magnitud, los daños serían considerables. (Naya, 2010).

De acuerdo a los registros obtenidos en el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN), en el año de 1587, en el norte de la ciudad de Quito, se produjo un sismo de magnitud M_w de 6.4 (M_w es una escala universal de magnitud que relaciona la energía sísmica liberada por el terremoto con las características físicas de la falla geológica que lo produce), asociado al sistema de fallas geológicas (fallas ciegas); desde esa fecha no se han vuelto a registrar sismos con magnitudes mayores a 6 grados, sin embargo, la ciudad presenta una alta peligrosidad sísmica. Sismos, como el producido en 1868, cuando la población de la ciudad era de 45.000 habitantes que vivían en un área de 4 km² (IG-EPN, 2003), afectó de manera significativa las construcciones la zona urbana, al igual que el sismo del 10 de agosto de 1990 con una magnitud M_w de 5.3.

Para el desarrollo de esta investigación se consideran los registros sísmicos del 12 de agosto, 16 de agosto y 26 de diciembre, todos del 2014, aplicando el procedimiento de escalamiento del ASCE/SEI 10 para obtener registros sísmicos compatible con el espectro de la NEC, utilizando los factores de sitio respectivos. Debido a que la aceleración es muy baja en el escalamiento de dichos sismos, se consideran sismos impulsivos que podrían producirse en la ciudad de Quito para observar el comportamiento de los modelos, matemático y a escala. (NEC, 2015)

Es así, que esta investigación se realiza para escalar estructuras reales utilizando módulos de elasticidad, someterlas a cargas sísmicas en una mesa de vibra-

ción y analizar el comportamiento que esta presenta, llegando a obtener resultados muy cercanos a la realidad y así conocer el comportamiento que desarrolla la edificación ante la acción de cargas sísmicas.

Debido a que el comportamiento estructural de la edificación ante la acción de una fuerza sísmica es considerado tanto para edificaciones de hormigón armado como para edificaciones de estructura metálica, se debe cumplir con las especificaciones de la normativa vigente para el diseño de cada uno de los elementos estructurales que la conforman, por lo que es necesario determinar la zona sísmica en la que se va a implantar la edificación, siendo fundamental para el desarrollo del trabajo de titulación basado en el análisis estructural del comportamiento de una edificación mediante el uso de un modelo matemáticos.

Metodología

La metodología del proyecto de investigación académica parte de la arquitectura de la edificación de 9 pisos, llamada Sauces Plaza 2, implantado en la ciudad de Quito; la observación permite ubicar los elementos estructurales horizontales y verticales como: vigas, losas y columnas respectivamente, que conforman la estructura, para realizar el pre diseño de los elementos estructurales antes mencionados, aplicando consultas bibliográficas en la normativa de construcción vigente y normativa internacional utilizada en el país.

Se obtienen las aceleraciones de los eventos sísmicos con mayor magnitud registrados por el IG-EPN en la ciudad de Quito desde el 2011, año en el que los acelerógrafos empezaron a registrar estas aceleraciones. Se calculan los espectros de diseño y se compara con el espectro de la NEC, se analiza los resultados de aceleraciones obtenidas y se observa que estas son muy bajas.

Estas aceleraciones de Quito, cargadas en la mesa de vibración no permiten apreciar el movimiento del modelo a escala, es así que, basándose en el estudio de "Los sismos impulsivos y la necesidad de considerar factores Near fault en el espectro para diseño de estructuras en Quito", (Aguilar Falconí & Castillo, 2014), donde se afirma que Quito, al encontrarse en el sistema de fallas ciegas que atraviesa la ciudad, tiene gran probabilidad de ocurrencia de sismos impulsivos, se selecciona eventos impulsivos del PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center) en función del índice de impulsividad, que pudieran producirse en la ciudad de Quito por las fallas ciegas y la acumulación de energía en la corteza terrestre, con los cuales se diseña la estructura para que cumpla con los parámetros de diseño sísmico, establecidos en la normativa vigente.

A partir de las dimensiones de los elementos estructurales obtenidas del pre diseño, se realiza la modelación matemática de la edificación en un software para análisis y diseño estructural que permite conocer el comportamiento de la estructura al ser sometida a una carga sísmica. Se realiza el análisis paso a paso, en el tiempo establecido en la Norma Ecuatoriana de Construcción, en su capítulo de Peligro Sísmico, considerando los factores de sitio. Para el ingreso de datos en la mesa de vibración XY Shake Table III, se realiza el escalamiento de sismos tomando en cuenta el procedimiento según el Dr. Aguiar y García (2014) que afirma la realización de escalamiento de sismos construyendo acelerogramas compatibles con un espectro.

Para la modelación a escala, se realiza el escalamiento de las secciones de los elementos estructurales de acuerdo al método de relación de módulos de elasticidad, este método fue seleccionado ya que se puede realizar un análisis de los materiales con los que se va a construir el modelo a escala y representar las propiedades de los materiales con los que se va a construir o está construida la edificación establecida para el análisis y a su vez se determina de manera rápida el comportamiento estructural que presenta cuando está sometida a cargas sísmicas, con la comparación de las aceleraciones tanto del modelo matemático como el modelo a escala. Además, se considera las dimensiones y la capacidad de la mesa de vibración donde se va a ejecutar el ensayo.

Como referencia del proyecto "Reforzamiento sísmico de paraboloides hiperbólicos aplicando en NEC-11" (Arciniega y Fuentes, 2012), se considera la relación de módulos de elasticidad para el escalamiento de las secciones de los elementos estructurales, detallado a continuación:

Datos:

Esfuerzo máximo de compresión del hormigón.

$$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$$

Límite de fluencia del acero.

$$fy = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

Módulo de elasticidad del hormigón.

$$Ec = 4.7 * \sqrt{28} \text{ GPa} = 24.870 \text{ GPa.}$$

$$Ec = 253517.45 \text{ kg/cm}^2$$

Módulo de elasticidad del acero.

$$Es = 2038736 \text{ kg/cm}^2$$

Peso específico del hormigón.

$$\gamma_h = 2.4 \text{ t/m}^3$$

Relación de módulos de elasticidad.

$$n = \frac{Ec}{Es}$$

$$n = \frac{253517.45 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{\frac{2100000 \text{kg}}{\text{cm}^2}} \text{ Ec. (1)}$$

$$n = 0.121$$

Se realiza el escalamiento de los elementos estructurales considerando la relación de módulos de elasticidad, a continuación, se presenta el procedimiento.

Vigas:

Se tiene la siguiente dimensión para todas las vigas de la estructura:

Base (b) = 45 cm

Altura (h) = 60 cm

Cálculo de la inercia del elemento.

Inercia en el sentido x.

$$I_{xx} = \frac{b \cdot h^3}{12} \text{ Ec. (2)}$$

$$I_{xx} = \frac{45 \text{ cm} * (60 \text{ cm})^3}{12}$$

$$I_{xx} = 810000.0 \text{ cm}^4$$

Área del elemento considerando su inercia.

$$I = \frac{b * h^3}{12}$$

Considerando una sección cuadrada, b = h.

$$I = \frac{h^4}{12}$$

Dónde:

$$h = \sqrt[4]{12 * I}$$

$$h = \sqrt[4]{12 * 810000.0 \text{ cm}^4}$$

$$h = b = 55.84 \text{ cm}$$

Cálculo de área del elemento:

$$A = b * h \text{ Ec. (3)}$$

$$A = 55.84 \text{ cm} * 55.84 \text{ cm}$$

$$A = 3117.69 \text{ cm}^2$$

Área equivalente en acero.

Para el cálculo del área equivalente en acero de la sección, se realiza el producto del área del elemento por la relación de módulos de elasticidad.

$$A_{ea} = \text{Área del elemento} * n \text{ Ec. (4)}$$

$$A_{ea} = 3117.69 \text{ cm}^2 * 0.121$$

$$A_{ea} = 376.38 \text{ cm}^2$$



Sección necesaria del elemento estructural en acero escalado.

Tomando en cuenta que las dimensiones de la mesa de vibración XY Shake Table III son de 71.1 cm x 71.1 cm, la estructura en acero escalada debe encajar en la mesa, de tal manera que no sobrepase los límites.

Conociendo que la estructura real tiene por lados: 25.65m y 15.6m, se debe encontrar la escala que permita que el modelo escalado encaje en la mesa de vibración.

$$E = \frac{\text{Plano}}{\text{Terreno}} = \frac{1}{x} \text{ Ec. (5)}$$

$$\frac{1}{x} = \frac{71.1 \text{ cm}}{2565 \text{ cm}}$$

$$x = \frac{2565 \text{ cm}}{71.1 \text{ cm}}$$

$$x = 36 \cong 40$$

Es así como se ha considerado una escala de 1:40. Se tienen las dimensiones escaladas de eje a eje. Se calcula el área de acero escalada:

$$A_{\text{escalada}} = \frac{376.38 \text{ cm}^2}{40^2} = 0.24 \text{ cm}^2$$

Con el cálculo anterior, se obtiene un área de 1.95 cm² de viga en acero escalada. Considerando que la sección de la viga no es rectangular, se calcula una relación de sus lados.

Datos:

$$b = 45 \text{ cm y } h = 60 \text{ cm}$$

$$\text{Relación de lados} = \frac{h}{b} \quad \text{Ec. (6)}$$

$$\text{Relación de lados} = 1.33$$

$$\frac{h}{b} = 1.33$$

$$h = 1.33b$$

Se calcula los lados de la viga considerando la relación de lados y el área de acero calculada:

$$A_{\text{escalada}} = b * h$$

$$A_{\text{escalada}} = b * 1.33b$$

$$A_{\text{escalada}} = 1.33 b^2$$

$$b = \sqrt{\frac{A_{\text{escalada}}}{1.33}} = \sqrt{\frac{0.24 \text{ cm}^2}{1.33}} = 0.4 \text{ cm}$$

Teniendo el cálculo anterior que h=1.33b se calcula el otro lado de la viga:

$$h = 1.33 * 0.4 \text{ cm}$$

$$h = 0.6 \text{ cm}$$

Es así como la sección de viga escalada en acero es: b= 0.4cm y h= 0.6cm.

Columnas:

Para el escalamiento de las columnas se aplica el mismo procedimiento realizado en vigas.

Se tiene la siguiente dimensión de una columna:

$$\text{Base (b)} = 40 \text{ cm}$$

$$\text{Altura (h)} = 60 \text{ cm}$$

Cálculo de inercias.

Inercia en el sentido x.

$$I_{xx} = \frac{b * h^3}{12}$$

$$I_{xx} = \frac{40 \text{ cm} * (60 \text{ cm})^3}{12}$$

$$I_{xx} = 720000.0 \text{ cm}^4$$

Área del elemento considerando su inercia.

$$I = \frac{b * h^3}{12}$$

Considerando una sección cuadrada, b = h.

$$I = \frac{h^4}{12}$$

Donde:

$$h = \sqrt[4]{12 * I}$$

$$h = \sqrt[4]{12 * 720000.0 \text{ cm}^4}$$

$$h = b = 54.22 \text{ cm}$$

Cálculo de área del elemento:

$$A = b * h$$

$$A = 54.22 \text{ cm} * 54.22 \text{ cm}$$

$$A = 2939.81 \text{ cm}^2$$

Área equivalente en acero.

Para el cálculo del área equivalente en acero de la sección, se realiza el producto del área del elemento por la relación de módulos de elasticidad.

$$A_{ea} = \text{Área del elemento} * n$$

$$A_{ea} = 2939.81 \text{ cm}^2 * 0.121$$

$$A_{ea} = 354.90 \text{ cm}^2$$

Sección necesaria del elemento estructural en acero escalado.

Se calcula el área de acero escalada:

$$A_{\text{escalada}} = \frac{354.85 \text{ cm}^2}{40^2}$$

$$A_{\text{escalada}} = 0.22 \text{ cm}^2$$

Con el cálculo anterior, se obtiene un área de 0.22 cm² de columna en acero escalada. Considerando que la sección de la columna no es rectangular, se calcula una relación de sus lados.

Datos:

Base = 40 cm

Altura = 60 cm

$$\text{Relación de lados} = \frac{h}{b}$$

$$\text{Relación de lados} = 1.50$$

$$\frac{h}{b} = 1.50$$

$$h = 1.50b$$

Se calcula los lados de la columna considerando la relación de lados y el área de acero calculada:

$$\text{Aescalada} = b * h$$

$$\text{Aescalada} = b * 1.50b$$

$$\text{Aescalada} = 1.50 b^2$$

$$b = \sqrt{\frac{\text{Aescalada}}{1.50}} = \sqrt{\frac{0.22 \text{ cm}^2}{1.50}} = 0.4 \text{ cm}$$

Teniendo el cálculo anterior que h=1.50b se calcula el otro lado de la viga:

$$h = 1.50 * 0.4 \text{ cm} = 0.6 \text{ cm}$$

Es así como la sección de columna escalada en acero es:

$$b = 0.4 \text{ cm} \text{ y } h = 0.6 \text{ cm.}$$

Para la obtención de una sección circular del elemento escalado, se realiza la equivalencia entre inercias entre una sección rectangular y circular. Con este análisis se calculará el diámetro equivalente a partir de una sección rectangular.

Inercia sección rectangular:

$$I_{\square} = \frac{b * h^3}{12}$$

Inercia sección circular:

$$I_{\circ} = \frac{\pi * d^4}{64}$$

Igualación de inercias.

$$I_{\square} = I_{\circ}$$

$$\frac{b * h^3}{12} = \frac{\pi * d^4}{64}$$

Con el análisis presentado se inicia el cálculo considerando la sección de vigas donde: b=0.4 cm y h=0.6cm.

$$\frac{b * h^3}{12} = \frac{\pi * d^4}{64}$$

$$\frac{(0.6 \text{ cm}) * (0.4 \text{ cm})^3}{12} = \frac{\pi * d^4}{64}$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{64 * (0.6 \text{ cm}) * (0.4 \text{ cm})^3}{12 * \pi}}$$

$$d = 0.51 \text{ cm}$$

$$d = 5.1 \text{ mm} \cong 5 \text{ mm}$$

Se aplica el mismo procedimiento para las secciones de columnas; a continuación, se presenta una tabla resumen, donde se encuentra la sección real, la sección escalada rectangular y finalmente la sección escalada circular: La construcción de secciones en acero, con las dimensiones establecidas por este procedimiento, rigidiza los elementos que conformarán el modelo a escala, lo que evita ver el movimiento del modelo a pesar de que tiene 9 pisos durante el ensayo.

Se comprueba el tipo de acero que será utilizado para la conformación de columnas, vigas y losa; el tipo de acero utilizado deberá permitir un adecuado comportamiento de la estructura al ser ensayada en la mesa de vibración.

Con el ensayo del modelo a escala, en la mesa de vibración se determinará el tipo de acero a ser utilizado, las técnicas constructivas y se comparará con los resultados obtenidos en el modelo matemático realizado.

Peso del modelo a escala:

Utilizando la escala 1:40 establecida para determinar las dimensiones del modelo a escala se considera:

Datos:

Peso específico hormigón (γ_H) = 2.4 t/m₃

Peso específico del acero (γ_A) = 7.85t/m₃

$$n = \frac{\gamma_H}{\gamma_A} \tag{Ec. (7)}$$

$$n = \frac{2.4 \text{ t/m}^3}{7.85 \text{ t/m}^3} = 0.306$$

Peso del edificio del modelo matemático

(P)= 2902.446 t.

Se utiliza la siguiente ecuación para teóricamente para cambiar la sección de hormigón a acero:

$$P_{TOTAL} = P * n \tag{Ec. (8)}$$

$$P_{TOTAL} = P * n = 2902.446 * 0.306 = 888.14 \text{ t}$$

Para realizar el escalamiento se considera la escala 1:40, de manera que se asume un escalamiento de 40 en los tres sentidos de los cuerpos geométricos.

$$P_{esc} = \frac{P_{TOTAL}}{E^3} \quad \text{Ec. (9)}$$

$$P_{esc} = \frac{888.148 t}{40^3} = 0.01388t = 13.88kg$$

De esta manera se considera que el peso del modelo a escala con los materiales considerados para el método que se utilice, tenga un valor aproximado a 13.88 kg.

Elaboración del modelo a escala

Para la elaboración del modelo a escala se consideran los materiales a ser utilizados y la técnica constructiva. Debido a que el modelo a escala es en acero, la manera más efectiva de unir los elementos que lo conforman es a través de la suelda, considerando el método de rigidez por piso.

Este procedimiento es complejo debido a las dimensiones de los alambres y al espesor de las láminas de acero utilizadas para la elaboración del modelo a escala.

Para realizar el armado del modelo a escala se siguió el siguiente procedimiento:

- Con el procedimiento anterior de escalamiento de secciones se hace un plano del modelo que va a ser ensayado para determinar la cantidad necesaria de material que será utilizado en su elaboración.
- Se procede a cortar cada uno de los materiales utilizados para la elaboración del modelo a escala y se arma los pórticos con el alambre colocando las columnas principales de 3mm, desde la base hasta el último piso, uniéndolas mediante las vigas de 2mm, establecidas para ese lado de los pórticos. Una vez que se tienen armados los pórticos, en el sentido más largo, se procede a unir nuevamente con las vigas, los pórticos en el otro sentido, hasta formar el modelo, tomando en la manipulación de los materiales, para evitar las deformaciones, durante el proceso de elaboración.
- Cuando se realice completamente el armado de las columnas y vigas, mediante la soldadura, se procede a determinar el peso del modelo a escala que está siendo elaborado para tener registros, antes de la colocación de la base y las losas de tol, considerando diferentes tipos de balanzas para tener una mejor precisión.
- Con las dimensiones establecidas se corta el tol de manera precisa para formar las losas de acero y formar finalmente el modelo a escala.
Se colocan las placas de tol para completar la carga establecida en el escalamiento.
De esta manera, igual que los toles de la losa, la base del modelo a escala es empotrado para impedir el movimiento del edificio escalado, una vez que esté colocado en la mesa de vibración XY Shake Table III para el ensayo.

- Se pesa nuevamente la estructura para considerar el peso final del modelo con la base de tol.
- Para mostrar estética en el modelo después de haber sido soldado completamente, se pinta de color negro las columnas y las losas de color gris. Ver figuras de la 1 a la 8 en anexos (formato digital). De manera que el modelo a escala tiene las siguientes dimensiones:

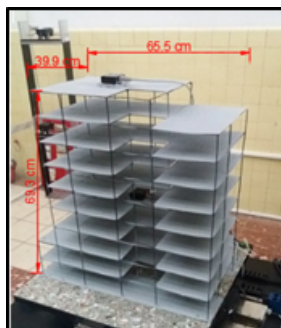


Figura 7: Modelo a escala con las dimensiones finales.

Discusión de resultados

De los ensayos realizados se obtienen los siguientes resultados del modelo matemático y del modelo escalado considerando la relación de los módulos de elasticidad de los materiales.

Análisis tiempo historia de los sismos de Quito

Para este análisis se comparan las gráficas “Tiempo historia” del modelo matemático y de las aceleraciones obtenidos por los acelerómetros en la mesa de vibración. Se analiza el modelo con la carga total, considerando la guía de experimentos a pequeña escala usando mesa de vibración y su comparación con predicciones analíticas. (UCIST, 2015). Para el ensayo se considera el número de piso en función del piso en el que se colocaron los acelerómetros, el piso 1 corresponde al piso 4 y el piso 2 se refiere al piso 9 en los modelos matemático y escala. De manera que se realiza el análisis de las aceleraciones cargadas en los modelos matemático y a escala, considerando la caracterización de registros acelerográficos obtenidos en el laboratorio. (Schmidt Díaz & Quirós Serrano, 2007)

Carga total.

Sismo del 12 de agosto del 2014.

Se observa en la Fig. 10 (anexos), que la aceleración máxima es 0.21 m/s^2 que se encuentra de 3.62s. Mientras que en la Fig. 11 que corresponde a las aceleraciones de la mesa de vibración, la aceleración máxima promedio es de aproximadamente $0.027g$, que corresponde a 0.27 m/s^2 en un tiempo de 3.57s aproximadamente. La aceleración máxima de cada una de las gráficas tiene un tiempo similar, sin embargo, el valor de aceleración tiene una variación de 0.06 m/s^2 .

En la Fig.12(anexos), la aceleración máxima es 0.22 m/s^2 que se encuentra en un tiempo de 4.23s. Mientras

que en la Fig. 13 que corresponde a las aceleraciones de la mesa de vibración, la aceleración máxima promedio es de aproximadamente 0.031g, que corresponde a 0.29 m/s² en un tiempo de 4.69s aproximadamente. La aceleración máxima de cada una de las gráficas coincide en tiempo sin embargo el valor de aceleración es muy disperso teniendo una diferencia de 0.07 m/s².

Sismo del 16 de agosto del 2014.

Se observa en la Fig. 14 (anexos), que la aceleración máxima es 0.335 m/s² que se encuentra en un tiempo de 6.60s. Mientras que en la Fig. 15 que corresponde a las aceleraciones de la mesa de vibración, la aceleración máxima promedio es de aproximadamente 0.032g, que corresponde a 0.32 m/s² en un tiempo de 6.76s aproximadamente. Se observa que la aceleración máxima de cada una de las gráficas tiene un tiempo similar, sin embargo, el valor de aceleración tiene una variación de 0.02 m/s².

Se observa en la Fig. 16 (anexos), que la aceleración máxima es 0.29 m/s² que se encuentra en un tiempo de 7.80s. Mientras que en la Fig. 17 que corresponde a las aceleraciones de la mesa de vibración, la aceleración máxima promedio es de aproximadamente 0.035g, que corresponde a 0.35 m/s² en un tiempo de 6.48s aproximadamente. La aceleración máxima de cada una de las gráficas se tiene un tiempo diferente con una variación de 1.32s, de la misma manera que el valor de aceleración que se encuentra muy disperso teniendo una diferencia de 0.06 m/s².

Sismo del 26 de diciembre del 2014.

Se observa en la Fig. 18 (anexos), que la aceleración máxima es 0.026 m/s² que se encuentra en un tiempo de 5.12s. Mientras que en la Fig. 19 que corresponde a las aceleraciones de la mesa de vibración, la aceleración máxima promedio es de aproximadamente 0.0025g, que corresponde a 0.025 m/s² en un tiempo de 5.62s aproximadamente. La aceleración máxima de cada una de las gráficas tiene un tiempo similar con variación de 50s, además, el valor de aceleración tiene una variación de 0.001 m/s².

En la Fig. 20, la aceleración máxima es 0.029 m/s² que se encuentra en un tiempo de 6.73s. Mientras que en la Fig. 21 que corresponde a las aceleraciones de la mesa de vibración, la aceleración máxima promedio es de aproximadamente 0.0026g, que corresponde a 0.026 m/s² en un tiempo de 6.48s aproximadamente. Se observa que la aceleración máxima de cada una de las gráficas se tiene un tiempo diferente con una variación de 1.21s, de la misma manera que el valor de aceleración que se encuentra muy disperso teniendo una diferencia de 0.003 m/s².

Análisis tiempo historia para sismos impulsivos.

Para este análisis se comparan las gráficas "Time History" del modelo matemático y de las aceleraciones obtenidos por los acelerómetros en la mesa de vibración. Se analiza los casos de carga realizados: carga de vigas y columnas y carga adicional distribuida, ya que son los dos casos en los que mejor comportamiento tuvo el modelo en el ensayo. Para el ensayo se considera el número de piso en función del piso en el que se colocaron los acelerómetros, el piso 1 corresponde al piso 4 y el piso 2 se refiere al piso 9 en los modelos matemático y escala.

Evento sísmico cape mendocino.

Carga vigas y columnas.

Se observa en la Fig. 22, que la aceleración máxima es 24.15 m/s² que se encuentra en un tiempo de 3.3s. Mientras que en la Fig. 23 que corresponde a las aceleraciones de la mesa de vibración, la aceleración máxima promedio es de aproximadamente 2.9 g, que corresponde a 29.60 m/s² en un tiempo de 3.30s aproximadamente. La aceleración máxima de cada una de las gráficas coincide en tiempo sin embargo el valor de aceleración es muy variado teniendo una diferencia de 5.45 m/s².

Se observa en la Fig. 24, que la aceleración máxima es 40.82 m/s² que se encuentra en un tiempo de 3.18s. Mientras que en la Fig. 25 que corresponde a las aceleraciones de la mesa de vibración, la aceleración máxima promedio es de aproximadamente 0.5g, que corresponde a 49.10 m/s² en un tiempo de 3s aproximadamente. La aceleración máxima de cada una de las gráficas coincide en tiempo con variación mínima, sin embargo, el valor de aceleración es muy disperso teniendo una diferencia de 8.28 m/s².

Se observa en la Fig. 26, que la aceleración máxima es 7.75 m/s² que se encuentra en un tiempo de 3.3s. Mientras que en la Fig. 27 que corresponde a las aceleraciones de la mesa de vibración, la aceleración máxima promedio es de aproximadamente 0.41g, que corresponde a 4.12 m/s² en un tiempo de 3s aproximadamente. La aceleración máxima de cada una de las gráficas coincide en tiempo con una variación mínima, sin embargo, el valor de aceleración presenta una diferencia de 3.63 m/s².

Se observa en la Fig. 28, que la aceleración máxima es 2.79 m/s² que se encuentra en un tiempo de 3.1s. Mientras que en la Fig. 29 que corresponde a las aceleraciones de la mesa de vibración, la aceleración máxima promedio es de aproximadamente 0.42 g, que corresponde a 4.21 m/s² en un tiempo de 3s aproximadamente. La aceleración máxima de cada una de las



gráficas coincide en tiempo y el valor de aceleración es muy cercano presentando una variación de 1.42 m/s^2 .

Carga adicional distribuida.

(fig. 30-fig.53 ver en anexos digitales)

Se observa en la Fig. 30, que la aceleración máxima es 19.9 m/s^2 que se encuentra en un tiempo de 3.1s. Mientras que en la Fig. 31 que corresponde a las aceleraciones de la mesa de vibración, la aceleración máxima promedio es de aproximadamente 2.1g, que corresponde a 22.10 m/s^2 en un tiempo de 3s aproximadamente. La aceleración máxima de cada una de las gráficas coincide en tiempo y su valor de aceleración varía en 2.20 m/s^2 .

Se obtiene en la Fig. 32, que la aceleración máxima es 25.17 m/s^2 que se encuentra en un tiempo de 3.24s. Mientras que en la Fig. 33 que corresponde a las aceleraciones de la mesa de vibración, la aceleración máxima promedio es de aproximadamente 3.5g, que corresponde a 34.53 m/s^2 en un tiempo de 3.5s aproximadamente. La aceleración máxima y el tiempo de cada una de las gráficas corresponden a valores similares. Teniendo en la aceleración una diferencia de 9.36 m/s^2 en un tiempo, en cada caso, de alrededor de 0.26s.

Se obtiene en la Fig. 34, que la aceleración máxima es 7.51 m/s^2 que se encuentra en un tiempo de 2.94s. Mientras que en la Fig. 35 que corresponde a las aceleraciones de la mesa de vibración, la aceleración máxima promedio es de aproximadamente 0.8g, que corresponde a 8.23 m/s^2 en un tiempo de 2.5s aproximadamente. La aceleración máxima de cada una de las gráficas se encuentra en un tiempo muy aproximado teniendo una variación de 0.44s y su valor de aceleración varía en 0.72 m/s^2 .

Se obtiene en la Fig. 36, que la aceleración máxima es 11.30 m/s^2 que se encuentra en un tiempo de 2.94s. Mientras que en la Fig. 37 que corresponde a las aceleraciones de la mesa de vibración, la aceleración máxima promedio es de aproximadamente 3.1g, que corresponde a 10.00 m/s^2 en un tiempo de 2.52s aproximadamente. La aceleración máxima de cada una de las gráficas se encuentra en un tiempo muy aproximado teniendo una variación de 0.42s y su valor de aceleración también muy cercano con una variación de 1.30 m/s^2 .

Evento sísmico northridge

Carga vigas y columnas.

En la Fig. 38 del modelo matemático, la aceleración máxima es 18.96 m/s^2 que se encuentra en un tiempo de 3.1s. Mientras que en la Fig. 39 que corresponde a las aceleraciones del modelo a escala, la aceleración máxima promedio es de aproximadamente 1.6g,

que corresponde a 16.23 m/s^2 en un tiempo de 2.56s aproximadamente. En este análisis se observa que la aceleración máxima de cada una de las gráficas se encuentra en un tiempo muy aproximado teniendo una variación de 0.54s mientras que los valores de aceleración tienen una variación de 2.73 m/s^2

Se obtiene en la Fig. 40 del modelo matemático, que la aceleración máxima es 14.19 m/s^2 que se encuentra en un tiempo de 9.68s. Mientras que en la Fig. 41 que corresponde a las aceleraciones del modelo a escala, la aceleración máxima promedio es de aproximadamente 1.7g, que corresponde a 16.80 m/s^2 en un tiempo de 2.55s aproximadamente. Las aceleraciones máximas de cada una de las gráficas no son similares teniendo una variación de 2.70 m/s^2 , lo propio sucede con el tiempo, existiendo entre los dos análisis una variación de tiempo de 7.03s.

Se obtiene en la Fig. 42 del modelo matemático, que la aceleración máxima es 0.67 m/s^2 que se encuentra en un tiempo de 6.86s. Mientras que en la Fig. 43 que corresponde a las aceleraciones del modelo a escala, la aceleración máxima promedio es de aproximadamente 0.17g, que corresponde a 1.68 m/s^2 en un tiempo de 2.60s aproximadamente. Las aceleraciones máximas de cada una de las gráficas son similares teniendo una variación de 1.01 m/s^2 , lo propio sucede con el tiempo, existiendo entre los dos análisis una variación de tiempo de 4.26s.

Se obtiene en la Fig. 44 del modelo matemático, una aceleración máxima es 24.63 m/s^2 que se encuentra en un tiempo de 6.88s. Mientras que en la Fig. 45 que corresponde a las aceleraciones del modelo a escala, la aceleración máxima promedio es de aproximadamente 0.2g, que corresponde a 21.10 m/s^2 en un tiempo de 2.98s aproximadamente. Las aceleraciones máximas de cada una de las gráficas no son similares teniendo una variación de 3.53 m/s^2 , lo propio sucede con el tiempo, existiendo entre los dos análisis una variación de tiempo de 3.9s.

Carga adicional distribuida.

Northridge piso 1 sentido x

Se obtiene en la Fig. 46 del modelo matemático, una aceleración máxima es 8.33 m/s^2 que se encuentra en un tiempo de 6.58 s. Mientras que en la Fig. 47 que corresponde a las aceleraciones del modelo a escala, la aceleración máxima promedio es de aproximadamente 0.79g, que corresponde a 7.93 m/s^2 en un tiempo de 2.5s aproximadamente. La aceleración máxima de las dos gráficas no coincide en tiempo, obteniendo una variación de 4.08s y su valor de aceleración se aproxima, variando en 0.40 m/s^2 .

Northridge piso 2 sentido x

Se obtiene en la Fig. 48 del modelo matemático, una aceleración máxima es 8.93m/s^2 que se encuentra en un tiempo de 6.36s. Mientras que en la Fig. 49 que corresponde a las aceleraciones del modelo a escala, la aceleración máxima promedio es de aproximadamente 0.85g, que corresponde a 8.51 m/s^2 en un tiempo de 2.5s aproximadamente. La aceleración máxima de las dos gráficas no coincide en tiempo teniendo una variación menor de 3.86s, lo propio sucede con las aceleraciones máximas, se presenta una variación de 0.42 m/s^2 .

Northridge piso 1 sentido y

Se obtiene en la Fig. 50 del modelo matemático, una aceleración máxima es 14.47 m/s^2 que se encuentra en un tiempo de 7.1s. Mientras que en la Fig. 51 que corresponde a las aceleraciones del modelo a escala, la aceleración máxima promedio es de aproximadamente 1.4g, que corresponde a 15.10 m/s^2 en un tiempo de 3.1s aproximadamente. Las aceleraciones máximas de las gráficas son muy similares, obteniendo una variación de 0.63 m/s^2 , sin embargo, la variación de tiempo que se presenta en este análisis es de 4.0 s.

Northridge piso 2 sentido y

Se obtiene en la Fig. 52 del modelo matemático, una aceleración máxima es 22.20 m/s^2 que se encuentra en un tiempo de 7.26s. Mientras que en la Fig. 53 que corresponde a las aceleraciones del modelo a escala, la aceleración máxima promedio es de aproximadamente 1.4g, que corresponde a 13.73 m/s^2 en un tiempo de 3.5s aproximadamente. Las aceleraciones máximas de las gráficas presentan una variación de 8.47 m/s^2 , en cuanto al tiempo, la variación que se presenta en este análisis es de 3.76s.

Análisis de resultados

Se realiza el cálculo de coeficiente de variación en función del promedio y de la desviación estándar de las aceleraciones respuestas obtenidas, para la comparación de resultados con los obtenidos en el modelo matemático del edificio de 9 pisos. En las tablas 3, 4 y 5, se resume el cálculo del coeficiente de variación y se observa que gran parte de los datos obtenidos tiene coeficientes de variación menores al 20%, como un promedio del coeficiente para las aceleraciones se tiene un valor del 14% y para el tiempo del 9%, descartando los que tienen porcentajes de variación más altos.

Además, en el estudio Shonkwiler y Miller se establece como aceptables los porcentajes de error entre 26% y 44% en el manual de las mesas de vibración donde se desarrollan "Pequeños experimentos de mesa de vibración y comparación con las predicciones analíti-

cas", con lo que se valida el análisis entre el modelo matemático y el modelo a escala, para verificar que el edificio estudiado tiene un adecuado comportamiento estructural cuando está sometido a cargas sísmicas en la mesa de vibración, cuando se realiza el escalamiento de las secciones en función de la relación de módulos de elasticidad.

Observaciones

Con los ensayos realizados del modelo a escala, considerando el punto de partida el modelo matemático para el escalamiento de los elementos estructurales utilizando la relación de los módulos de elasticidad y al estar sometidos los dos modelos a las mismas cargas sísmicas, se obtienen resultados de aceleraciones con variaciones mínimas, permitiéndonos verificar el comportamiento adecuado de edificación ubicada en la ciudad de Quito.

La variación de los resultados en algunos de los eventos sísmicos se debe a que el modelo de la edificación se comporta de manera diferente cuando está sometido a los diferentes eventos sísmicos, principalmente por la colocación de los acelerómetros con los que se obtienen las aceleraciones respuestas.

Además, una de las consideraciones principales que deben estudiarse en futuras investigaciones, en base al proyecto de investigación realizado es la influencia de los desplazamientos en los resultados obtenidos para el análisis del comportamiento estructural de la edificación, por lo que es necesario analizar el escalamiento de los mismos, ya que con la variación del tiempo se cambia la intensidad de los sísmicos y principalmente la duración de la fase intensa.

Conclusiones

Basándonos en la importancia de realizar el análisis estructural de edificaciones existentes, se planteó el método de escalamiento, considerando la relación de módulos de elasticidad para la elaboración del modelo a escala, mismo que tiene un adecuado comportamiento estructural al estar sometido a las mismas cargas sísmicas que el modelo matemático, el cual fue diseñado de manera sísmico resistente, cumpliendo con las secciones mínimas establecidas, por la normativa vigente. Se obtuvo una variación mínima en el análisis de las aceleraciones respuestas, determinándose resultados aceptables para el análisis realizado.

Con los sísmicos de Quito, en el análisis estructural del modelo a escala, se obtuvo aceleraciones muy bajas por lo que, al realizar el modelo matemático, éste se comportó de manera ideal cumpliendo con el diseño sísmico resistente y en el ensayo del modelo a escala no se pudo apreciar el movimiento, es así que se seleccio-



nó sismos impulsivos que pudieran ocurrir en la ciudad de Quito para verificar el comportamiento del edificio durante el ensayo y se pueda observar el movimiento de la estructura.

Se elabora varios modelos a escala con las secciones determinadas, considerando el método de escalamiento con la relación de los módulos de elasticidad y se realizan los ensayos hasta que se tienen las secciones adecuadas para el diseño, considerando columnas de 3mm y vigas de 2mm, que son menos rígidas y presentan un comportamiento adecuado del modelo a escala.

Durante el ensayo, al observar el movimiento del modelo a escala y el comportamiento del material con el que fue elaborado, se concluye que, debido a las varias repeticiones de los ensayos, la estructura presentó fallas en sus uniones.

El modelo a escala que mejor representa el comportamiento estructural de un edificio, de acuerdo a la manera en la que se colocó el peso, es el que tiene carga adicional distribuida ya que se tiene un espesor comercial del material y el modelo es más compacto; a diferencia del modelo sin losas en el que no se pudo visualizar el movimiento y en el modelo con la carga total, donde se observó una vibración excesiva independiente al movimiento de la mesa. Se debe realizar una modelación matemática donde la estructura cumpla con los requisitos del diseño sismo resistente, para que se pueda iniciar el proceso de escalamiento.

Después de realizar los ensayos, se observó que el modelo a escala de 9 pisos que tenía una carga total no presentaba un adecuado comportamiento, por lo que no se consideró para el análisis de los resultados.

De acuerdo al análisis realizado en el modelo de 9 pisos, sometido a cargas sísmicas de Northridge y Cape, se observa que presenta mejor comportamiento durante el ensayo, la estructura que tiene carga adicional distribuida a comparación del modelo formado de solo vigas y columnas, donde en un tiempo similar tiene las aceleraciones máximas, pero con una alta diferencia en su valor.

Se considera que la manera más adecuada de elaborar el modelo a escala es con alambre para vigas y columnas, mientras que una placa de tol para las losas con un espesor comercial, para que el modelo se comporte adecuadamente en el ensayo; unidas a través de suelda para tener una mejor fijación, a pesar de que se mantenga en algunos casos muy rígida la unión de estos elementos por las dimensiones pequeñas del modelo elaborado.

Se observa que el sismo que afecta mayormente a las estructuras es el de Northridge, de manera que se ob-

serva los más altos coeficientes de variación en los resultados de sus ensayos, a pesar de que se mantengan en el rango de 26% a 44% todos los datos, de acuerdo con la guía de experimentos a pequeña escala usando mesa de vibración y su comparación con predicciones analíticas.

Para la ejecución del proyecto de investigación se consideraron parámetros que fueron el punto de partida para el escalamiento y el desarrollo del modelo a escala, mismos que fueron modificándose en el transcurso del trabajo y que permitieron la obtención de resultados para su análisis.

Referencias bibliográficas

Aguiar Falconí, R., & Castillo, D. (2013). Los sismos impulsivos y la necesidad de considerar factores "Near Fault" en el espectro para diseño de estructuras en Quito. Quito: Escuela Politécnica del Ejército

Aguiar Falconí, R., & García, H. (2014). Escalamiento de sismos. Quito: Universidad de las Fuerzas Armadas.

Arciniegas Moncayo, C. B., & Fuentes Montenegro, J. J. (2012). Reforzamiento sísmico de estructuras con paraboloides hiperbólicas aplicando NEC-11. Quito: Escuela Politécnica del Ejército (ESPE).

Belriq, M. (2017). Comportamiento de los edificios ante un sismo. Cidbimena Desastres Hn 11.

IG-EPN, I. G. (13 de enero de 2003). Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. Obtenido de IG - EPN: <http://www.igepn.edu.ec>

Lázaro, L. (2015). Ensayo a escala de edificio de dos alturas sometido a desplazamientos horizontales. Barcelona: Universidad Politécnica de Barcelona.

López, P. M. (2003). La Guía para el Análisis y Diseño Estructural de Edificios de Hormigón Armado. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.

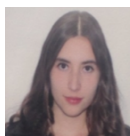
Naya, A. (2010). El Riesgo sísmico en Quito: Análisis y Simulaciones. Quito: Ciencias y gestión del territorio. NEC, N. E. (2015). Peligro Sísmico. Quito: CÓDIGO NEC-SE-DS.

Schmidt Díaz, V., & Quirós Serrano, C. (2007). Caracterización de registros acelerográficos obtenidos en el laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica. San José: Universidad de Costa Rica.

UCIST, U. C. (2015). Experimentos a pequeña escala usando mesa de vibración y su comparación con predicciones analíticas. San José: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales - Universidad de Costa Rica.

Modelamiento espacial en la ubicación de un relleno sanitario para la zona de Intag, cantón Cotacachi, Ecuador

Spatial modeling in the location of a sanitary landfill for the Intag area, Cotacachi canton, Ecuador



Charpentier Alcivar Andrea
Magister en Sistemas de Gestión Ambiental,
Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.
Docente Universidad Metropolitana
Email: andresakura@gmail.com



Carrera Villacrés David Vinicio
Doctor en Ciencias en Hidrociencias, Colegio de
Postgraduados (Ciudad de México). Docente ESPE
Email: dvcarrera@espe.edu.ec



Freire Mancheno Jorge Andrés
Magister en Sistemas de Gestión Ambiental,
Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.
Docente Universidad Metropolitana
Email: jandresfreire@hotmail.com

Haro Robayo Margarita del Pilar
Magister en Sistemas de Gestión Ambiental, Universidad de
las Fuerzas Armadas-ESPE. Docente ESPE
Email: mpharo@espe.edu.ec

Resumen

Uno de los principales problemas que contribuyen a disminuir la calidad de vida de las poblaciones del Ecuador es el inadecuado manejo de los residuos urbanos, ya sea por la falta de equipamiento o de programas que contribuyan a la gestión integral; este es el caso de la actual población de la zona de INTAG, cantón Cotacachi, que no dispone de un relleno sanitario para la disposición final y gestión de los desechos sólidos generados; actualmente los residuos son conducidos al relleno sanitario de Cotacachi, que se encuentra en proceso de cierre definitivo. A través del presente estudio se propuso la ubicación óptima del nuevo relleno sanitario para la zona de INTAG, la metodología utilizada fue modelamiento espacial y álgebra de mapas, a través de herramientas de información geográfica, obteniendo seis alternativas de ubicación que fueron evaluadas en campo; posteriormente la más óptima fue seleccionada y aprobada por la Dirección de Ambiente del GAD Municipal de Cotacachi, cumpliendo con las especificaciones pertinentes del Ministerio del Ambiente del Ecuador. Con la ejecución del presente estudio, no solamente se estará cumpliendo con uno de los objetivos del Plan de Desarrollo del cantón, sino también se mejorará, de manera sustancial, la calidad de vida de las comunidades, reduciendo los impactos ambientales negativos que las actuales condiciones generan.

Palabras clave: *gestión integral; disposición final; residuos sólidos; ubicación óptima; álgebra de mapas.*

Abstract

One of the main problems that contribute to diminish the life quality of Ecuador populations is the inadequate management of the waste, either due to the lack of equipment or programs that contribute to the integral management of waste, this is the case of the current population of INTAG area in Cotacachi canton. Which does not have a sanitary landfill for the final disposal nor management of the solid waste generated. Currently this waste is taken to the Cotacachi's city landfill, which is in process of definitive closure. This study propose an optimum location of the new sanitary landfill for the INTAG area, the methodology used was maps algebra and spatial modeling through geographic information tools obtaining six location alternatives that were evaluated on field. Then the best option was selected and approved by the Environmental Department of the Municipal GAD of Cotacachi, complying with the specifications of the Environment Ministry of Ecuador. Through the implementation of this study, not only will one of the objectives of the Development Plan of the canton be fulfilled, but also the quality of life of the communities will be substantially improved, reducing the negative environmental impacts that the current conditions generate.

Keywords: *integral management; final disposal; solid waste; optimal location; map algebra.*



Introducción

El cantón Cotacachi, perteneciente a la provincia de Imbabura, está organizado territorialmente en parroquias y comunidades. Las zonas establecidas y reconocidas son tres: Urbana, Andina e Intag; la zona de Intag está conformada por las parroquias rurales de Apuela, Plaza Gutiérrez, Cuellaje, Peñaherrera, Vacas Galindo y García Moreno. (GAD Cotacachi, 2011)

Actualmente, los residuos de las comunidades de la zona de Intag se transportan, para su disposición final, hasta el relleno sanitario de la ciudad de Cotacachi. Dicho relleno, por influencia de varios factores, vio reducida su vida útil de 15 a 3 años y, actualmente se encuentra a punto de colapsar (GAD Cotacachi, 2015). Existen estudios para el cierre técnico y apertura de una nueva celda en el actual relleno, sin embargo, la solución sería temporal y no representa una medida que a largo plazo garantice una adecuada disposición final para los residuos generados en la zona de Intag. Debido al crecimiento poblacional y por consiguiente el aumento de la producción de residuos sólidos, se torna evidente la necesidad de que la zona de Intag cuente con un sitio de disposición final propio.

La implementación del relleno sanitario mejorará sustancialmente la gestión integral de los residuos sólidos del cantón Cotacachi, evitando la formación de vertederos a cielo abierto y optimizando recursos destinados a la recolección y transporte.

El objetivo principal de este estudio fue: determinar técnicamente el sitio más adecuado para la ubicación de un relleno sanitario para la zona de Intag, en base a las normativas del Ministerio del Ambiente del Ecuador, empleando una metodología que combinó álgebra de mapas y análisis multicriterio para generar un modelo espacial. El modelo resultante tiene 11 variables de análisis que incluyen criterios topográficos, geológicos e hidrológicos, y constituyó la herramienta de decisión previa a la visita de campo para delimitar posibles sitios para la ubicación del sitio de disposición final.

Metodología

Metodología del modelo espacial para la localización del relleno sanitario

Los insumos utilizados en el modelamiento espacial fueron facilitados por la dirección de Planificación Territorial del GAD Municipal de Cotacachi, los cuáles se enlistan a continuación (Gobierno Autónomo Descentralizado de Santa Ana de Cotacachi., 2010):

1. Cartografía base en formato Shape y Dwg, escala 1:50000.
2. Cartografía Temática en formato Shape, escala 1:25000.
3. Mapas temáticos de uso del suelo, Riesgos y Ame-

nazas en formato PDF.

4. Mosaico de Fotografías aéreas, escala 1:5000

La metodología empleada en el modelo espacial utilizado para obtener las zonas más adecuadas para la construcción del relleno sanitario en la zona de Intag, fue álgebra de mapas en función del análisis de criterios técnicos y de exclusión según una adaptación del estudio para la Localización óptima de Relleno Sanitario, aplicando técnicas multicriterio en Sistemas de Información Geográfica, en el área metropolitana del Alto Paraná, presentado en el VII Congreso de Medio Ambiente- AUGM (Vera, 2012), utilizando el software Arc Gis 9.3 (Licencia del Laboratorio de Geomática de la ESPE) para la determinación de las parcelas viables y el análisis de la cuenca visual, necesario para evaluar, posteriormente la fragilidad del paisaje.

Los criterios de análisis empleados son los especificados en la Legislación Ambiental Ecuatoriana en base a la Norma de Calidad Ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos, del Libro VI Anexo 6 del TULSMA (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015) de donde se toman las siguientes consideraciones para la ubicación de un relleno sanitario: Artículo 4.12.4 Todo sitio para la disposición sanitaria de desechos sólidos provenientes del servicio de recolección de desechos sólidos deberá cumplir como mínimo, con los siguientes requisitos de ubicación para rellenos sanitarios mecanizados:

- a) El relleno sanitario debe ubicarse a una distancia no menor de 13 km. de los límites de un aeropuerto o pista de aterrizaje:
Se empleó una cobertura con la ubicación de los aeropuertos del país, y se comprobó que dentro de la zona de Intag no existe ningún aeropuerto ni pista de aterrizaje, por lo tanto, esta variable no fue considerada en el modelo.
- b) No debe ubicarse en zonas donde se ocasione daños a los recursos hídricos (aguas superficiales y subterráneas, fuentes termales o medicinales), a la flora, fauna, zonas agrícolas, ni a otros elementos del paisaje natural. Tampoco se deben escoger áreas donde se afecten bienes culturales (monumentos históricos, ruinas arqueológicas, etc.).

La determinación del sitio adecuado para el diseño del relleno sanitario se sustenta en 11 variables: áreas protegidas; uso actual del suelo; bosques protectores; cursos hídricos; riesgos de inundación y flujos de lodo; riesgos volcánicos; distancia a centros educativos y centros de salud; distancia vías de acceso; distancia núcleos poblados y pendientes. A continuación se reclasificó cada valor, en cada una de las variables sustentadas, se utilizó el valor de cero, no cumple la nor-

mativa, y uno, cumple la normativa, y que, al final estos resultados se superponen y dan como resultado final los lugares donde las 11 variables en estudio cumplen.

A través del cruce de coberturas de la zona de Intag y el sistema Nacional de áreas protegidas se evidenció que parte de la reserva Cotacachi Cayapas está dentro de la zona de estudio, dentro del modelo cartográfico se excluyó toda esta área de las áreas viables para la ubicación del relleno sanitario, la Fig. 1 representa la Variable 1 de estudio.



Figura 1. Análisis de variable 1, área protegida Cotacachi Cayapas dentro de la zona de Intag

Se realizó el análisis del uso del suelo actual de la zona de Intag, en el cual se excluyó las áreas agrícolas, urbanas, bosques naturales, cuerpos de agua y páramos. La Fig. 2 representa la Variable 2 de análisis:

Uso de suelo	Raster Value	Reclassify New Value
Agricultura Tropical I	1	0
Bosque intervenido	2	1
Bosque natural	3	0
Bosque plantado	4	0
Cuerpo de agua natural	5	0
Cultivo ciclo corto	6	0
Cultivo ciclo corto y áreas en proceso de erosión	7	0
Cultivo de café	8	0
Cultivo de caña	9	0
Cultivo de maíz	10	0
Nieve o hielo	11	0
Pasto cultivado	12	1
Pasto cultivado y áreas en proceso de erosión	13	1
Pasto Natural	14	1
Pasto Natural y áreas en proceso de erosión	15	1
Páramo	16	0
Vegetación arbustiva	17	1
Área erosionada	18	1



Figura 2. Análisis de variable 2, uso actual del suelo de la zona de Intag

Dentro de este literal se analizó la cobertura de bosques protectores, dentro de la zona de Intag, la Fig. 3 muestra la Variable 3:



Figura 3. Análisis de variable 3, bosques protectores de la zona de Intag

c) El relleno sanitario deberá estar ubicado a una distancia mínima de 200 m de la fuente superficial más próxima. Se empleó la cobertura de ríos principales y secundarios, se delimitó un buffer de 200 metros del límite de cada río para determinar el área de exclusión (Fig.4)

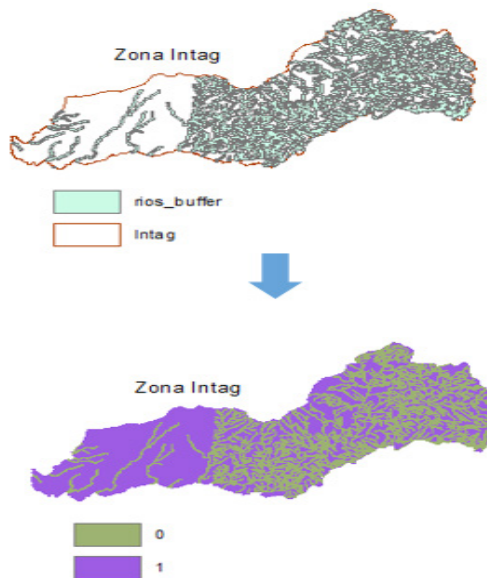


Figura 4. Análisis variable 4, cursos hídricos de la zona de Intag.

d) Para la ubicación del relleno no deben escogerse: zonas que presenten fallas geológicas, lugares inestables, cauces de quebradas, zonas propensas a deslaves, a agrietamientos, desprendimientos, inundaciones, etc., que pongan en riesgo la seguridad del personal o la operación del relleno: Los principales riesgos identificados que pueden suponer un problema para la ubicación del relleno sanitario en la zona de Intag, son las inundaciones, zonas propensas a la formación de flujos de lodo y peligro de formación de lahares,

en caso de la erupción del volcán Cotacachi; se seleccionó solamente las áreas con probabilidad baja o ninguna de inundación, y se excluyó las zonas de probabilidad alta y media, la de formación de flujos de lodo y lagunas (Fig. 5):

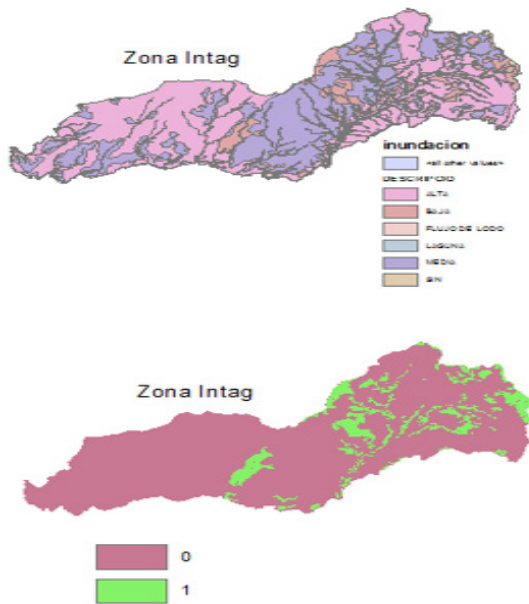


Figura 5. Análisis variable 5, riesgos de inundación y flujos de lodo en la zona de Intag.

Para los riesgos volcánicos se utilizó la cobertura de los ejes de los lahares que produciría una eventual erupción del volcán Cotacachi, se realizó un buffer de 200 metros alrededor de cada lahar para tener un mayor nivel de seguridad (Fig. 6).

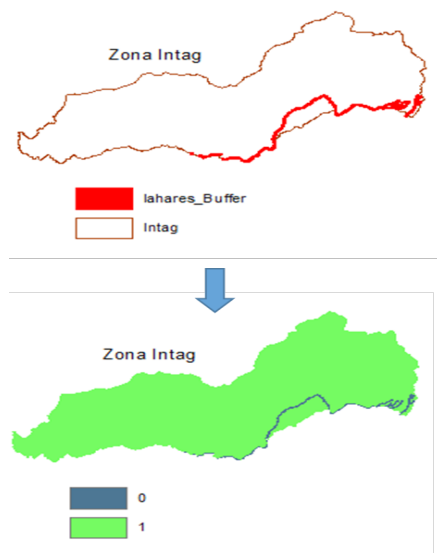


Figura 6. Análisis variable 6, riesgos volcánicos, formación de lahares en la zona de Intag

e) El relleno sanitario no debe ubicarse en áreas incompatibles con el plan de desarrollo urbano de la ciudad. La distancia del relleno a las viviendas más cercanas no podrá ser menor de 500 m. Al ser una zona rural no existe un Plan de desarrollo urbano, también se comprobó a través de entrevistas con las autoridades municipales que tampoco

existen proyectos de desarrollo planificados a un corto plazo dentro de la zona. Como valor agregado se realizó un análisis de cercanía a centros educativos y centros de salud para garantizar que el relleno se encuentre por lo menos a 500 metros de dichas infraestructuras. La Fig. 7 muestra las Variables 7 y 8 de análisis:

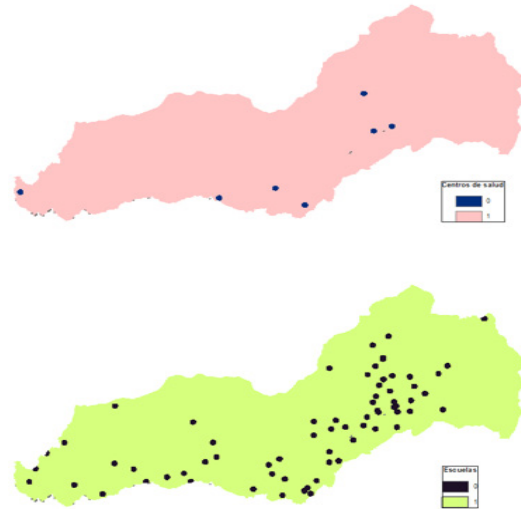


Figura 7. Análisis variable 7 y 8, distancia a centros educativos y centros de salud

f) El relleno sanitario debe estar cerca de vías de fácil acceso para las unidades de recolección y transporte de los desechos sólidos. El relleno sanitario debe ubicarse a una distancia no menor de 500 metros de una vía de acceso principal (Fig. 8).

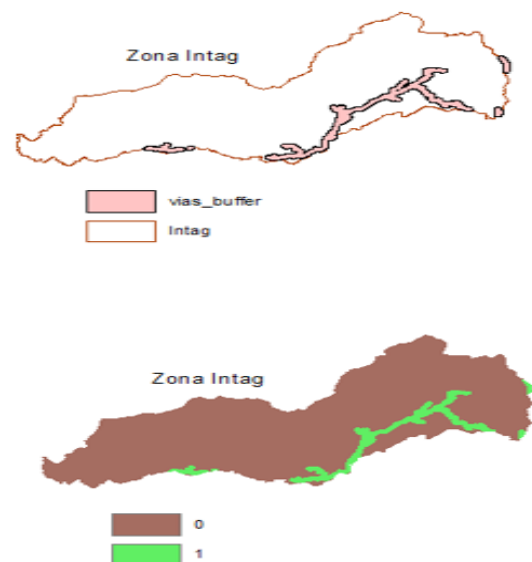


Figura 8. Análisis de variable 9, distancia vías de acceso al relleno sanitario

Además de contar con las vías de acceso adecuadas para el relleno sanitario, también es necesario que el mismo esté ubicado a una distancia no mayor de 20 kilómetros de los núcleos poblados de la zona de Intag, ya que la distribución de la población no es uniforme, se utilizó la cobertura de los núcleos poblacionales y se delimitó un buffer de 20 kilómetros alrededor de cada uno (Fig. 9):

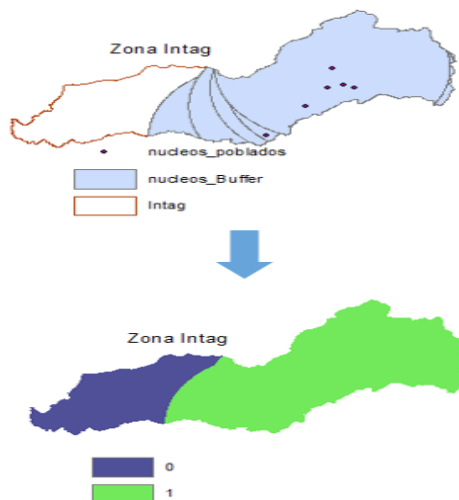


Figura 9. Análisis de variable 10 Distancia del relleno sanitario a los núcleos poblados.

g) El lugar seleccionado para el relleno sanitario debe contar con suficiente material de cobertura, de fácil extracción. Se realizó un mapa de pendientes para que el lugar seleccionado para el relleno sanitario no tenga una pendiente mayor al 3%. (Fig.10)

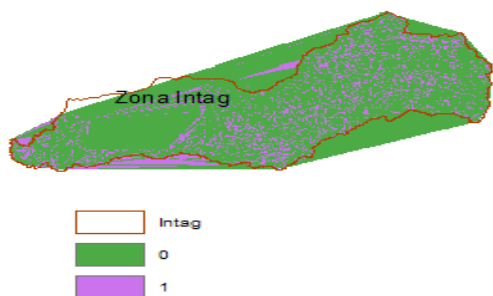


Figura 10. Análisis de variable 11, mapa de pendientes zona de Intag

En base a las once variables descritas anteriormente, empleando la herramienta "raster calculator", del Software ArcGIS 9.3, se determinó las parcelas. (Fig.11):



Figura 11. Determinación de las parcelas

Se escogió seis parcelas de mayor tamaño para proceder a evaluarlas por calidad visual y fragilidad del paisaje.

Metodología empleada para evaluar la calidad visual y la fragilidad del paisaje

La metodología empleada para la evaluación de calidad visual y fragilidad del paisaje de las seis alternativas, fue el de la Agencia de Servicio del Bosque de Estados Unidos USDA Forest Service (United States Department of Agriculture, Agriculture Handbook 462, 1974). Véase tablas en el Anexo 2 (formato digital) adjunto con metodología detallada y la valoración in situ de cada caso.

Para el análisis de cuenca visual, necesario para la evaluación de fragilidad del paisaje, se utilizó el software ArcGIS 9.3, los puntos de observatorio fueron los núcleos poblados, es decir dónde se concentra la población, para comprobar si el relleno sanitario tendrá un impacto visual, en cada una de las alternativas resultantes.

Una vez realizada la evaluación in situ de cada una de las alternativas, los resultados obtenidos fueron presentados a la Dirección de Ambiente del Municipio de Cotacachi para ser evaluados por el Director de Ambiente el Ingeniero Christian Paz, y el especialista de ambiente el Ingeniero Francisco Grijalva. La Dirección de Ambiente presentó un informe de aceptación de la alternativa seleccionada para la ubicación del relleno sanitario el 30 de octubre de 2017.

Discusión de resultados

Alternativas resultantes del modelo espacial para la ubicación del relleno sanitario en la zona de Intag

Del modelo resultante se seleccionaron las parcelas de mayor tamaño, teniendo seis alternativas preliminares, una en la parroquia de Vacas Galindo, dos en la parroquia de Peñaherrera y tres en la parroquia García Moreno (Fig.12).

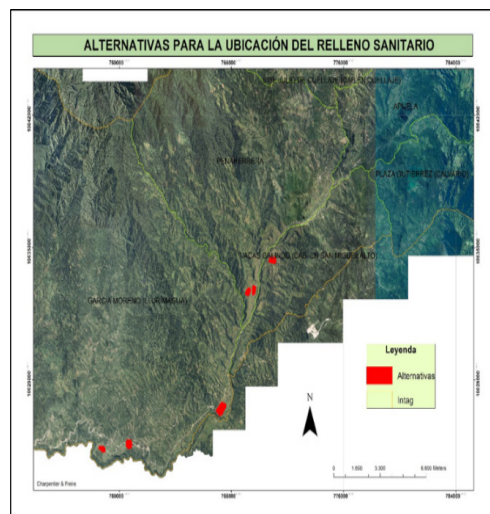


Figura 12. Mapa de Alternativas para la ubicación del relleno sanitario

Para cada una de las seis alternativas resultantes se elaboró una ficha con información de las características relevantes las cuáles se encuentran en el Anexo 1 (formato digital).

El Análisis de cada una de las alternativas resultantes, y la evaluación de la calidad y fragilidad del

paisaje se presenta a continuación a través de seis fichas de información y posterior evaluación in situ de la fragilidad y calidad del paisaje. Tabla 1. Véase tablas (12-23) en Anexo 3, con la información pormenorizada de la valoración de cada una de las alternativas.

Tabla 1. Resumen de alternativas.

Descripción	Área (ha)	Fragilidad del paisaje (1)	Calidad visual del Paisaje (2)	Ubicación	Coordenadas U.T.M.	Observaciones
Alternativa 1	14,84	120	180	Vacas Galindo	770930,16 E 10034363,55 N	(1) Paisaje poco sensible (2) Paisaje posee variedad de formas.
Alternativa 2	10,57	180	230	Peñaherrera	769590,99 E 10032758,81 N	(1) Paisaje sensible a la intervención (2) Paisaje cuyos rasgos poseen variedad
Alternativa 3	11,14	180	230	Peñaherrera	769191,91 E 10032671,49 N	(1) Paisaje sensible a la intervención (2) Paisaje cuyos rasgos poseen variedad
Alternativa 4	30,11	130	90	García Moreno	765002,00 E 10025185,54 N	(1) Paisaje poco sensible (2) Paisaje con muy poca variedad
Alternativa 5	16,75	130	180	García Moreno	760691,69 E 10024589,30 N	(1) Paisaje poco sensible (2) Paisaje cuyos rasgos poseen variedad
Alternativa 6	10,85	100	100	García Moreno	758787,76 E 10024358,48 N	(1) Paisaje poco sensible (2) Paisaje con muy poca variedad

1) Fragilidad del Paisaje (2) Calidad visual del Paisaje Elaborado: Por autores

Selección de alternativa final

Una vez evaluadas las seis alternativas con observaciones en campo, a través de la metodología de la USDA Forest Service y conjuntamente con el análisis de la conveniencia y facilidades del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cotacachi, se llegó a la conclusión que la mejor alternativa es la cuatro, ubicada en la parroquia de García Moreno, sector Llurimagua, por presentar una menor calidad y fragilidad del paisaje, además de cumplir con todos los requisitos que establece la normativa ambiental ecuatoriana vigente, y que asimismo parte de esta zona se encuentra en propiedad del GAD Municipal de Cotacachi. El departamento de Gestión Ambiental del GAD de Cotacachi realizó una visita de inspección a la alternativa seleccionada, y verificó que no existan proyectos futuros a desarrollar en la zona, la ficha de resumen de la alternativa final se presenta a continuación, dónde se evidencia el área efectiva para la construcción del relleno sanitario y sus límites.

Se realizó de igual manera una nueva verificación in situ con las autoridades de GAD Municipal para constatar todo el resultado del estudio realizado. (Fig. 13)

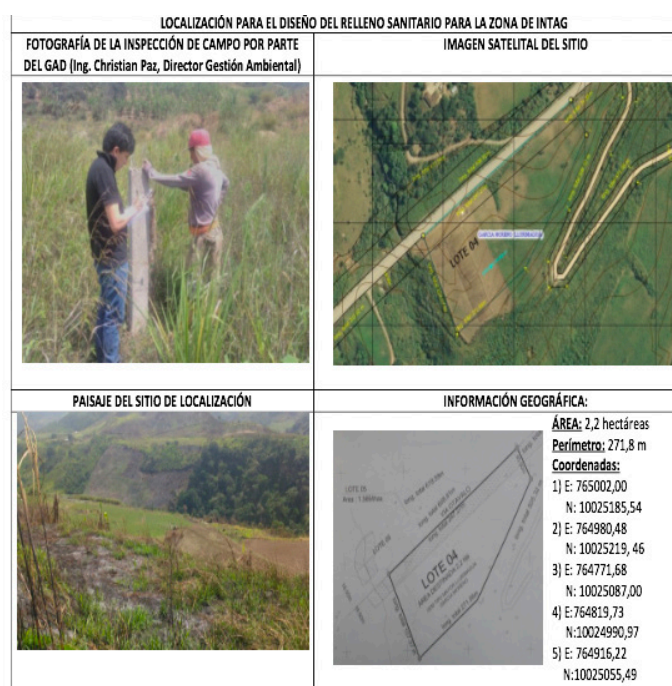


Figura 13. Verificación in situ y con la dirección de Planificación del GAD Municipal de Santa Ana de Cotacachi.

Conclusiones

El modelo espacial resultante para la determinación del sitio adecuado del relleno sanitario se susten-

ta en las 11 variables mencionadas, el cual al discriminar las parcelas que no cumplen, a través del álgebra de mapas permite obtener resultados de las seis parcelas adecuadas para la ubicación del relleno sanitario, una en la parroquia de Vacas Galindo, dos en la parroquia de Peñaherrera y tres en la parroquia García Moreno. Durante la visita in situ a cada una de las seis alternativas resultantes en compañía de representantes del GAD Municipal de Cotacachi, se determinó que todas cumplían con los criterios evaluados a través del Software. Una vez evaluadas las seis alternativas por su: calidad del paisaje, fragilidad del paisaje y cuenca visual, se determinó que la mejor alternativa era la cuarta, ubicada en la parroquia de García Moreno, en el sector de Llurimagua. El sitio fue evaluado y aprobado por el Departamento de Gestión Ambiental.

Recomendaciones

Se recomienda aplicar la metodología empleada para la ubicación de proyectos similares de nuevos rellenos sanitarios, debido a que este optimiza tiempo y recursos a través del software ARC Gis y únicamente al final de su análisis se realiza la inspección de campo de las zonas finales de interés, para determinar la parcela más conveniente para la administración local.

Referencias bibliográficas

GAD Cotacachi. (2015). Auditoría Ambiental de cumplimiento y actualización del Plan de Manejo Ambiental del relleno Sanitario en Cotacachi. Cotacachi.

Gobierno Autónomo Descentralizado de Santa Ana de Cotacachi. (2010). Cartografía base 1:50000, Cartografía temática 1:25000, Mapas temáticos, Mosaico fotografías 1:5000. Cotacachi, Imbabura, Ecuador.

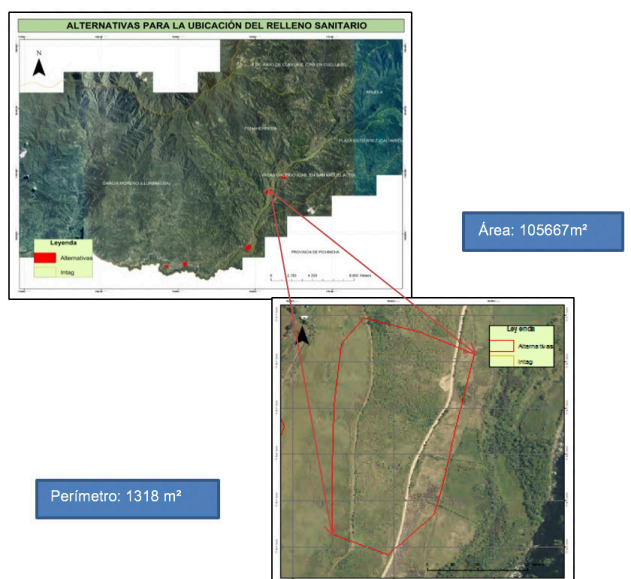
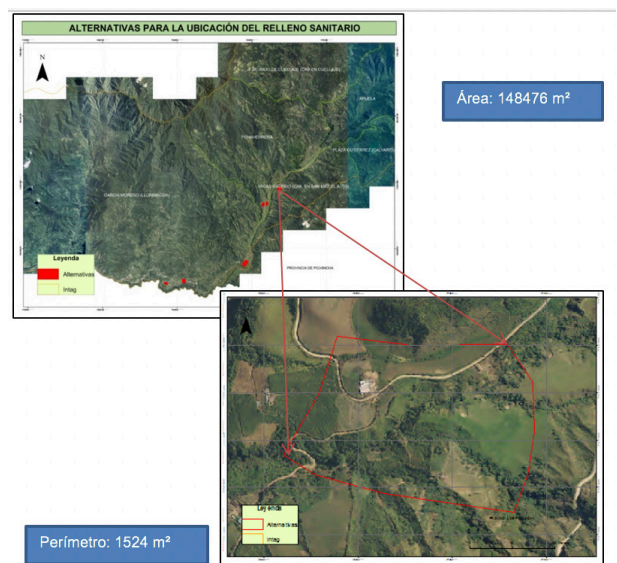
Ministerio del Ambiente del Ecuador. (12 de Noviembre de 2015). Texto unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador (TULSMA). Acuerdo 068. Quito, Pichincha, Ecuador: Registro Oficial del Ecuador.

United States Department of Agriculture, Agriculture Handbook 462. (1974). National forest landscape management, Volume 2, chapter 1: the visual management system. Washington,

District of Columbia: U.S. Government Printing Office.

Vera, M. (2012). Localización óptima de relleno sanitario aplicando técnicas multicriterio en sistemas de información geográfica (SIG) en el área metropolitana del Alto Paraná. 7mo Congreso de Medio Ambiente. La Plata, Argentina: Universidad Nacional de la Plata.

FOTOGRAFÍA SATELITAL



Modelamiento de Procesos en la depositación de Carbonatos, Plataforma Marion Norte y Sur del Mioceno

Modeling of Processes in the deposition of Carbonates, Platform Marion North and South of the Miocene



Navarrete Johanna
Email: janavarreteg@uce.edu.ec

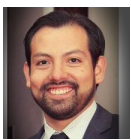


Bustos Jairo
Email: jgbustos@uce.edu.ec

Palacios Diego
Email: dgpalacios@uce.edu.ec



John Cedric
Email: cedric.john@imperial.ac.uk



Benitez Marcelo
Email: mdbenitez@uce.edu.ec

Resumen

Marion Plateau es una plataforma de carbonatos fría-subtropical, ubicada al noroeste, costa afuera de Australia. Tiene dos plataformas separadas que presentan diferentes biotas de carbonatos que fueron desarrolladas en etapas de crecimiento independientes. En ese periodo de tiempo existió una glaciación, afectando los niveles glacio-eustáticos del mar y la acción de las olas que impactaron las tasas de crecimiento de los carbonatos y las geometrías de las plataformas. Sin embargo, no se ha podido establecer la relación entre los procesos involucrados en la depositación y etapas posteriores en los carbonatos. Los objetivos de este trabajo son: construir un apilamiento vertical de facies sedimentarias, correlacionar estratigráficamente las secuencias del Mioceno medio y representar las geometrías y patrones de apilamiento actuales, con base a condiciones conocidas. La metodología utilizada involucra correlación de estratigrafía secuencial de cinco límites de secuencias que representan “lowstands, transgressive y highstand system tracts” dentro de una mega secuencia, utilizando información de núcleos, secciones sísmicas, registros eléctricos y cambios en dolomitización. El modelamiento de procesos se genera para la relación de niveles eustáticos, tasa de subsidencia, producción de carbonatos, profundidad del agua y acción de las olas.

Los modelos representan tasas de sedimentación, distribución de facies y geometría de carbonatos alineados con la información existente de la locación. Como en todos los modelos, las limitaciones y asunciones afectan los resultados esperados, en este caso es la habilidad de reproducir los registros estratigráficos de espesor. Este estudio muestra exitosamente que los modelos de procesos son una alternativa para representar la interacción entre los eventos y las geometrías de los estratos de carbonatos que se puedan obtener. Al modelar las propiedades principales se genera la oportunidad de identificar factores que afectan las variaciones de los carbonatos en el subsuelo. Esto podría mejorar la caracterización y predicción en este tipo de reservorios y, consecuentemente, el potencial mejoramiento de las estrategias de producción de hidrocarburos.

Palabras Claves: *modelamiento procesos; plataforma Marion; carbonatos; estratigrafía secuencial.*

Abstract

Marion Plateau is a Miocene cool-subtropical carbonate platform located in offshore northeastern Australia. It has two separate platforms that present different carbonate biotas and were developed at independent growth stages. At that time there was an icehouse affecting the glacioeustatic sea levels, and wave base currents impacted carbonate growth rates and platform geometries. However, the relation between the process involved in the deposition and later stages of the carbonates are not well understood. This project objectives are build vertical stacking of sedimentary facies, correlate the middle Miocene sequence stratigraphic framework and obtain carbonate geometries and stacking patterns based on the existing constraints. The methodology followed in this project involves sequence stratigraphic correlation of five sequence boundaries that denote lowstands, transgressive and highstands system tracts within a mega sequence using core data, seismic sections, electrical logs and dolomitization changes. Forward modelling is produced by the relation of eustasy levels, subsidence rate, carbonate production, water depth, and wave action. Models replicate sedimentation rates, facies distribution and carbonate geometries in line with the existent data of the location. As in all modelling processes, limitations and assumptions affect the expected results, which in this study is the ability of reproduce the stratigraphic thickness records.

This study successfully shows that forward modelling provides an alternative to representing the interaction between carbonate processes and the carbonate strata geometries that can be obtained. Modelling the key properties offers the opportunity to identify factors behind carbonate variations in the subsurface. This could improve carbonate reservoirs characterization and predictions, and subsequently the potential improvement of hydrocarbon production strategies.

Keywords: forward modelling; Marion plateau; carbonates; sequence stratigraphy.

Introducción

Los reservorios de carbonatos contienen más del 60% de las reservas convencionales de petróleo en el mundo y más del 30% de la producción diaria mundial viene de este tipo de reservorio (Akbar et al., 2000). La caracterización de carbonatos en el subsuelo es compleja y maneja heterogeneidades a pequeña escala que dificulta la obtención de modelos predictivos. Los procesos involucrados durante la depositación y eventos posteriores tienen alta incertidumbre, todavía hay poco entendimiento sobre los procesos que crean patrones complejos en los estratos, como definirlos y determinar el grado de complejidad (Burgess et al., 2012), y como esto puede impactar la continuidad lateral y la calidad de potenciales reservorios de hidrocarburos. Marion Plateau se ubica al noreste, costa afuera de Australia, entre 18°S y 23°S, hacia la parte marina de la gran barrera de arrecife, conocido en inglés como "Great Barrier Reef". La plataforma tiene dos acumulaciones de carbonatos del Mioceno, Marion Plateau Norte (NMP) y Marion Plateau Sur (SMP). La sección 194 del Programa de Perforación del Océano (Ocean Drilling Program -ODP) se enfocó en recuperar información de ambas plataformas, a lo largo de las líneas sísmicas (Fig. 1).

Marion Plateau no es una típica plataforma de carbonatos de agua tropical. Se formó durante el Mioceno en clima frío-subtropical bajo los efectos de glaciación, en los niveles glacio-eustáticos del mar, con el desarrollo de dos plataformas separadas. Definir el marco estratigráfico para ambas plataformas es complejo por el bajo porcentaje de recobro en los núcleos, litologías altamente dolomitizadas, reflexiones sísmicas transparentes en la sección Marion Plateau Sur (SMP), sets de registros eléctricos incompletos, y la incertidumbre en la interpretación de la información y las metodologías aplicadas; pero es fundamental aplicar un modelo cronológico preciso en las dos plataformas para determinar las tasas de sedimentación, comparar los niveles proximales del mar a eventos globales, y correlaciones límites de secuencias dentro del área de estudio. En el trabajo se utilizó el modelo de alta resolución creado para Marion Plateau Norte (NMP) por John et al. (2011) como base para desarrollar el marco estratigráfico del Mioceno medio de las plataformas Marion.

Marion Plateau es un escenario excelente para probar por primera vez la interacción de diferentes parámetros como niveles eustáticos, tasa de subsidencia, produc-

ción de carbonatos, profundidad del agua y acción de las olas para generar modelos de procesos uni y bi-dimensionales que repliquen los espesores existentes, tasas de sedimentación y geometrías de las plataformas Marion Norte y Sur durante el Mioceno medio.

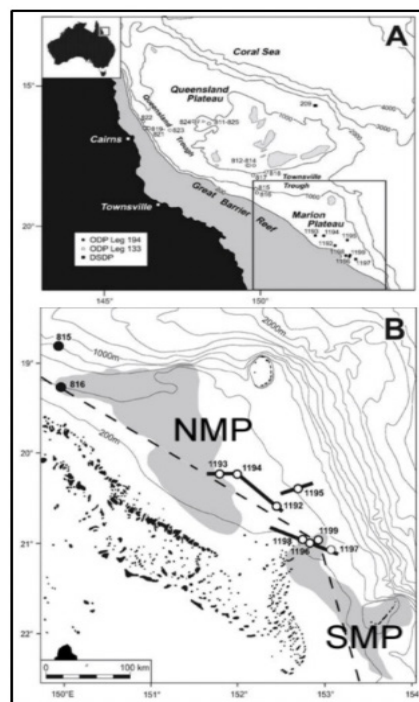


Figura 1. A) Mapa de ubicación de Marion Plateau. B) ODP Sección 194 con pozos y líneas sísmicas disponibles en NMP y SMP. Fuente: Ehrenberg et al., 2006

El modelamiento de procesos representa un método para determinar como un mecanismo establecido y ordenado se puede registrar como un estrato y permite examinar la precisión del mecanismo registrado. Los modelos unidimensionales evalúan los patrones de apilamiento, al tope de las plataformas de carbonatos, porque las geometrías de estratos agradacionales son comunes, en plataformas aisladas interiores, durante periodos de glaciaciones (Goldhammer et al. 1994; Della Porta et al., 2002) y, a menudo se asume que la eustasia de alta frecuencia y amplitud es un control dominante en el apilamiento. Mientras que, para los modelos bidimensionales, se combinan variaciones espaciales y temporales de subsidencia, transporte de sedimentos y producción de carbonatos (Williams et al., 2011).

Material y métodos

El marco estratigráfico secuencial definido en Marion Plateau Norte durante el Mioceno por John et al. (2011), se utilizó como guía para establecer una correlación



estratigráfica entre las plataformas Norte y Sur. Se incorporó: columnas litológicas, fotos e interpretaciones de núcleos de perforación, registros de rayos gamma y uranio en los pozos 194-1193 (NMP), 194-1196 and 194-1199 (SMP), y líneas sísmicas adquiridas por ODP (Fig. 1). El bajo recobro de núcleos en los pozos y la alta dolomitización tienen un impacto importante en la identificación de límites de secuencia, por lo que se requirió información complementaria para poder realizar la correlación como: superficies de erosión, superficies de exposición, picos de uranio relacionados con cambios en la dolomitización. Esta información se comparó con los datos bioestratigráficos disponibles para asegurar que sean equivalentes en tiempo.

El modelo unidimensional se basó en un proceso numérico llamado Dougal que responde a un modelo estratigráfico de acumulación de carbonatos construido en un Macros en Excel que fue descrito por Burgess et al., 2012, el cual registra la acumulación en el tope de plataforma, influenciado por la producción de sedimentos dependientes de profundidad de agua en perfiles eufótico, oligofótico y afótico que controlan la producción in situ (Burgess et al., 2012). Este modelo ilustra como la distribución de diferentes litofacies se construyen, capa por capa, como un sistema de depósito que responde a fuerzas externas y dinámicas internas autocíclicas.

El modelo fue aplicado a dos pozos en SMP (194-1196A, 194-1199A) y un pozo en NMP (194-1193A). La formulación se basa en la acumulación de carbonatos observados en cada iteración del modelo y los cambios, a través de un intervalo de tiempo determinado (0.00005 Ma) y limitado por el marco estratigráfico entre 13.9 y 16.6 Ma (Mioceno medio). Los parámetros principales que restringen el modelo son el cambio en el espacio de acomodación y tasas de acumulación de carbonatos. La tasa de acomodación es controlada por los valores de eustasia que fueron recopilados por las amplitudes estimadas definidas por la sobreposición entre "backstripping" e isotopos de oxígeno; y la subsidencia tectónica regional de 16-20 m durante 13-16 Ma que representa la subsidencia termal de 5-7 m/Ma (John et al., 2011). Estos datos fueron calculados para la plataforma Norte e interpretados para la plataforma Sur.

Las tasas de acumulación de carbonatos se relacionaron con la producción de cada biota a diferentes profundidades de agua. Para simular múltiples fábricas de producción de carbonatos, a diferentes tasas de acuerdo a la profundidad, la producción de sedimentos se calcula como la suma de las tasas de producción independientes de los eufóticos, oligofóticos y afóticos (Pomar, 2001a). Para cada tipo de producción, se especificó una tasa máxima como un parámetro esta-

blecido en el modelo con un modificador de tasa calculado como una función de la profundidad del agua. La producción de sedimentos para cualquier tiempo es la suma de los tres diferentes tipos de biotas, y la acumulación fue calculada a partir de la tasa de producción de sedimentos y el límite de acumulación, por lo que no puede existir acumulación por encima del nivel del mar. Cada perfil de producción genera un tipo diferente de carbonato, potencialmente simultáneo y en la misma profundidad de agua (Horbury & Adams, 1996; Rankey, 2004). En el modelo 1D, los factores externos como erosión, hiatos sedimentarios, transporte de sedimentos no son caracterizados independientemente. Por lo tanto, las tasas de sedimentación de 100 m/Ma para SMP y 150 m/Ma para NMP son aplicados para los tres pozos incluidos en el modelo tomados del reporte de ODP Sección 194 (Isern et al., 2002). Las tasas de acumulación de carbonatos se combinan con la profundidad de agua estimada a partir de los ensambles de Grandes Foraminíferos Bentónicos (Larger Benthic Foraminifers, LBF) en Marion Plateau por Hallock et al. 2006.

El modelamiento 2D se basa en los mismos tres pozos modelados en 1D, usando el software Dionisos. La sección tuvo una orientación NO-SE con dimensiones de la grilla de 100 x 100 m (1879 X 16 celdas). Burgess & Prince, 2014 describen que Dionisos crea un modelo estratigráfico a escala de cuenca de las arquitecturas de los estratos desarrolladas en escala de tiempo geológico (Granjeon & Joseph, 1999). Incluye una variación de procesos sedimentarios y tectónicos, y es capaz de crear modelos complejos de estratos de carbonatos. El modelo se usó para crear un modelo bidimensional que combine espacial y temporalmente: variaciones de subsidencia, transporte de sedimentos y producción de carbonatos (Williams et al., 2011). Esta aproximación matemática permite calcular la erosión, el transporte y la depositación de un rango de sedimentos de varios tamaños a tasas determinadas por la pendiente topográfica, flujo de agua y coeficientes de difusión terrestres y marinos (Burgess & Prince, 2014). Además, Dionisos representa otros procesos estratigráficos esenciales para generar geometrías de estratos, a gran escala, que no son considerados en el modelamiento 1D. Las variaciones de acomodación se modelan por la combinación espacial y temporal de la subsidencia total variable con las curvas sinusoidales del nivel eustático del mar para crear la historia simple y compleja del nivel relativo del mar.

El aporte de sedimentos puede ser constante en el modelo o variar, con el tiempo (Burgess & Prince, 2014).

El flujo de trabajo para el desarrollo del modelo tiene tres etapas principales con varias subdivisiones para replicar la estructura del modelamiento 1D: de-

finición de facies y sedimentos, espacio de acomodación y producción de carbonatos.

Resultados

Marco estratigráfico para NMP

La respuesta sísmica en NMP permitió observar geometrías internas dentro de la megasecuencia B y subdividir secuencias y parasecuencias. En el modelo de alta resolución de John et al. 2011, se propuso un marco estratigráfico para la plataforma norte, en base a estas geometrías, isótopos de SR y capas de glauconitas. Los límites de secuencia fueron limitados por inconformidades erosionales (Fig. 2).

- Parasecuencia MSB1 — Clinoformas progradantes (~18.0 Ma – 16.5 Ma): comprenden clinoformas de carbonatos sobre la secuencia silisiclástica MSA. El límite superior de la secuencia está marcado por el truncamiento de reflectores cerca del pozo 194-1193 (John et al., 2011).

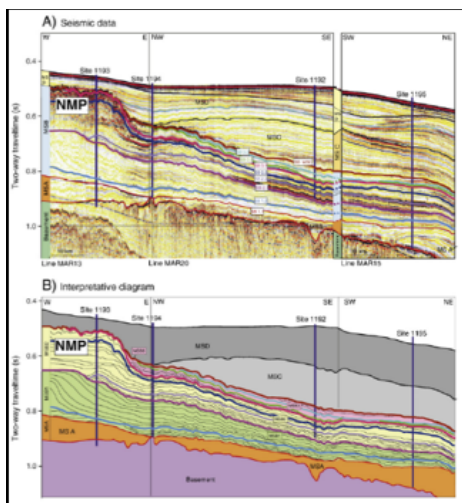


Figura 2. A) Sección sísmica interpretada mostrando los límites de secuencias. Fuente: Isern et al., 2002. B) Diagrama interpretativo con las geometrías sísmicas de cada parasecuencia dentro de la megasecuencia B. Fuente: John et al., 2011

Las edades de los límites de secuencia dentro de MSB1 no fueron definidas con precisión, pero las edades interpoladas de los pozos 194-1192 y 194-1195 ajustan con las edades de las secuencias MBI-2 y MBI-3 (Abreu y Anderson, 1998, Miller et al., 1998).

- Parasecuencia MSB2 — Agradación a progradación de rampa de carbonatos (“MCR”) en NMP (~16.5 Ma–13.9 Ma), la base de la secuencia MSB2 está marcada por el truncamiento de las clinoformas progradantes de MSB1, visible entre los pozos 194-1193 y 194-1194. Esta secuencia representa una rampa de carbonatos en el pozo 194-1193, caracterizado por el alto contenido de arcillas y su posterior cementación (John et al., 2011). Se observaron tres secuen-

cias: MSB2.1 (16.6 Ma–15.4 Ma) con evidencia de reflectores offlap que sugieren una retrogradación, a gran escala de la plataforma, representada por una estructura redondeada mostrada en la Fig. 2.

- La secuencia MSB2.2 (15.4–14.7) programada en la base como evidencia de la migración de la cresta de la plataforma hacia el Este en el pozo 194-1193, y agradacional a retrogradante en el tope. Las facies litificadas de NMP fueron definidas dentro de la secuencia MSB2.2. La última secuencia está representada por la etapa final de agradación de la NMP antes de la muerte de la plataforma en 13.9 Ma. El límite de la secuencia para MSB 2.3 (14.7–13.9 Ma) se reconoce por el cambio entre facies de plataforma dolomitizadas a facies no dolomitizadas (John et al., 2011).
- Parasecuencia MSB3 — Rampa Lowstand (13.9 Ma–10.9 Ma): la base de la secuencia fue identificada en el pozo 194-1194 y correlacionado al tope de NMP en el pozo 194-1193 (Isern et al., 2002). La parasecuencia está dividida en tres secuencias individuales (MSB3.1–MSB3.3) que se observan núcleos con evidencia de condensación e incremento en $\delta^{18}O$. Los reflectores en la secuencia MSB3 son evidencia de progradación a la base de la secuencia y offlap hacia el tope de la secuencia (John et al., 2011).

Eustasia y tasa de subsidencia

Los valores de eustasia se compilaron de la combinación de amplitudes estimadas por la sobre posición entre backstripping e isótopos de oxígeno en NMP entre 16.5 a 13.9 Ma (Mioceno medio) por John et al., 2011. Se realizó una corrección considerando las caídas del nivel del mar, asociados con la subsidencia termal regional de Marion Plateau, durante los intervalos de tiempo de variaciones del nivel del mar. La subsidencia regional tectónica se estimó en 16–20 m durante 13–16 Ma. Por lo que, el componente de subsidencia termal es de 5–7 m/Ma. Estos valores fueron añadidos a las variaciones eustáticas mencionadas antes. Las variaciones del nivel del mar, corregidas para los cuatro intervalos incluyen los efectos de subsidencia termal, las cuáles son: 52.7–80.7 m (13.9 Ma), 28.6–38.2 m (14.7 Ma), 25.7–28.6 m (15.4 Ma), y 25.8–28.1 m (16.5 Ma) mostradas en la Figura 3. Un enfoque similar se usó para estimar la magnitud de incrementos eustáticos: 36.4–55.7 m (14.7–13.9 Ma), 19.8–28.6 m (15.4–14.7 Ma), y 17.8–19.8 m (16.5–15.4 Ma) (John et al., 2011).

Estimación de la profundidad de agua

Los valores de profundidad de agua se estimaron usando ensambles de Grandes Foraminíferos Bentónicos (Larger Benthic Foraminifers, LBF) determinados en los pozos (194-1193A, 194-1196A). En ambos pozos, los LBF más abundantes incluyen *Amphistegina*, *Cycloclypeus*, *Lepidocyclina*, *Miogypsina* y *Operculina* (Hallock et al, 2006). El clima frío-subtropical fue crítico para la historia de deposición de la plataforma Marion a lo largo del Mioceno.

Las edades de los límites de secuencia dentro de MSB1 no fueron definidos con precisión, pero las edades interpoladas de los pozos 194-1192 y 194-1195 se ajustan con las edades de las secuencias MBI-2 y MBI-3 (Abreu y Anderson, 1998, Miller et al., 1998).

- Parasecuencia MSB2 — Agradación a progradación de rampa de carbonatos (“MCR”) en NMP (~16.5 Ma–13.9 Ma), la base de la secuencia MSB2 está marcada por el truncamiento de las clinoformas progradantes de MSB1, visible entre los pozos 194-1193 y 194-1194. Esta secuencia representa una rampa de carbonatos en el pozo 194-1193, caracterizado por el alto contenido de arcillas y su posterior cementación (John et al., 2011). Se observaron tres secuencias: MSB2.1 (16.6 Ma–15.4 Ma) con evidencia de reflectores offlap que sugieren una retrogradación a gran escala de la plataforma, representada por una estructura redondeada mostrada en la Figura 2.
- La secuencia MSB2.2 (15.4–14.7) prograda en la base como evidencia de la migración de la cresta de la plataforma hacia el Este en el pozo 194-1193, y agradacional a retrogradante en el tope. Las facies litificadas de NMP fueron definidas dentro de la secuencia MSB2.2. La última secuencia está representada por la etapa final de agradación de la NMP antes de la muerte de la plataforma en 13.9 Ma. El límite de la secuencia para MSB 2.3 (14.7–13.9 Ma) se reconoce por el cambio entre facies de plataforma dolomitizadas a facies no dolomitizadas (John et al., 2011).
- Parasecuencia MSB3 — Rampa Lowstand (13.9 Ma–10.9 Ma): la base de la secuencia fue identificada en el pozo 194-1194 y correlacionado al tope de NMP en el pozo 194-1193 (Isern et al., 2002). La parasecuencia está dividida en tres secuencias individuales (MSB3.1–MSB3.3) que se observan núcleos con evidencia de condensación e incremento en $\delta^{18}O$. Los reflectores en la secuencia MSB3 son evidencia de progradación a la base de la secuencia y offlap hacia el tope de la secuencia (John et al., 2011).

Eustasia y tasa de subsidencia

Los valores de eustasia se compilaron de la combinación de amplitudes estimadas por la sobre posición entre backstripping e isotopos de oxígeno en NMP entre 16.5 a 13.9 Ma (Mioceno medio) por John et al., 2011. Se realizó una corrección considerando las caídas del nivel del mar asociados con la subsidencia termal regional de Marion Plateau, durante los intervalos de tiempo de variaciones del nivel del mar. La subsidencia regional tectónica se estimó en 16–20 m durante 13–16 Ma. Por lo que el componente de subsidencia termal es de 5–7 m/Ma. Estos valores fueron añadidos a las variaciones eustáticas mencionadas antes. Las variaciones del nivel del mar corregidas para los cuatro intervalos incluyen los efectos de subsidencia termal, las cuáles son: 52.7–80.7 m (13.9 Ma), 28.6–38.2 m (14.7 Ma), 25.7–28.6 m (15.4 Ma), y 25.8–28.1 m (16.5 Ma) mostradas en la Figura 3. Un enfoque similar se usó para estimar la magnitud de incrementos eustáticos: 36.4–55.7 m (14.7–13.9 Ma), 19.8–28.6 m (15.4–14.7 Ma), y 17.8–19.8 m (16.5–15.4 Ma) (John et al., 2011).

Estimación de la profundidad de agua

Los valores de profundidad de agua se estimaron usando ensambles de Grandes Foraminíferos Bentónicos (Larger Benthic Foraminifers, LBF) determinados en los pozos (194-1193A, 194-1196A). En ambos pozos, los LBF más abundantes incluyen *Amphistegina*, *Cycloclypeus*, *Lepidocyclina*, *Miogypsina* y *Operculina* (Hallock et al, 2006). El clima frío-subtropical fue crítico para la historia de deposición de la plataforma Marion a lo largo del Mioceno.

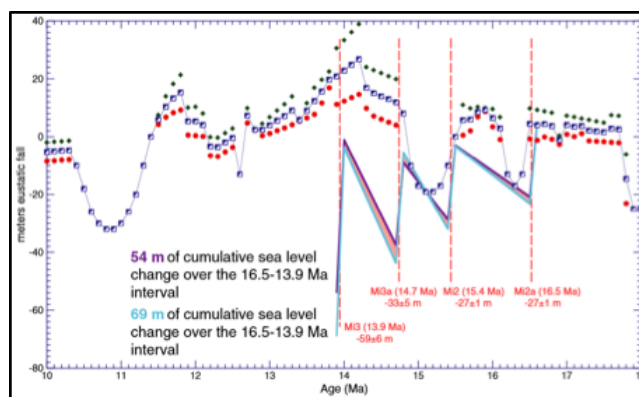


Figura 3. Curvas acumuladas del nivel del mar, de plataforma Marion, comparando las amplitudes estimadas con backstripping del margen de New Jersey (Kominz et al., 2008). Caídas y subidas del nivel del mar entre 16.5 a 13.9 Ma (Mioceno medio) en la plataforma Marion. Fuente: John et al., 2011

La fábrica de carbonatos en la plataforma sur mantuvo su crecimiento con los pulsos del nivel del mar, con mayor notoriedad, durante el Mioceno temprano, miliolid LBF indicó 180 m de sedimentación en

una plataforma somera restringida (<12 m) (Hallock et al., 2006).

En el Mioceno medio existió una regresión del nivel del mar, el área del pozo 194-1193 volvió a la zona eufótica. Durante esta fase, se acumularon 200 m de calizas y dolomitas dominadas por briozoarios y LBF de tamaños y formas que podrían indicar paleo profundidades oligofóticas (>50 m) a eufóticas (<30m). En el intervalo entre 100 y 223 mbsf (meters below sea floor), la presencia de LBF comunes sugieren condiciones oligofóticas en el orden de 50-100 m. Mientras que, en el intervalo de 40 a 90 mbsf, existen morfologías robustas de LBF y evidencia de esqueletos con daño físico, indicando condiciones más someras (<30m) (Shipboard Scientific Party, 2002).

Los núcleos de la plataforma sur muestran alta dolomitización, lo que dificultó el entendimiento de la historia de depositación. Una diferencia notable en las facies se observó en el pozo 194-1196 (Shipboard Scientific Party, 2002) entre 182 y 336 mbsf, donde existen floatstones de esqueletos y grainstones, ambos están dominados por foraminíferos porcelanáceos, grandes y pequeños, que indican aguas someras cálidas con saturación de carbonato más alto que cualquier otro intervalo observado en las plataformas. La presencia de pequeñas piezas de materia orgánica, con abundantes gastrópodos y bivalvos, corroboraron la interpretación de que las condiciones ambientales permanecieron cerca del nivel del mar (<12 m) (Hallock et al., 2006).

Definición de sedimentos y asociaciones de facies

Los sedimentos incluidos en el modelo predominan en las descripciones del núcleo de las dos plataformas. Los briozoarios dominan los carbonatos de aguas someras en NMP, algas rojas y LBF son sedimentos secundarios. Mientras que en SMP, los fragmentos de algas rojas y rodolitos son los sedimentos predominantes, con corales y LBF como componentes secundarios (Shipboard Scientific Party, 2002). A pesar de las diferencias de biotas, los ensamblajes de LBF son bastante similares (Hallock et al., 2006). El lodo carbonatado se incluyó para caracterizar las áreas entre plataformas, pero también se encontró una capa de 20 m. en el pozo 194-1193.

Las asociaciones de facies se identificaron en base al tamaño de grano observado, durante la revisión litológica de los núcleos y controlado por sedimentos. Se consideraron seis facies en función a la ocurrencia de sedimentos, energía de olas y ubicación. La tabla 1 presenta un resumen de los sedimentos, facies y criterios de definición observados en la plataforma Marion.

Tabla 1. Sedimentos y facies incluidos observados en la plataforma Marion

Sediments	Facies	Description
Carbonate mud	Mudstone	Fine sediments, carbonate mud dominated. Inter-platforms.
Red algae	Boundstone	Red algae dominated.
Bryozoans	Packstone	Bryozoan dominated, NMP present
Rhodoliths	Floatstone	Red algae and LBF dominated
LBF	Rudstone	LBF dominated
	Grainstone	Rhodolith dominated, depth and wave energy dependent

Parámetros para la estimación de producción de carbonatos

Durante el Mioceno temprano, el pozo 193-1193 ubicado en NMP mostró un incremento importante en tasas de depositación de 15 a 150 m/Ma; en el Mioceno medio la tasa de sedimentación no se definió directamente. Se asumió para el modelamiento que el nivel de crecimiento para ambas plataformas tiene la misma tendencia. Para SMP, las tasas de crecimiento de la plataforma se registraron en 80 m/Ma en ~140m de espesor durante el Mioceno medio (Isern et al., 2002). La figura 4 muestra tasas de sedimentación para todos los pozos de la zona.

Los perfiles de sedimentación permitieron la definición de litofacies, de acuerdo con las proporciones relativas de materiales eufóticos, oligofóticos y afóticos, dentro de cada capa modelada. Estos perfiles concuerdan con las profundidades de agua estimadas con las asociaciones de LBF por Hallock et al. (2006).

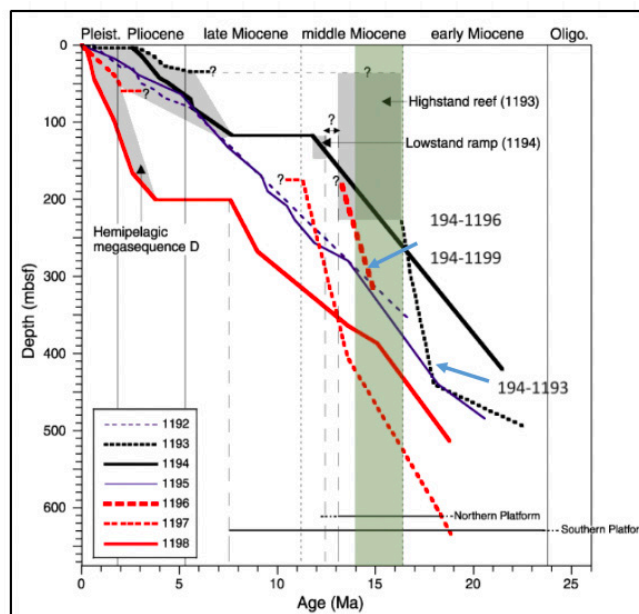


Figura 4. Tasas de sedimentación en las plataformas Marion. La zona verde representa el tiempo usado en el modelamiento (16.6 Ma -13.9 Ma).

Fuente: Isern et al, 2002

La producción de carbonatos, para el modelo, uso valores relacionados con las tasas de sedimentación presentadas anteriormente y, los valores para cada tipo de sedimento y profundidad de agua se consideraron como proporciones de la producción

esperada. La tabla 2 muestra los valores de producción de carbonato, considerando la profundidad de agua, para cada tipo de sedimentos.

Tabla 2. Producción de carbonatos versus profundidad de agua para cada tipo de sedimentos. Valores expresados como proporciones

Water depth	Bryozoans	Carbonate mud	LBF	Red algae	Rhodoliths
0	1	0	0	1	1
10	0.8	0.5	0.8	0.5	0.8
20	0.8	0.5	0.8	0.5	0.8
30	0.5	0.5	0.5	0	0.8
40	0.5	0.5	0.5	0	0.5
50	0	1	0	0	0

Las tasas de sedimentación obtenidas en el modelo respetan los rangos esperados. Sin embargo existen valores altos al inicio del modelo y, el modelo definió valores negativos como se muestra en la Figura 5.

El modelo de evolución de facies tiene buena correlación con las litofacies descritas (Figura 6) y representa los parámetros principales que influyen su depositación y acumulación. El modelo muestra cuatro asociaciones de facies: mudstone, packstone, floatstone y grainstone. Estas litofacies tenían gran espesor y eran las capas predominantes. Sin embargo, las capas delgadas compuestas de boundstone y rudstone no están representadas en el modelo. Las áreas entre plataformas son dominadas por facies mudstone.

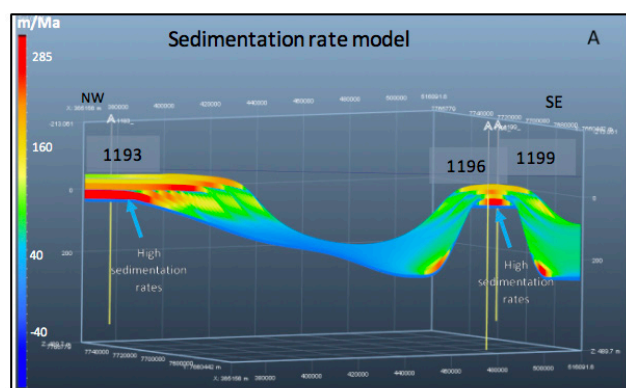


Figura 5. A) Modelo de distribución de tasas de sedimentación. Exageración vertical: 100x.

Discusión

Estratigrafía secuencial para NMP y SMP

Las características observadas en los núcleos y cambios en el registro de uranio en los pozos ubicados en SMP se interpretaron como eventos equivalentes, en tiempo a las secuencias y parasecuencias definidas dentro de la mega secuencia B en NMP por John et al. (2011). Los cambios en la dolomitización sugieren la circulación de agua normal a ligeramente modificada como principal agente dolomitizante. La alternancia entre dolomita y cali-

za podría representar intervalos de exposición subaérea extensa, inmediatamente después de la depositación. Los episodios de somerización podrían causar la estabilización mineralógica (reemplazo de aragonito y calcita magnesiana por calcita con bajo contenido de magnesio), disminuyendo el potencial químico disponible para generar dolomitización durante las siguientes exposiciones a circulación de agua salina.

En el caso de NMP, otro factor puede ser su relativa cercanía a tierra, lo que pudo disminuir la acción de fuerzas oceánicas generando mayor circulación de agua y por lo tanto mayor dolomitización (Ehrenberg et al., 2006).

Estas intercalaciones de dolomitas-calizas se evidenciaron con mayor frecuencia en SMP que en NMP, y son consistentes con la observación de la progradación de ambas plataformas en las secuencias MSB 1.2, MSB 2.1, MSB 2.3, tal como se muestra en la Figura 7 y el resumen de marco estratigráfico en la Tabla 3. Además, la etapa de crecimiento de carbonatos más reciente, solo aplica para SMP; el límite de secuencia MSB 3.1 fue interpretado como dolomita a caliza y una superficie de exposición relacionada con el inicio de un lowstand y luego una transgresión seguida por un highstand (John et al., 2011). Finalmente, el límite de secuencia MSB 3.3 se interpretó como un cambio en la dolomitización que sugiere una posible exposición subaérea o el efecto de aguas meteóricas que podría representar una caída importante del nivel del mar dentro de SMP (Conesa et al, 2005), que se interpretó como el límite entre las mega secuencias B y C.

La teoría de highstand shedding (Schlager et al., 1994), inicialmente desarrollada para sistemas de carbonatos tropicales dominados por corales predice que la máxima producción de carbonatos ocurre durante highstands cuando el tope de la plataforma está inundado y es mínima durante el lowstand, cuando la plataforma está expuesta y la fábrica de carbonatos se reduce significativamente (John et al, 2011). La evidencia para la condensación de sedimentos, durante lowstands, es la mayor característica de la teoría mencionada. El modelo para la plataforma Marion está basado en que los límites de secuencias MSB 2.3 y MSB 3.1 (Figura 7, tabla 3) están asociados con una superficie de exposición inundada por un cambio en la profundidad de agua, y una inconformidad observada en las reflexiones sísmicas; el tope de la plataforma representa el fin del crecimiento de carbonatos con una superficie de erosión y suelo (John et al., 2011). Para SMP, el límite de secuencia MSC 1.1 está asociado con superficies de exposición y suelo al tope de la plataforma que representan el fin del tercer crecimiento de carbonatos. Estas secuencias fueron interpretadas como una señal que NMP y SMP estuvieron expues-

tas y la productividad de los carbonatos disminuyó considerablemente durante los lowstands

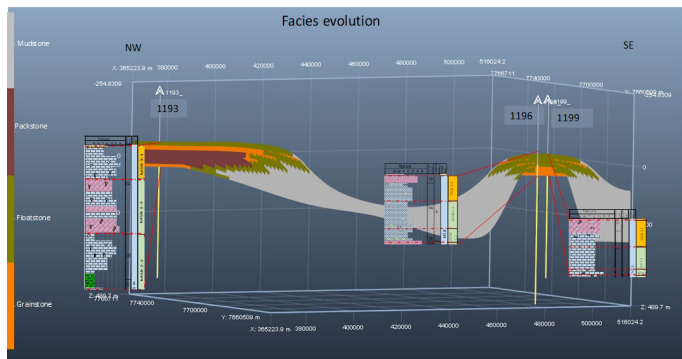


Figura 6. Modelo de facies comparado con los perfiles estratigráficos en el Mioceno medio. Exageración vertical: 100x

Registro de patrones de apilamiento en modelamiento de procesos

El modelo unidimensional generado con la formulación de Dougal, representa un rango limitado de procesos conocidos que controlan la formación de plataformas de carbonatos. Las principales asunciones para entender la distribución de espesores de las litofacies son las relaciones de producción con profundidad de agua usadas para representar la sedimentación eufótica, oligofótica y afótica, y las litofacies creadas con las curvas de producción-profundidad. Al modificar estas asunciones, los resultados serían diferente, por lo que se requiere mayor investigación sobre la naturaleza de las fábricas de carbonatos que controlan la distribución de espesores.

Los modelos resultantes son simplificaciones de la interacción entre los cambios eustáticos registrados durante el Mioceno medio y las profundidades de agua de los ensambles de LBF. Las tasas de sedimentación se estimaron por Shipboard Scientific Party (2012). Los registros estratigráficos en los pozos y los espesores replicados con el modelo de procesos son representativos de lo observado en los núcleos. Los procesos de erosión, compactación o transporte no son reproducidos en este modelo simplificado.

Se realizó un caso de sensibilidad, utilizando condiciones de sedimentación en carbonatos tropicales, para probar como afectarían los espesores estratigráficos, manteniendo los parámetros de acomodación de la plataforma Marion (eustasia y subsidencia, valores de profundidad de agua) apoyado por la asunción de que el principal control en este modelo es la tasa de sedimentación. Los resultados mostraron un espesor tres veces mayor al observado en los datos.

Esencialmente, estos resultados confirman que los patrones de carbonatos, litofacies y espesores están determinados por la combinación de las variaciones de aporte y espacio de acomodación (Schlager, 1993). La tasa de producción de sedimentos es un control claro en los resultados y probablemente el control principal, en el escenario probado en el modelo. Las curvas eustáticas y de subsidencia, y los rangos de profundidad de agua fueron validados con este modelo unidimensional.

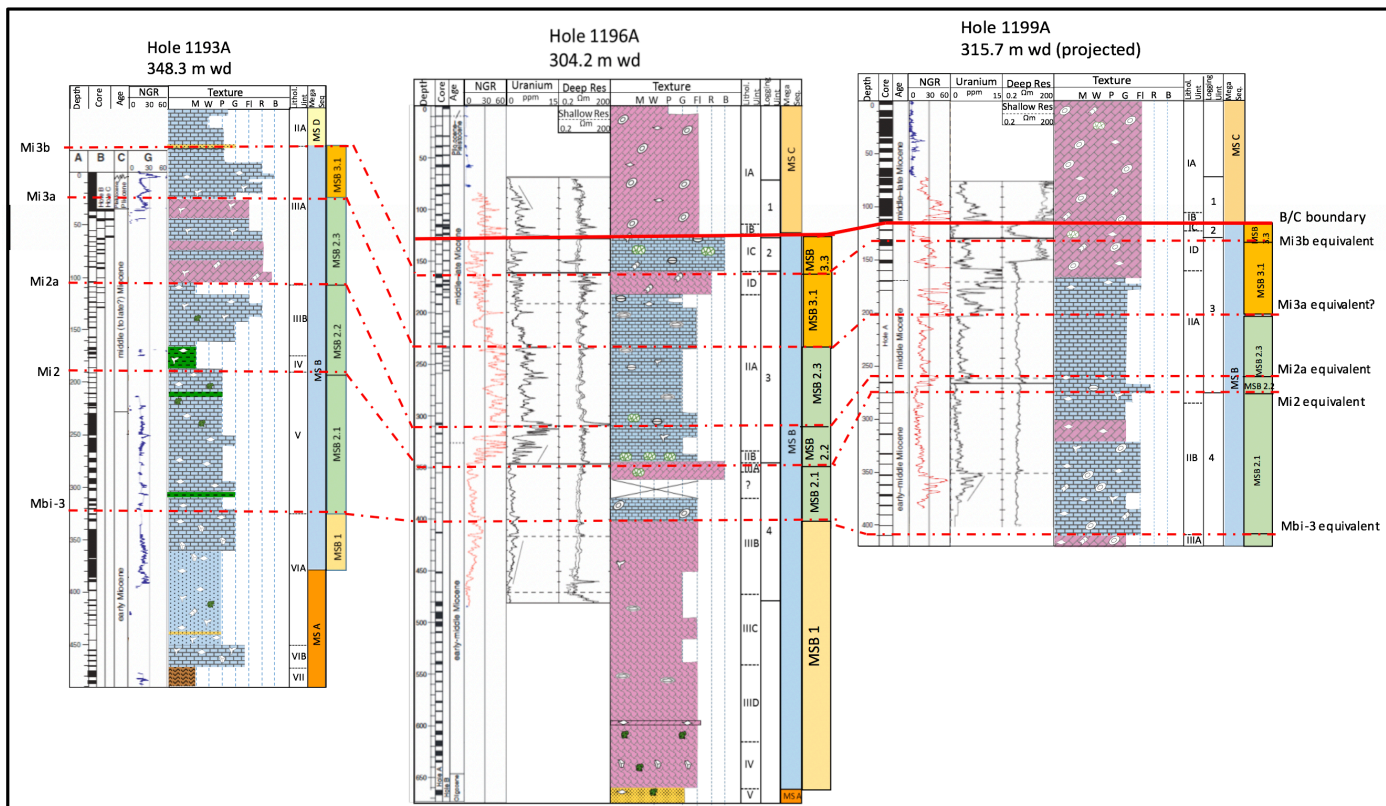


Figura 7. Correlación del marco estratigráfico para NMP y SMP en el Mioceno Medio

Geometrías obtenidas del modelo de procesos 2d

El modelo trata de replicar las geometrías de las plataformas de carbonatos e interplataforma de Marion basado en parámetros conocidos y probados en modelo unidimensional. Se ejecutó como una evaluación de los factores que controlan la geometría de las plataformas como la producción de sedimentos, el transporte de sedimentos, topografía inicial, cambios en la acomodación por subsidencia y procesos eustáticos, y corrientes oceánicas.

La limitación de los modelos numéricos es que son una representación simplificada de un sistema sedimentario real. Dionisos se basa en varias asunciones, sobre como un sistema sedimentario se comporta (Prince & Burgess, 2013). Otra limitación es la aplicabilidad de los coeficientes de difusión para el transporte de sedimentos que no están bien definidos con ejemplos reales, especialmente en sistemas de carbonatos marino-someros. Estos rangos de valores tratan de representar una variedad de situaciones posibles durante la depositación, desde casos dominados por acumulaciones in situ a sistemas dominados por transporte donde todos los sedimentos producidos son transportados a la cuenca (Williams et al., 2011).

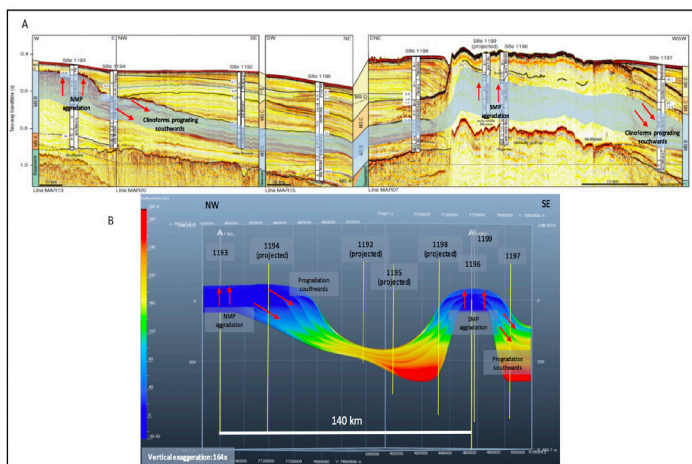


Figura 8. A) Geometrías de agradación y progradación en las reflexiones sísmicas en NMP, SMP e interplataforma. La zona celeste representa las secuencias dentro de mega secuencia B. Fuente: Isern et al., 2002. B) Modelo de batimetría 2D demostrando la agradación y progradación.

Los modelos se basan en la determinación de las geometrías, en balance con la producción de carbonatos in situ y las tasas de transporte de sedimentos dependientes del gradiente topográfico (Williams et al., 2011). Las geometrías modeladas para NMP progadan hacia el sur. La SMP muestra una geometría agradacional en la plataforma misma, y cliniformes de alto ángulo progradantes, al margen sureste; sin embargo, la arquitectura asimétrica con un margen de escarpe en el flanco noroeste (Isern et al., 2002) no fue capturado en el modelo. En la figura 8 se observa la comparación entre las geometrías de las líneas sísmicas, a lo largo de la plataforma Marion y, el modelo creado en Dionisos.

El espesor estratigráfico, en ambas plataformas, no fue

reproducido con precisión por el modelo. Los espesores resultantes fueron la mitad de los espesores reales. Una explicación para este desajuste puede ser la energía de la acción de olas y la profundidad base.

Se observó, en un modelo preliminar, que la acción de las olas en mayor intensidad interrumpe la agradación de carbonatos en la plataforma, generando espesores menores en la plataforma e incrementando el espesor de sedimentos interplataforma. Esto se interpretó como una relación directa entre la erosión de la plataforma por acción de las olas intensificando la cantidad de sedimentos transportados a la zona entre plataformas. Sin embargo, la ausencia de acción de olas en el modelo tiene un impacto importante en las geometrías resultantes. Otra posibilidad podría ilustrarse con el espacio de acomodación creado por el modelo. El modelo de batimetría fue consistente con las observaciones de profundidad de agua y cambios eustáticos definidos por John et al. 2011, sugiriendo que la batimetría no permitió mayor acumulación de sedimentos en el espacio disponible. Además, los procesos de compactación probablemente no tuvieron gran influencia en la creación de espacio de acomodación.

Las tasas de sedimentación modeladas mostraban valores iniciales altos, ubicados en los sitios de inicio de las plataformas y representan la edad inicial del modelo, esto demuestra que el modelo representa la nucleación de carbonatos en ambas plataformas, lo cual no es real porque el crecimiento de las plataformas Marion, inició antes del tiempo capturado en el modelo (Mioceno temprano) (Isern et al., 2002). Además, se encontraron valores cero que fueron correlacionados con caídas del nivel del mar donde no existía producción de carbonatos. Finalmente, las tasas de sedimentación negativa se asociaron con periodos de exposición de las plataformas denotando posibles procesos de erosión (Fig 9).

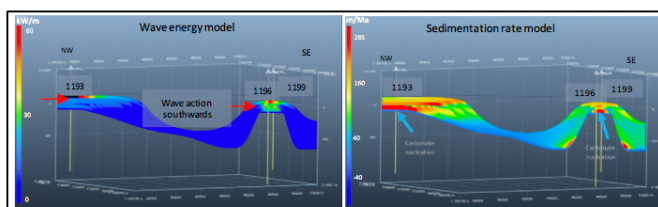


Figura 9. Modelos 2D de las propiedades de las plataformas Norte y Sur de Marion. A) Energía de las olas; B) Tasas de sedimentación. Exageración vertical: 100x

Conclusiones

El marco estratigráfico para las plataformas Norte y Sur de Marion, identificó cinco límites de secuencia en el Mioceno Medio que son correlacionables en las dos plataformas: MBI-3, Mi2, Mi2a, Mi3a y Mi3b. La definición se basó en inconformidades sísmicas, superficies de exposición y erosión, y efectos de dolomitización. Estos cinco límites de secuencia se interpretaron como, lowstands, transgresiones y highstands, dentro de la mega secuencia B. La definición del marco

estratigráfico se usó para correlacionar los cambios del nivel del mar, estimados para la plataforma Norte de Marion.

El primer modelo de procesos para la plataforma Marion se desarrolló entre 16.6 y 13.9 Ma por la calidad y cantidad de información para construir los modelos. Los modelos unidimensionales evaluaron el patrón de apilamiento en las plataformas y generó espesores estratigráficos precisos que validaron las curvas de eustasia y subsidencia reportadas por John et al., 2011, la profundidad de agua y las tasas de sedimentación generadas por ODP Leg 194.

Los resultados de los modelos 2D generaron una representación realística y precisa de las geometrías de agradación y progradación en el Mioceno medio, con la interacción entre el espacio de acomodación, producción de carbonatos, batimetría y energía de las olas. Los modelos obtuvieron buen resultado en la distribución de facies y tasas de sedimentación representadas en los datos de entrada. Como debilidad, los espesores estratigráficos requieren mayor entendimiento de la interfase entre la producción de carbonatos para cada biota, los factores de transporte de sedimentos, parámetros de acción de las olas y el espacio de acomodación disponible para mantener la acumulación de sedimentos. Una limitación del modelo fue la asunción de parámetros como la energía de las olas y el aporte de sedimentos que requirió usar datos análogos.

Las plataformas Norte y Sur de Marion son un escenario excelente para experimentar la interacción de múltiples controles, incluyendo el transporte de sedimentos, producción de sedimentos, subsidencia diferencial y oscilaciones del nivel relativo del mar para obtener geometrías de plataformas de carbonatos y, es una oportunidad para entender las variaciones de los carbonatos, en el subsuelo, para mejorar la caracterización de yacimientos de carbonatos que podrían optimizar las estrategias de producción de hidrocarburos.

Referencias bibliográficas

- Abreu, V.S., Anderson, J.B., 1998. Glacial eustasy during the Cenozoic; sequence stratigraphic implications. *AAPG Bulletin* 82, 1385–1400.
- Adey, W.H., 1965. The genus *Clathromorphum* (Corallinaceae) in the Gulf of Maine. *Hydrobiologia* 26 (3–4), 539–573.
- Adey, W.H., 1973. Temperature control of reproduction and productivity in a subarctic coralline alga. *Phycologia* 12 (3/4), 111–118.
- Akbar, M., B. Vissapragada, A. H. Alghamdi, D. Allen, M. Herron, A. Carnegie, D. Dutta, J.-R. Olesen, R. Chourasiya, and D. Logan, 2000, a snapshot of carbonate reservoir evaluation: *Oilfield Review*, v. 12, p. 20-21
- Brandano, M., V. Frezza, L. Tomassetti, and M. Cuffaro, 2009, Heterozoan carbonates in oligotrophic tropical waters: The Attard member of the lower coralline limestone formation (Upper Oligocene, Malta): *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 274, no. 1-2, p. 54-63, doi: 10.1016/j.palaeo.2008.12.018.
- Burgess, P. and V. Wright, 2003, Numerical Forward Modeling of Carbonate Platform Dynamics: An Evaluation of Complexity and Completeness in Carbonate Strata: *Journal of Sedimentary Research*, v. 73, no. 5, p. 637-652, doi:10.1306/020503730637.
- Burgess, P. and D. Emery, 2004, Sensitive dependence, divergence and unpredictable behavior in a stratigraphic forward model of a carbonate system: *Geological Society, London, Special Publications*, v. 239, no. 1, p. 77-94, doi:10.1144/gsl.sp.2004.239.01.06.
- Burgess, P., 2008, The nature of shallow-water carbonate lithofacies thickness distributions: *Geol.* v. 36, no. 3, p. 235, doi:10.1130/g243326a.1.
- Burgess, P. and D. Pollitt, 2011, The origins of shallow-water carbonate lithofacies thickness distributions: one-dimensional forward modelling of relative sea-level and production rate control: *Sedimentology*, v. 59, no. 1, p. 57-80, doi:10.1111/j.1365-3091.2011.01303.x.
- Burgess, P. and G. Prince, 2014, Non-unique stratal geometries: implications for sequence stratigraphic interpretations: *Basin Res.* v. 27, no. 3, p. 351-365, doi:10.1111/bre.12082.
- Conesa, G.A.R., Favre, E., Münch, P., Dalmasso, H., and Chaix, C., 2005, Biosedimentary and paleoenvironmental evolution of the Southern Marion Platform from the middle to late Miocene (northeast Australia, ODP Leg 194, Sites 1196 and 1199).
- Della Porta, G., Kenter, J.A.M. and Bahamonde, J.R. (2004) Depositional facies and stratal geometry of an Upper Carboniferous prograding and aggrading high-relief carbonate platform (Cantabrian Mountains, N Spain). *Sedimentology*, 51, 267–295.
- Ehrenberg, S., J. McArthur, and M. Thirlwall, 2006, Growth, Demise, and Dolomitization of Miocene Carbonate Platforms on the Marion Plateau, Offshore NE Australia: *Journal of Sedimentary Research*, v. 76, no. 1, p. 91-116, doi:10.2110/jsr.2006.06.
- Freiwald, A., Henrich, R., 1994. Reefal coralline algal build-ups within the Arctic Circle: morphology and sedimentary dynamics under extreme environmental seasonality. *Sedimentology* 41, 963–984.
- Gaina, C., Müller, R.D., Royer, J.-Y., and Symonds, P., 1999. The evolution of the Louisiade Triple Junction. *J. Geophys. Res.*, 104:12927–12940.
- Goldhammer, R.K., Oswald, E.J. and Dunn, P.A. (1991) Hierarchy of stratigraphic forcing: example from Middle Pennsylvanian shelf carbonates of the Paradox Basin. In: *Sedimentary Modeling: Computer Simulations and Methods for Improved Parameter Definition* (Eds E.K. Franseen, W.L. Watney, C.G.S.C. Kendall and W. Ross), *Kansas Geol. Surv. Bull.*, 233, 361–414. Kansas Geological Survey, Lawrence, KS.



Granjeon, D., Casa, M.C., Eschard, R., and Joseph, P., 2002, Stratigraphic modeling: A new tool to construct 3-D geological models for basin modeling purposes: (abstract) American Association of Petroleum Geologists, Annual Meeting Program, v. 11, p. A66.

Granjeon D., Joseph P., 2012, Concepts and Applications of a 3-D multiple lithology, diffusive model in stratigraphic modelling: Society for Sedimentary Geology (SEPM) Special publications 62.

Halfar, J., Zack, T., Kronz, A., Zachos, J., 2000. Geochemical signals of rhodoliths (coralline red algae) — a new biogenic archive. *Journal of Geophysical Research* 105 (C9), 22107–22116.

Halfar, J., S. Hetzinger, W. Adey, T. Zack, G. Gamboa, B. Kunz, B. Williams, and D. Jacob, 2011, Coralline algal growth-increment widths archive North Atlantic climate variability: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 302, no. 1-2, p. 71-80, doi: 10.1016/j.palaeo.2010.04.009.

Hallock, P., Sheps, K., Chapronière, G., and Howell, M., 2006, Larger benthic foraminifers of the Marion Plateau, northeastern Australia (ODP Leg 194): comparison of faunas from bryozoan (Sites 1193 and 1194) and red algal (Sites 1196–1198) dominated carbonate platforms.

Haq, B., Hardenbol J., and Vail P., 1987, Chronology of Fluctuating Sea Levels since the Triassic: *Science*, v. 235, no. 4793, p. 1156-1167, doi:10.1126/science.235.4793.1156.

Horbury, A.D. and Adams, A.E. (1996) Microfacies associations in Asbian carbonates: an example from the Urswick Limestone Formation of the southern Lake District, northern England. In: *Recent Advances in Lower Carboniferous Geology* (Eds P. Strogon, I.D. Somerville and G.L. Jones), *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 107, 221–238. The Geological Society, London.

Isern A., Anse F., 2002, ABSTRACT: Sea-Level Magnitudes Recorded by Continental Margin Sequences on the Marion Plateau, Northeast Australia: ODP Leg 194: *Bulletin*, v. 86, doi: 10.1306/3fef3e25-1741-11d7-8645000102c1865d.

John, C., Mutti, M., 2005. The response of heterozoan carbonate systems to Palaeoceanographic, climatic and eustatic changes: a perspective from slope sediments of the Marion Plateau (ODP Leg 194). *Journal of Sedimentary Research* 75, 51–65.

John, C., G. Karner, E. Browning, R. Leckie, Z. Mateo, B. Carson, and C. Lowery, 2011, Timing and magnitude of Miocene eustasy derived from the mixed siliciclastic-carbonate stratigraphic record of the northeastern Australian margin: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 304, no. 3-4, p. 455-467, doi: 10.1016/j.epsl.2011.02.013.

Kindler, P., C. Ruchonnet, and T. White, 2006, The Southern Marion Platform (Marion Plateau, NE Australia) during the Early Pliocene: a lowstand-producing, temperate-water carbonate factory: *Geological Society,*

London, Special Publications, v. 255, no. 1, p. 269-282, doi:10.1144/gsl.sp.2006.255.01.16.

Kominz, M.A., Browning, J.V., Miller, K.G., Sugarman, P.J., Mizintsevav, S., Scotese, C.R., 2008. Late Cretaceous to Miocene sea-level estimates from the New Jersey and Delaware coastal plain coreholes: an error analysis. *Basin Research*.

Miller, K.G., Mountain, G.S., Browning, J.V., Kominz, M., Sugarman, P.J., Christie-Blick, N., Katz, M.E., Wright, J.D., 1998. Cenozoic global sea level, sequences, and the New Jersey transect; results from coastal plain and continental slope drilling. *Reviews of Geophysics* 36, 569–601.

Mutter, J.C., and Karner, G.D., 1980. The continental margin off northeast Australia. In Henderson, R.A., and Stephenson, P.J. (Eds.), *The Geology and Geophysics of Northeast Australia*. *Geol. Soc. Aust., Queensl. Div.*, 47–69.

Pomar, L., 2001, Types of carbonate platforms: a genetic approach: *Basin Research*, v. 13, no. 3, p. 313-334, doi:10.1046/j.0950-091x.2001.00152.x.

Prince, G. & Burgess, P., 2013, Numerical modeling of falling-stage topset aggradation: implications for distinguishing between forced and unforced regressions in the geological record. *J. Sediment. Res.*, 83, 767–781.

Rankey, E.C., 2004, On the interpretation of shallow shelf carbonate facies and habitats: how much does water depth matter? *J. Sed. Res.*, 74, 2–6.

Shipboard Scientific Party, 2002. Leg 194 summary. In Isern, A.R., Anselmetti, F.S., Blum, P., et al., *Proc. ODP, Init. Repts.*, 194: College Station TX (Ocean Drilling Program), 1–88.

Schlager, W. (1993) Accommodation and supply – a dual control on stratigraphic sequences. *Sed. Geol.*, 86, 111– 136.

Schlager, W., Reijmer, J.J.G., Droxler, A., 1994. Highstand shedding of carbonate platforms. *Journal of Sedimentary Research* 64, 27–281.

Struckmeyer, H. and P. Symonds, 1997, Tectonostratigraphic evolution of the Townsville Basin, Townsville Trough, offshore northeastern Australia: *Australian Journal of Earth Sciences*, v. 44, no. 6, p. 799-817, doi:10.1080/08120099708728356.

Symonds, PA., Davies, P.J., Feary, D.A., and Pigram, C.J., 1988. Geology of the northeastern Australian margin basins. In Harrison, P.L. (Ed.), *Queensland 1988 Exploration and Development*. *Pet. Explor. Soc. Aust. Symp.*

Williams, H., P. Burgess, V. Wright, G. Della Porta, and D. Granjeon, 2010, Investigating Carbonate Platform Types: Multiple Controls and a Continuum of Geometries: *Journal of Sedimentary Research*, v. 81, no. 1, p. 18-37, doi:10.2110/jsr.2011.6.

Desarrollo del software inflow para la determinación de curvas de oferta (IPR) en pozos horizontales, mediante las correlaciones empíricas de Joshi, Cheng, Bendakhlia & Aziz, Economides & Retnanto.

“Development of inflow software for the determination of supply curves (IPR) in horizontal wells, through the empirical correlations of Joshi, Cheng, Bendakhlia & Aziz, Economides & Retnanto.”



Angos Huera Jefferson Paúl
Universidad Central del Ecuador
angosfigempa@hotmail.com



Lucero Calvache Fernando Andrés
Docente Universidad Central del Ecuador
fernandolucero1986@gmail.com

Resumen

Este estudio trata de la aplicación del lenguaje FORTRAN 77, para la digitalización de las correlaciones de tipo gráfica a funciones y con ello, desarrollar el cálculo de manera inmediata de las variables que permitan definir la curva de oferta (IPR) de fluidos bifásicos en pozos horizontales, de acuerdo a correlaciones empíricas. Al aplicar la correlación de Joshi se tiene un mecanismo de producción de empuje hidráulico y un área de drenaje tipo elipse, mientras que, para las correlaciones de Cheng, Bendakhlia & Aziz, Economides & Retnanto se asume un reservorio en forma rectangular, con valores de permeabilidades en las direcciones x, y, z. La ecuación presentada por Helmy & Wattenbarger determina el índice de productividad para pozos horizontales que producen a presión constante. La aplicación del lenguaje FORTRAN 77, generará un archivo plano con la información del índice de productividad, caudal máximo, presiones de fondo fluyente y sus respectivos caudales para, de esta manera, graficar y determinar el comportamiento de afluencia del yacimiento, de acuerdo a los parámetros de cada correlación.

Palabras Claves: IPR; fortran77; yacimiento; permeabilidad; correlaciones.

Abstract

This study deals with the application of the FORTRAN 77 language, for the digitalization of graphical type correlations to functions and with it, to develop the calculation of the immediate variables that allow defining the supply curve (IPR) of biphasic fluids in horizontal wells according to empirical correlations. When applying the Joshi correlation, there is a hydraulic drive production mechanism and an ellipse drainage area, while for the correlations of Cheng, Bendakhlia & Aziz, Economides & Retnanto a rectangular reservoir with permeability values is assumed in the x, y, z directions. The equation presented by Helmy & Wattenbarger determines the productivity index for horizontal wells that produce at constant pressure. The application of the FORTRAN 77 language will generate a flat file with the information of the productivity index, maximum flow rate, flowing bottom pressures and their respective flow rates in order to graph and determine the inflow behavior of the reservoir according to the parameters of each correlation.

Keywords: IPR; fortran77; reservoir; permeability; correlations

Introducción

El comportamiento de la curva de oferta (IPR) en pozos horizontales depende de varios factores como: la inclinación del pozo, parámetros petrofísicos, propiedades de los fluidos, anisotropía del yacimiento y condiciones de contorno, tanto laterales como verticales; encontrar la relación entre estos factores y la productividad de un pozo horizontal, es una tarea importante para elegir el patrón que determina el comportamiento real del pozo. El desarrollo de pozos horizontales con extensas áreas de drenaje y pozos multilaterales ha permitido la crea-

ción de modelos analíticos para predecir el IPR de un pozo horizontal. Las correlaciones realizadas por Joshi, Cheng, Bendakhlia & Aziz, Economides & Retnanto, se han enfocado en yacimientos con empuje hidráulico, ángulo del pozo, yacimientos isotrópicos y en función de la presión de burbuja respectivamente, los cuales modifican la ecuación de Vogel, reemplazando las constantes 0,2 y 0,8, permitiendo predecir el comportamiento y desempeño del yacimiento, de una manera más precisa.

La estimación de curvas de Oferta (IPR) en pozos horizontales, mediante el compilador FORTRAN 77. Este

lenguaje de programación es utilizado para aplicaciones científicas y de ingeniería, lenguaje que se desarrolló en principios de la era computacional y es usada hasta nuestros días en diferentes áreas de la industria petrolera.

Metodología

El análisis de las curvas de oferta (IPR) se llevará a cabo, mediante la forma que posea el yacimiento, este estudio está enfocado en la aplicación del lenguaje de programación FORTRAN 77, al desarrollar una serie de instrucciones, basadas en la compilación de datos y algoritmos, para determinar los diferentes caudales a cada presión de fondo fluyente que se digitalice en la interfaz gráfica del programa, con el objetivo de estimar las curvas IPR en pozos horizontales.

Correlación de Joshi

En 1991 Joshi presentó una ecuación para estimar el índice de productividad de un pozo horizontal, en un reservorio isotrópico, con empuje hidráulico, para desarrollar las diferentes curvas de oferta (IPR) en yacimientos que tienen como área de drenaje en forma de elipse, tal como se muestra en la Figura 1 (Joshi S., 1988).

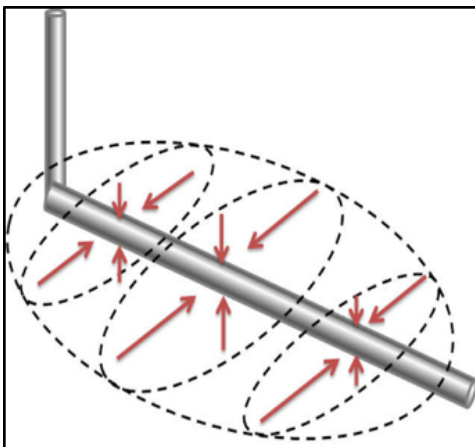


Figura 1. Área de drenaje en forma de elipse. Fuente: (Joshi D. S., 1988)

Descripción del método

El modelo de Joshi se basa en la ecuación de difusividad tomando en consideración el daño de formación área de drenaje de tipo elipse, índice de anisotropía, el radio efectivo del pozo y la eficiencia de flujo para así determinar la siguiente expresión (Joshi D. S., 1988) En el anexo 1 se presenta el algoritmo corrido en FORTRAN 77 para el cálculo del Índice de Productividad, la máxima tasa de producción y los datos para graficar la IPR

$$J_H = \frac{h \cdot k_h}{182,329 \cdot \left(\ln R + \left[1,3073 \cdot \left(\frac{h \cdot l_{ani}}{L} \right) \right] \cdot \left[\ln \left(\frac{h \cdot l_{ani}}{r_w \cdot (l_{ani} + 1)} \right) \right] \right)^{-0,75 + S}} \quad \text{Ec. (1)}$$

$$EF = \frac{J_H}{J_v} \quad \text{Ec. (2)}$$

Correlación de cheng

En 1990 Cheng propuso una versátil correlación para determinar el comportamiento de afluencia en pozos desviados y horizontales (Cheng, 1990).

Descripción del método

El modelo de Cheng mantuvo los mismos exponentes para los términos de la relación de presiones que la correlación de Vogel, pero modificó las constantes en la ecuación para lograr el ajuste; las variables que se modifican se presentan en la siguiente expresión:

$$\frac{q_o}{q_{o\max}} = a_0 + a_1 \left(\frac{Pwf}{Pr} \right) - a_2 \left(\frac{Pwf^2}{Pr^2} \right) \quad \text{Ec. (3)}$$

En la Fig. 2 se presenta el modelo de yacimiento que utilizó Cheng para la determinación de las constantes de la ecuación de Vogel (Nicolas, 2013).

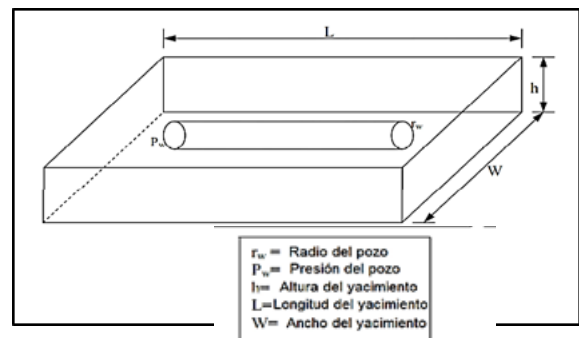


Figura 2. Yacimiento tipo caja Fuente: (Nicolas, 2013)

En el anexo 2 (formato digital) se presenta el algoritmo corrido en FORTRAN 77, basado en las funciones que determinan los parámetros a0, a1 y a2 en relación del ángulo de inclinación, tal como se muestra en la fig. 3.

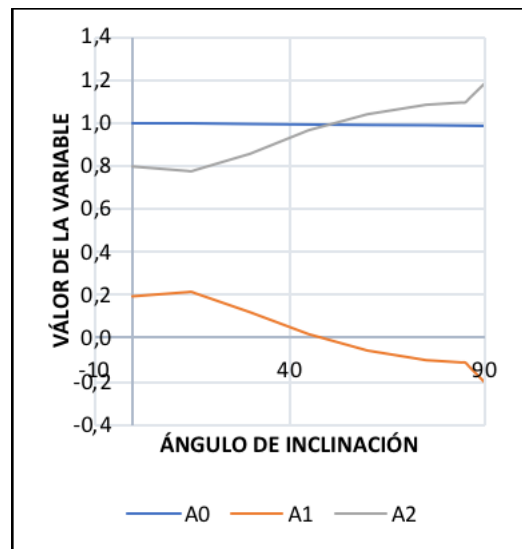


Figura 3. Digitalización de las constantes de la correlación de Cheng Elaborado por: Jefferson Paul Angos Huera

En el anexo 3 se presenta los valores estimados de las constantes a0, a1 y a2 mediante la digitalización de las siguientes ecuaciones para generar las constantes que intervienen en la ecuación de Vogel.

$$a_0 = 1x10^{-13}.X^6 - 3x10^{-11}.X^5 + 2x10^{-9}.X^4 + 4x10^{-8}.X^3 - 8x10^{-6}.X^2 + 9x10^{-5}.X + 0,9998 \quad \text{Ec. (4)}$$

$$a_1 = -2x10^{-11}.X^6 + 4x10^{-9}.X^5 - 3x10^{-7}.X^4 + 2x10^{-5}.X^3 - 0,0007.X^2 + 0,0084.X + 0,1878 \quad \text{Ec. (5)}$$

$$a_2 = 1x10^{-11}.X^6 - 2x10^{-9}.X^5 + 1x10^{-7}.X^4 - 8x10^{-6}.X^3 + 0,0004.X^2 - 0,0063.X + 0,8087 \quad \text{Ec. (6)}$$

Correlación de Bendakhlia y Aziz

En 1998 Bendakhlia y Aziz siguieron el enfoque de Vogel para desarrollar un modelo, para pozos horizontales que posean mecanismos de producción de 0% a 14 %; ellos modificaron la ecuación de Vogel reemplazando las constantes 0,2 y 0,8 mediante la aplicación de la siguiente expresión matemática que involucra las variables V y n tal como se muestra en la Fig 4 (Bendakhlia & Aziz, 1998).

$$\frac{q_o}{q_{o\max}} = \left(1 + V \left(\frac{P_{wf}}{Pr} \right) - (1 - V) \left(\frac{P_{wf}^2}{Pr^2} \right) \right)^2 \quad \text{Ec. (7)}$$

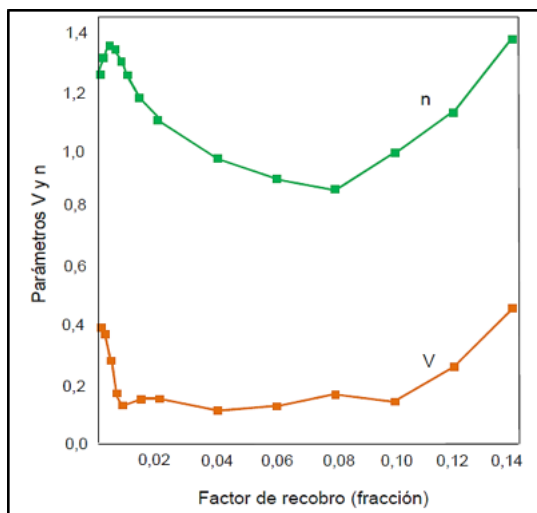


Figura 4. Parámetros V y n en función de factor de recobro
Fuente: (Bendakhlia & Aziz, 1998)

Descripción del método

El modelo de Bendakhlia y Aziz mantuvo los mismos exponentes para los términos de la relación de presiones que la correlación de Vogel, pero modificó las constantes V y n en la ecuación para lograr el ajuste. En los anexos se presenta el algoritmo corrido en FORTRAN 77, basado en las funciones que determinan los parámetros V y n, en relación con el factor de recobro.

En la Fig. 5 se presenta la digitalización de la correlación presentada por Bendakhlia y Aziz, los valores estimados de las constantes V y n se muestran en el apéndice 4.5. constantes que intervienen en la aplicación de la ecuación de Vogel.

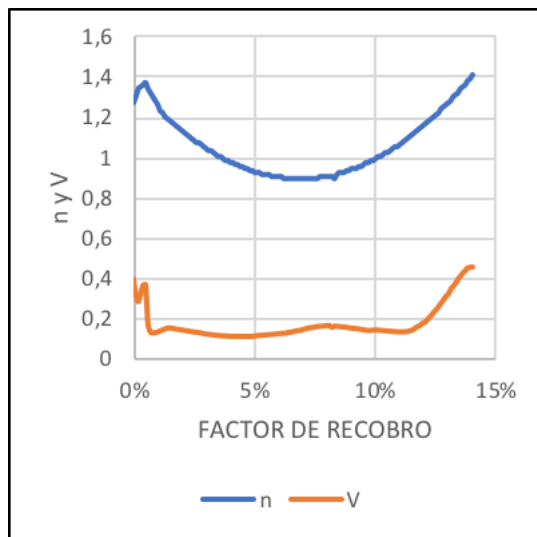


Figura 5. Parámetros V y n en función de factor de recobro
Fuente: (Bendakhlia & Aziz, 1998)

Correlación de Economides y Retnanto

En 1998 Economides y Retnanto presentaron un modelo para estimar el desempeño del influjo bifásico en pozos horizontales. Ellos utilizaron el simulador numérico VIP para generar el IPR de pozos horizontales y multilaterales (Economides & Retnanto, 1998).

Descripción del método

El modelo se corrió sobre un amplio rango de propiedades del fluido y yacimiento y las curvas adimensionales del IPR se crearon para las condiciones simuladas; la ecuación empírica se presenta a continuación (Economides & Retnanto, 1998)

$$\frac{q_o}{q_{o\max}} = 1 - 0,25 \left(\frac{P_{wf}}{Pr} \right) - 0,75 \left(\frac{P_{wf}}{Pr} \right)^n \quad \text{Ec. (8)}$$

$$n = \left(-0,27 + 1,46 \left(\frac{Pr}{P_b} \right) - 0,96 \left(\frac{Pr}{P_b} \right)^2 \right) \cdot (4 + 1,66x10^{-3}xP_b) \quad \text{Ec. (9)}$$

En el anexo 6. se presenta el algoritmo corrido en FORTRAN 77 basado en la relación $\left(\frac{Preservorio}{P_{burbuja}} \right)$.

Resultados

La tabla 1 presenta los resultados de los datos obtenidos, de caudales a diferentes Pwf, para determinar la curva, IPR con el simulador PIPESIM y con las correlaciones utilizadas en el software. En el anexo 7 se

detallan los mismos.

Tabla 1. Comparación de resultados entre Software PIPESIM e INFLOW

SOFTWARE PIPESIM	CORRELACIÓN JOSHI	CORRELACIÓN CHENG	CORRELACIÓN BENDAKHLIA & AZIZ	CORRELACIÓN	
P_{wf} (PSI)	CAUDAL (BPPD)	CAUDAL (BPPD)	CAUDAL (BPPD)	CAUDAL (BPPD)	TIPO
4000	0	0	0	0	HARRISON
3000	247,9	246,83	486,87	245	251,1533796 HARRISON
2000	495,8	493,66	820,57	563,51	543,5978478 HARRISON
1500	619,75	617,07	932,94	713,85	660,42 HARRISON
1256	680,2376	677	974,6	782,27	740 ECONOMIDES & RETNANTO
500	867,65	863,91	1048,75	967,24	950,36 HARRISON
0	991,6	987,32	1052,18	1063,13	1063 ECONOMIDES & RETNANTO

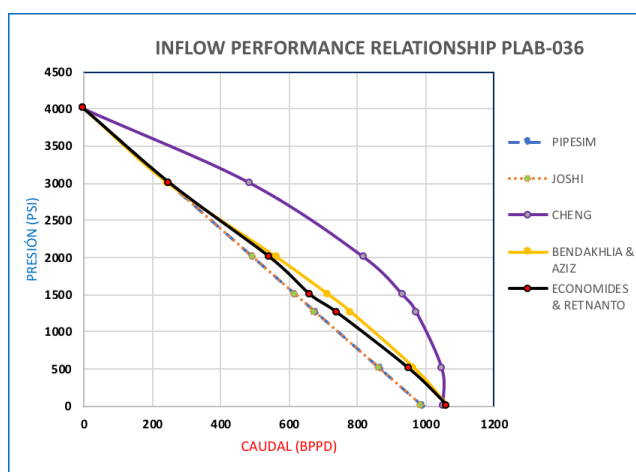


Figura 6. IPRs del pozo PLAB-036

Fuente: Software PIPESIM e INFLOW

INFLOW. La Figura 6 presenta las curvas de oferta IPRs, en el pozo horizontal PLAB-036, con las diferentes correlaciones empleadas

Conclusiones

La correlación de Joshi hace referencia a la obtención del índice de productividad para pozos horizontales, con empuje hidráulico, como mecanismo de producción primario al considerar el daño de formación; se estima que la producción máxima del pozo PLAB-036 sería de 991 BPPD, mientras que al producir por encima del punto de burbuja la relación gas petróleo sería mínima, obteniendo un caudal de 680 BPPD.

El estudio realizado por Helmy & Wattenbarger hace referencia a las propiedades petrofísicas de la roca PVT, y dimensiones del yacimiento, estimando un índice de productividad de 0.846 BPPD/psi para pozos que utilicen las correlaciones Cheng, Bendakhliia & y Aziz; Economides & Retnanto para estimar las diferentes curvas de oferta presentadas para el pozo PLAB-036.

La correlación de Cheng, aplicado a pozos horizontales en función del ángulo muestra que, al tener una mayor inclinación el pozo, éste tiende a producir un mayor caudal, a una misma presión de fondo fluyente, tal como se muestra en las gráficas de la IPR en el caso de estudio.

Al simular con factor de recobro máximo de 14% se obtiene una tasa máxima de 1063 BPPD, comparado con las demás correlaciones; al existir un máximo de 14% de factor de recobro, no se estima de forma precisa el caudal de producción, pues el pozo de estudio está influenciado por un acuífero activo, el cual oscila en un 50% de recobro a una presión de 4000 psi.

La correlación de Economides y Retnanto presenta una limitación al aumentar la presión de fondo fluyente; desde la presión de burbuja la tasa de producción muestra valores negativos, por lo que se sugiere utilizar la correlación de Harrison.

Las correlaciones utilizadas en el estudio presentan tasas similares a la del software PIPESIM con el cual se comparó; con el fin de calcular de manera aproximada la capacidad de producción del pozo.

La correlación de Cheng presenta un mayor porcentaje de error, comparado a las demás correlaciones, ya que al ser pozos tan desviados presentan una mayor tasa de producción al llegar a la presión, en el punto de burbuja.

Al construir las curvas de oferta con la correlación de Joshi, presenta gráficamente un comportamiento de Índice de Productividad constante, mientras que las correlaciones de Cheng, Bendakhliia & y Aziz; Economides & Retnanto; Harrison se comportan como la correlación tipo Vogel.

Referencias bibliográficas

Alnuaim & Ali Khalid. (2014). Inflow Performance Relationship for Horizontal Wells Producing from Multi-Layered Heterogeneous Solution Gas-Drive Reservoirs. Offshore Technology Conference 24757-MS, 13.

Aziz & Bendakhliia. (1998). Inflow Performance Relationships for solution-Gas Drive Horizontal Wells. Society of Petroleum Engineers 19823, 10.

Cheng A. (1990). Inflow Performance Relationships for Solution-Gas-Drive Slanted/Horizontal Wells. Society of Petroleum Engineers- 20720, 8.

Economides & Retnanto. (1998). Inflow Performance Relationship of Horizontal and Multibranch Wells in a Solution- Gas-Drive-Reservoir. Society of Petroleum Engineers, 9.

Joshi D S. (1988). Augmentation of well Productivity with sland horizontal wells. Society of Petroleum Engineers-15375, 13.

Joshi S. (1988). Production Forecasting Methods for Horizontal Wells. Society of Petroleum Engineers, 13.

Nicolás S. (2013). Módulo III - IPR de pozos horizontales. Aceinternacional, 37.

Petroamazonas EP. (2018). Informe del pozo horizontal PLAB-036. PAM EP

Schlumberger. (2017). Manual del software PIPESIM. SLB



• GUÍA PARA LA PRESENTACIÓN Y APROBACIÓN DE ARTÍCULOS

La revista FIGEMPA: INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO, indexada en Latindex (Directorio, Catálogo, Electrónica) con registro ISSNi 1390-7042 e ISSN-e 2602-8484 para la versión digital, está destinada a la difusión de resultados de investigaciones y estudios técnicos realizados por profesores, profesionales y estudiantes de grado y posgrado de la Universidad y expertos nacionales e internacionales en áreas vinculadas a Ciencias de la Ingeniería, Ciencias Exactas y Naturales, Energía, Geología, Ingeniería Minera, Ingeniería Petrolera, Ingeniería Ambiental, Tecnología, Ciencias de la Tierra, Investigación, Seguridad y el Aprovechamiento Sustentable y Sostenible de los Recursos Naturales No Renovables. Es un espacio interdisciplinario de discusión en aspectos teóricos como de aplicación en las áreas indicadas. Su publicación es semestral.

1. Normas de presentación: Originalidad

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

Uso ético de la información:

Comercialismo. El material de naturaleza comercial es inaceptable en un documento técnico por la Revista FIGEMPA. Las descripciones genéricas pueden sustituir a los nombres comerciales.

El plagio. El plagio de la obra de otros es inaceptable. Si se detecta, se aplicarán criterios de similitudes conforme a las recomendaciones técnicas de la SENESCYT, y el artículo no será aceptado.

Estructura

El artículo deberá contener: Resumen en español e inglés, Palabras claves en español e inglés, Introducción, Metodología, Discusión de Resultados, Conclusiones y Referencias bibliográficas

Formato

Su extensión no deberá ser mayor a 8000 palabras ni a 8 páginas incluidos gráficos, tablas y fotografías.

Evitar hacer afirmaciones que no están claramente apoyadas por resultados de otras investigaciones o que han sido validados con estudios rigurosos.

El idioma de la revista es español, 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 (páginas 2-8): 2cm.

Margen inferior: 2.0 cm.

Mencione las figuras con la abreviatura: Fig. 1, a menos que sea al inicio de la oración.

1.1 Título principal

El título principal debe empezar en el margen superior de la primera página, en mayúsculas, centrado, Arial



de 14 Pts., negrita, con no más de 15 palabras. Deje un espacio en blanco después del título.

1.2 Nombres de los autores y sus e-mails

- Los nombres de los participantes deberán estar centrados bajo el título Arial de 11 Pts.
- Título más importante que ha obtenido
- El nombre de la institución a la que pertenece y/o trabaja.
- Los correos electrónicos se centrarán debajo del nombre de la institución, en Arial de 10 Pts., (sin hipervínculo)

Nota: Inicie con sus apellidos, seguido de sus nombres.

1.3 Segunda y páginas siguientes

Los márgenes para la segunda y las páginas siguientes deben cumplir con los establecidos en el punto 1.

1.4 Tipos de letra

Se utilizará únicamente tipo de letra Arial.

Nota: Por favor evite hacer uso de otros tipos de letra.

1.5 Texto principal

Escriba su texto en Arial de 9 Pts., espacio simple. No utilice el doble espaciamento. 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.

Utilice explícitamente la notación exponencial, es decir, 5.6×10^{-3} .

1.6 Título de primer nivel

Por ejemplo, "Introducción", en Arial, negrita de 12 Pts., justificado, con un espacio en blanco antes y un espacio en blanco después.

1.6.1 Título de segundo nivel

Cuando sea necesario este título, deben ser en Arial, negrita, de 11 Pts., justificado, con un espacio en blanco antes, y un espacio en blanco después.

1.6.2 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.

1.7 Paginación

Las páginas se debe numerar automáticamente.

1.8 Gráficos, fotografías y tablas

Todos los gráficos, fotografías y tablas se deben centrar. Todo debe de incluirse en el artículo. Recuerde que la calidad de los gráficos, fotografías y tablas deben tener una buena resolución.

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.

Está permitido si es necesario que sus figuras, diagramas y tablas sean de página completa.

Enmarque las figuras con líneas de 1 punto de grosor.

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.

Ejemplos:

Tabla 1.xxxxxxxx.

Elaborado por: xxxxxxxxxxxxxxxx

Fuente: xxxxxxxxxxxxxxxx

MEDIDAS MÍNIMAS DE LOS ORIFICIOS DE VENTILACIÓN, LLENADO Y DRENAJE REQUERIDO POR LA LONGITUD DE LA SECCIÓN											
Díametro del tubo (mm)	≤ 50	60-76	89	102-114	127-152	165	219	245	273	324	335
Medidas	50 x 20	80 x 60	80 x 80	100 x 80	100 x 90	100 x 90	180 x 100	200 x 200	200 x 200	200 x 200	200 x 200
RHS (mm)	60 x 60	70 x 70	100 x 60	100 x 60	100 x 100	150 x 100	150 x 100	200 x 200	200 x 200	200 x 200	400 x 200
Longitud (m)	60 x 60	70 x 70			140 x 140						
	Medidas del orificio (mm)										
1	10 (12)	10 (12)	10 (12)	12 (2x10)	16 (2x12)	20 (2x16)	25 (2x20)	30 (2x25)	30 (2x25)	40 (2x30)	40 (2x30)
2	10 (12)	10 (12)	12 (2x10)	12 (2x10)	16 (2x12)	20 (2x16)	25 (2x20)	30 (2x25)	30 (2x25)	40 (2x30)	50 (2x40)
3	10 (12)	12 (2x10)	12 (2x10)	12 (2x10)	16 (2x12)	20 (2x16)	25 (2x20)	30 (2x25)	40 (2x30)	40 (2x30)	50 (2x40)
4	12 (2x10)	12 (2x10)	16 (2x12)	16 (2x12)	16 (2x12)	25 (2x20)	25 (2x20)	30 (2x25)	40 (2x30)	40 (2x30)	50 (2x40)
5	12 (2x10)	16 (2x12)	16 (2x12)	16 (2x12)	16 (2x12)	25 (2x20)	25 (2x20)	30 (2x25)	40 (2x30)	50 (2x40)	50 (2x40)
6	12 (2x10)	16 (2x12)	20 (2x16)	20 (2x16)	25 (2x20)	25 (2x20)	25 (2x20)	30 (2x25)	40 (2x30)	50 (2x40)	50 (2x40)
7	16 (2x12)	16 (2x12)	20 (2x16)	20 (2x16)	25 (2x20)	25 (2x20)	25 (2x20)	30 (2x25)	40 (2x30)	50 (2x40)	50 (2x40)
8	16 (2x12)	16 (2x12)	20 (2x16)	25 (2x20)	25 (2x20)	25 (2x20)	25 (2x20)	30 (2x25)	40 (2x30)	50 (2x40)	50 (2x40)
9	16 (2x12)	16 (2x12)	25 (2x20)	25 (2x20)	25 (2x20)	25 (2x20)	25 (2x20)	30 (2x25)	40 (2x30)	50 (2x40)	50 (2x40)
10+	20 (2x16)	25 (2x20)	25 (2x20)	25 (2x20)	25 (2x20)	25 (2x20)	25 (2x20)	30 (2x25)	40 (2x30)	50 (2x40)	50 (2x40)

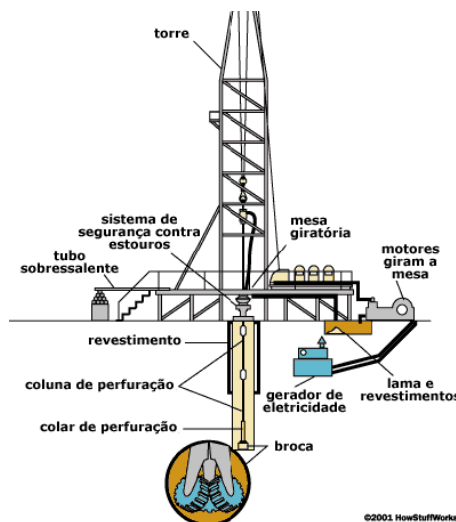


Figura 1. Esquema de perforación. Fuente: xxxxxx

1.8.1 Imágenes a color

Está permitido el uso de imágenes a color.

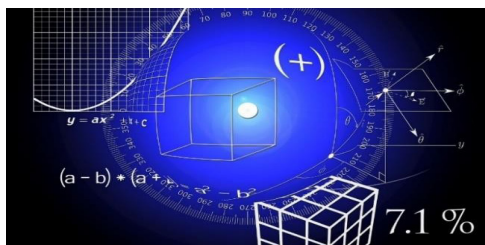


Figura 2. Ejemplo de Figura

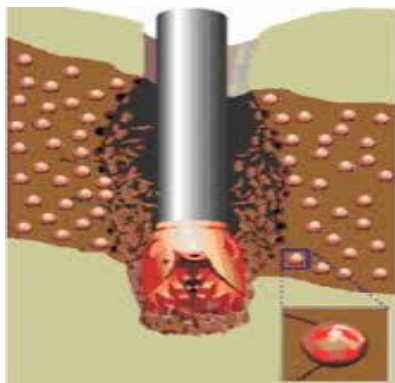


Figura 3. Ejemplo de Figura

Las citas, referencias y ecuaciones deberán de seguir los siguientes criterios:

1.8.2 Ecuaciones

Por favor utilice símbolos que estén disponibles en inglés y en español, en las versiones de procesadores de textos.

Las ecuaciones deberán estar numeradas con el número entre paréntesis y al margen derecho del texto, Ej.

$$V_{GS} \quad V_{GG} \quad I_D \quad R_S \quad \text{Ec. (1)}$$

Para su mención utilice la abreviatura Ec. (1).

Otro ejemplo:

$$\int_0^{\infty} \vec{F}(r, z) dr d [r_2 / (2r_0)] \quad \text{Ec. (2)}$$

$$\exp(|z, z, l|) \quad J_1(r_2) J_0(r_1) d.$$

1.9 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 Machado (2010): “Todos los participantes...” (p.74)

-Al analizar los resultados de los estudios previos encontramos que: “Todos los participantes...” (Machado, 2010, p. 74)

Si la cita tiene más de 40 palabras debe escribirse etn un párrafo aparte, sin comillas, alineado a la izquierda y con un margen de 2,54 cm o 5 espacios de tabulador. Todas las citas deben ir a doble espacio.

Ejemplos

- Maquiavelo (2011) en su obra El Príncipe afirma lo siguiente:

Los hombres, cuando tienen un bien de quien creían tener un mal, se obligan más con su benefactor, deviene el pueblo rápidamente en más benévolo con él que si con sus favores lo hubiese conducido al principado (p. 23)

- Es más fácil que el príncipe no oprima al pueblo y gobernar para ellos, porque:

Los hombres, cuando tienen un bien de quien creían tener un mal, se obligan más con su benefactor, deviene el pueblo rápidamente en más benévolo con él que si con sus favores lo hubiese conducido al principado (Maquiavelo, 2011, p. 23)

Citas indirectas o paráfrasis

En estos casos se reproduce con propias palabras la idea de otro. Siguen las normas de la citación textual, a excepción del uso de comillas y citas en párrafo aparte.

Ejemplo:

- Según Huizinga (1952) son características propias de la nobleza las buenas costumbres y las maneras distinguidas, además la práctica de la justicia y la defensa de los territorios para la protección del pueblo.

- Así aparecen las grandes monarquías de España, Francia e Inglaterra, las cuales intentaron hacerse con la hegemonía europea entablando guerra en diversas ocasiones (Spielvogel, 2012, p. 425).



En los únicos casos en donde se puede omitir de forma deliberada el número de página es en los de paráfrasis y esto cuando se estén resumiendo varias ideas expresadas a lo largo de toda una obra y no una idea particular fácilmente localizable en la fuente citada.

Otras normas de citado:

Dos autores: Machado y Rodríguez (2015) afirma... o (Machado y Rodríguez, 2015, p._)

Tres a cinco autores: cuando se citan por primera vez se nombran todos los apellidos, luego solo el primero y se agrega et al. Machado, Rodríguez, Álvarez y Martínez (2015) aseguran que... / En otros experimentos los autores encontraron que... (Machado et al., 2015)

Seis o más autores: desde la primera mención se coloca únicamente apellido del primero seguido de et al.

Autor corporativo o institucional con siglas o abreviaturas: la primera citación se coloca el nombre completo del organismo y luego se puede utilizar la abreviatura. Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP, 2016) y luego OPEP (2016); Organización Mundial de la Salud (OMS, 2014) y luego OMS (2014).

Autor corporativo o institucional sin siglas o abreviaturas: Instituto Cervantes (2012), (Instituto Cervantes, 2012).

Dos o más trabajos en el mismo paréntesis: se ordenan alfabéticamente siguiendo el orden de la lista de referencias: Muchos estudios confirman los resultados (Martínez, 2012; Portillo, 2014; Rodríguez; 2014 y Zapata, 2015).

Fuentes secundarias o cita dentro de una cita: Carlos Portillo (citado en Rodríguez, 2015)

Obras antiguas: textos religiosos antiguos y muy reconocidos. (Corán 4:1-3), Lucas 3:2 (Nuevo Testamento). No se incluyen en la lista de referencias.

Comunicaciones personales: cartas personales, memorándums, mensajes electrónicos, etc. Manuela Álvarez (comunicación personal, 4 de junio, 2010). No se incluyen en la lista de referencias.

Fuente sin fecha: se coloca entre paréntesis s.f. Alvarado (s.f), Bustamante (s.f).

Fuente anónima: se escriben las primeras palabras del título de la obra citada

(Informe de Gestión, 2013), Lazarillo de Tormes (2000).

Citas del mismo autor con igual fecha de publicación: en estos casos se coloca sufijación al año de publicación para marcar la diferencia (Rodríguez, 2015a), (Rodríguez, 2015b). Se ordena por título alfabéticamente, en la lista de referencias.

1.10 Abreviaturas y acrónimos

Defina las abreviaturas y acrónimos la primera vez que sean utilizadas en el texto. Evite emplear abreviaturas en el título, salvo que resulte imprescindible.

1.11 Conclusiones

Una sección de conclusiones se requiere. En una conclusión puede repasar los puntos principales del documento, no reproduzca lo del resumen como conclusión. Una conclusión podría extender la importancia del trabajo o podría hacer pensar en aplicaciones y extensiones. El seguimiento de las normas indicadas permitirá que su trabajo no sólo se destaque por su contenido, sino que también resulte visualmente atractivo.

1.12 Recomendaciones

De ser necesarias y conforme al artículo.

AGRADECIMIENTOS (OPCIONAL)

Exponga reconocimientos a instituciones y grupo de apoyo.

1.13 Referencias bibliográficas

Se organiza alfabéticamente y se le coloca sangría francesa

Libro: Apellido, A. A. (Año). Título. Ciudad, País: Editorial

Libro con editor: Apellido, A. A. (Ed.). (Año). Título. Ciudad, País: Editorial.

Libro electrónico: Apellido, A. A. (Año). Título. Recuperado de <http://www...>

Libro electrónico con DOI: Apellido, A. A. (Año). Título. DOI: xx

Capítulo de libro: únicamente en los casos de libros compilatorios y antologías donde cada capítulo tenga un autor diferente y un

compilador o editor: Apellido, A. A., y Apellido, B. B. (Año). Título del capítulo o la entrada. En A. A. Apellido. (Ed.), Título del libro (pp. xx-xx). Ciudad, País: Editorial.

Publicaciones periódicas formato impreso: Apellido, A. A., Apellido, B. B., y Apellido, C. C. (Fecha). Título del artículo. Nombre de la revista, volumen(número), pp-pp.

Publicaciones periódicas con DOI: Apellido, A. A., Apellido, B. B. y Apellido, C. C. (Fecha). Título del artículo. Nombre de la revista, volumen(número), pp- pp. DOI: xx

Publicaciones periódicas online: Apellido, A. A. (Año). Título del artículo. Nombre de la revista, volumen(número), pp-pp. Recuperado de <http://www...>

Artículo de periódico impreso: Apellido A. A. (Fecha). Título del artículo. Nombre del periódico, pp-pp. O la versión sin autor: Título del artículo. (Fecha). Nombre del periódico, pp-pp.

Artículo de periódico online: Apellido, A. A. (Fecha). Título del artículo. Nombre del periódico. Recuperado de <http://www...>

Tesis de grado: Autor, A. (Año). Título de la tesis (Tesis de pregrado, maestría o doctoral). Nombre de la institución, Lugar.

Tesis de grado online: Autor, A. y Autor, A. (Año). Título de la tesis (Tesis de pregrado, maestría o doctoral). Recuperado de <http://www...>

Referencia a páginas webs: Apellido, A. A. (Fecha). Título de la página. Lugar de publicación: Casa publicadora. Recuperado de <http://www...>

Fuentes en CDs: Apellido, A. (Año de publicación). Título de la obra (edición) [CD-ROM]. Lugar de publicación: Casa publicadora.

Películas: Apellido del productor, A. (productor) y Apellido del director, A. (director). (Año). Nombre de la película [cinta cinematográfica]. País: productora.

Serie de televisión: Apellido del productor, A. (productor). (Año). Nombre de la serie [serie de televisión]. Lugar: Productora. Video: Apellido del productor, A. (Productor). (Año). Nombre de la serie [Fuente]. Lugar.

Podcast: Apellido, A. (Productor). (Fecha). Título del podcast [Audio podcast].

Recuperado de <http://www...>

Foros en internet, lista de direcciones electrónicas y otras comunidades en línea: Autor, (Día, Mes, Año) Título del mensaje [Descripción de la forma] Recuperado de <http://www...>

Ejemplo:

Barceló Miller, M. (1997). La lucha por el sufragio femenino en Puerto Rico 1896 – 1935. San Juan, Puerto Rico: Ediciones Huracán.

Granda, J., Alemany, I., y Canto, A. (2000). Multiculturalidad y formación de maestros. Una propuesta para el currículo formativo de docentes de educación física. En O. Contreras (coord.), La formación inicial y permanente del profesorado de educación física, Actas del XVIII Congreso Nacional de Educación Física. (pp. 343-355). Cuenca: Ediciones de la Universidad de Castilla – La Mancha.

Guía a la redacción en el estilo APA, 6ta edición. Recuperado de <http://www.suagm.edu/umet/biblioteca/pdf/GuiaRevMarzo2012APA6taEd.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). We have a problem: a review of self-reported We related injuries. *Informatics In Primary Care*, 17 (1), pp. 55-57. Recuperado de la base de datos Pubmed.

Torres, R. y Ceberio, M. (5 de julio 2011). La SGAE mantiene a Bautista, pero una comisión rectora asumirá sus funciones. *El País*. Recuperado de: http://www.elpais.com/articulo/cultura/SGAE/mantiene/Bautista/comisio_n/rectora/asumira/



2. DE LA PRESENTACIÓN

Los autores que deseen que se publique un artículo de su autoría deben seguir el siguiente procedimiento:

a. Remitir el artículo en el formato planteado para la revista que debe estar firmado por sus autores con nombres y apellidos y/o declaración de autor institucional, a la plataforma de la Revista <http://revistadigital.uce.edu.ec>

b. La convocatoria para la presentación de artículos es abierta

c. Para subir el artículo debe realizar lo siguiente:

i. Ingresar a la plataforma: <http://revistadigital.uce.edu.ec>

ii. Seleccionar la opción FIGEMPA.

iii. Luego ir a la opción registrarse.

iv. Llenar los datos que le solicitan en minúsculas.

v. Ingresar con el usuario que le llegará al correo electrónico ingresado.

vi. Seleccionar la opción nuevo envío y llenar los datos solicitados.

Toda la información recibirá al correo electrónico registrado.

3. DE LA SELECCIÓN

Una vez recibido un artículo para su publicación, se seguirá el siguiente proceso independiente que seleccionará aquellos a ser publicados en la revista indexada FIGEMPA:

Evaluación Etapa 1: Verificación de que el Tema esté en las líneas de publicación aprobadas por LATINDEX y que son Ciencias de la Ingeniería, Ciencias Exactas y Naturales, Energía, Geología, Ingeniería Minera, Ingeniería Petrolera, Tecnología, Ciencias de la Tierra y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales no renovables. La realiza el Consejo Editorial.

Evaluación Etapa 2: Verificación del cumplimiento de requerimientos Académicos y Éticos como son: Declaración de originalidad y de que el artículo no ha sido enviado a otra revista para su publicación, que no exista indicios de plagio, información de autores y filiación, cumplimiento de políticas y del formato para la publicación como son que no exceda de 8000 palabras,

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.

Evaluación Etapa 3: Evaluación Técnico - científica que considera:

- 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.
- Cada artículo será remitido a un Par académico Revisor conjuntamente con un formulario para la evaluación donde constan los indicadores técnicos que deben cumplir para su aprobación, quien mediante una evaluación objetiva informará si cumple con los criterios requeridos y proporcionará retroalimentación constructiva sobre cómo podría mejorarlo. Esta es una evaluación conocida como Doble Ciego, ya que el Revisor no conoce los nombres de los autores ni los autores conocen los nombres de sus Evaluadores.
- 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.
- El Consejo Editorial de la Revista conocerá y a través de la Dirección notificará a los autores los resultados de la evaluación.
- Los artículos que sean aprobados pasarán a las fases de Edición Técnica y Gráfica y publicación
- Los artículos seleccionados deberán presentarse en un congreso.

Bibliografía

Diccionario de la Real Academia Española. 2018. www.rae.es.

Formato y Guía de presentación de artículos económicos, de investigación, desarrollo e innovación. Revista FIGEMPA Investigación Y Desarrollo. 2018. QUITO.

Normas Harvard. 2018. disponible en <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/45402/8/Estilo-Harvard.pdf>



SISTEMA DE ARBITRAJE: EVALUACIÓN EXTERNA POR PARES Y ANÓNIMA

La Revista FIGEMPA: investigación y desarrollo es una publicación científica, con periodicidad semestral, en formato papel y digital, que publica trabajos originales, nunca antes editados o difundidos en otras revistas, libros, congresos, seminarios, etc. Queda establecido un sistema de arbitraje para la selección de artículos que se publican en cada número mediante dos revisores externos - sistema doble ciego - siguiendo los criterios habituales establecidos para las publicaciones científicas seriadas. La Revista FIGEMPA admite propuestas redactadas en español e inglés. Los títulos, resúmenes y palabras clave se publican también en lengua inglesa. La revista dedica su mayor parte a artículos de investigación, y posee también apartados dedicados a artículos de opinión, editoriales, reseñas bibliográficas. Va dirigida a profesionales de ciencias de la tierra, ingenierías, tecnologías, innovación, seguridad, investigación científica, investigadores y profesionales relacionados con la práctica y la teoría. A partir de 2016 ha iniciado una nueva etapa, con una dirección y comité editorial renovados, así como un comité científico de especialistas de reconocido prestigio, constituido por investigadores pertenecientes a universidades ecuatorianas, latinoamericanas, estadounidenses y europeas. La nueva gestión editorial, el envío y recepción de originales, su revisión y edición, se lleva a cabo mediante la plataforma digital OPEN JOURNAL SYSTEMS (OJS).

El Comité Editorial de la revista FIGEMPA: investigación y desarrollo, una vez comprobado que el artículo cumple con las normas relativas a estilo y contenido indicadas en las normas a los autores para la presentación de originales, lo enviará a dos expertos revisores anónimos y ajenos al Comité Editorial, según el modelo doble ciego.

La valoración incidirá en el interés del artículo, su contribución al conocimiento del tema tratado, las novedades

aportadas, la corrección de las relaciones establecidas, el juicio crítico desarrollado, los referentes bibliográficos manejados, su correcta redacción, el uso ético de la información, etc., indicando recomendaciones, si las hubiera, para su posible mejora.

Basándose en las recomendaciones de los revisores, el editor de la revista comunicará a los autores el resultado motivado de la evaluación por correo electrónico, en la dirección que estos hayan utilizado para enviar el artículo. El editor comunicará al autor principal el resultado de la revisión (publicación sin cambios; publicación con correcciones; no aconsejable para su publicación), así como las observaciones y comentarios de los revisores.

Si el manuscrito ha sido aceptado con modificaciones, los autores deberán reenviar una nueva versión del artículo, atendiendo a las demandas y sugerencias de los evaluadores externos.

Los artículos con correcciones importantes podrán ser remitidos al Comité Editorial para verificar la validez de las modificaciones efectuadas por el autor.

Atendiendo al grado de cumplimiento de las modificaciones solicitadas, el Comité Científico se pronunciará sobre si procede o no la publicación del artículo.

La decisión final será tomada por los miembros del Comité Editorial. Dicha decisión será comunicada al autor por el editor de la revista.