

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

# FIGMPA

Vol.1 | N.º 2 | ISSN-i 1390-7042 | ISSN-e 2602-8484



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL

Diciembre, 2020

## **AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**

RECTOR Dr. Fernando Sempértegui Ontaneda, Ph. D.  
VICERRECTOR ACADÉMICO Y DE POSGRADO Dra. María Augusta Espín, Ph. D.  
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN, DOCTORADOS E INNOVACIÓN Dra. María Mercedes Gavilánez, Ph. D.  
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO Y FINANCIERO Econ. Marco Posso Zumárraga  
SECRETARIA GENERAL Dra. Paulina Armendáriz de Estrella  
PROCURADOR Dr. Ramiro Acosta Cerón

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN Christian Echeverría  
PORTADA Marco González  
CORRECCIÓN DE ESTILO Juan Solano Mora  
IMPRESIÓN Editorial Universitaria

Año 2020, VOL. 1, N.º 2  
Frecuencia: semestral  
ISSN-i 1390-7042  
ISSN-e 2602-8484  
Año de inicio: 2000  
Idioma: español  
revista.figempa@uce.edu.ec  
<https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/RevFIG>  
Ciudadela Universitaria, calle Jerónimo Leyton y Gatto Sobral  
+593 2 2550 588 / 2566-226 ext. 118 / +593 9 98776225

## **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 las universidades 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 al Aprovechamiento Sustentable de los Recursos Naturales No Renovables. Es un espacio interdisciplinario de discusión tanto en aspectos teóricos como de aplicación en las áreas indicadas. Los criterios vertidos en los artículos son de estricta responsabilidad de sus autores. El pensamiento de la revista se expresa en el editorial.

## **EN LA PORTADA**

Aproximándonos al año de la lucha contra el SARS-COV-2 causante de la covid-19, es principal prioridad de todos los países —ya que se percibe como una de las principales amenazas para la humanidad— adoptar un enfoque de salud planetaria para evitar otros riesgos potenciales que puedan surgir de ella; debemos tener una mejor comprensión de que la salud y la civilización dependen de los sistemas naturales; debemos proteger nuestro entorno y administrar sabiamente los recursos que nos prodiga nuestra Madre Tierra, es una estrategia esencial para evitar mayores crisis en el futuro. Los recursos naturales garantizan una vida saludable del planeta, replanteando la protección ambiental, determinando las áreas protegidas en un escenario poscovid-19 como parte de la agenda para el desarrollo y enfrentar los desafíos venideros. No dejemos que los virus silenciosos ataquen nuestros cimientos; las universidades —y en particular la FIGEMPA— asumen el compromiso ético, moral, científico e investigativo en formar profesionales capacitados científica y tecnológicamente para entender la importancia de las ciencias de la Tierra, de los recursos naturales y de cómo enfrentar los desafíos futuros.

## CUERPO EDITORIAL

### CONSEJO EDITORIAL

Gustavo Pinto Arteaga Director-Editor General	Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental-UCE grpinto@uce.edu.ec
Félix Andueza Leal Asesor Científico	Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental-UCE fdandueza@uce.edu.ec
Carolina Bernal Carrera Coordinadora Minas	Escuela Politécnica Nacional isabel.bernal@epn.edu.ec
Susana Cadena Vela Asesora Tecnológica	Facultad de Ciencias Administrativas-UCE scadena@uce.edu.ec
Miguel Cazorla Quevedo Coordinador Tecnología	Universidad de Alicante-España miguel.cazorla@ua.es
Arturo Egüez Delgado Coordinador Geología	Escuela Politécnica Nacional arturo.eguez@epn.edu.ec
Ernesto de la Torre Chauvín Coordinador Procesos	Escuela Politécnica Nacional ernesto.delatorre@epn.edu.ec
Gerardo Medina Ramírez Asesor Científico	Universidad de los Andes-Venezuela medinag47@gmail.com
Alicia Ramírez Orellana Economista en Energía	Universidad de Almería-España aramirez@ual.es
Ovadia Shoham Asesor en Hidrocarburos	Universidad de Tulsa-USA ovadia-shoham@utulsa.edu
Juan Solano Mora Secretario de Redacción	Consultor-Ecuador solmor37@hotmail.com
Francisco Viteri Santamaría Editor Asociado	Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental-UCE frviteri@uce.edu.ec
Johnny Zambrano Coordinador Hidrocarburos	Escuela Politécnica Nacional johnny.zambrano@epn.edu.ec

### COMITÉ DE ÉTICA

Gustavo Pinto Arteaga	Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental-UCE grpinto@uce.edu.ec
Marco González Escudero	Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental-UCE magonzaleze@uce.edu.ec
Jorge Ortiz Herrera	Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental-UCE jdortiz@uce.edu.ec
Susana Cadena Vela	Facultad de Ciencias Administrativas-UCE scadena@uce.edu.ec
Xavier Lastra Bravo	Facultad de Ciencias Agrícolas-UCE xblastra@uce.edu.ec

### COMITÉ EDITOR

Marco González Escudero	Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental-UCE magonzaleze@uce.edu.ec
Christian Ortiz Villarreal	Consultor Independiente khryss2406@gmail.com
Gabriel Armas Arroba	Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental-UCE ggarmas@uce.edu.ec

### COMITÉ CIENTÍFICO

Ernesto de la Torre	Escuela Politécnica Nacional ernesto.delatorre@epn.edu.ec
Johnny Zambrano	Escuela Politécnica Nacional johnny.zambrano@epn.edu.ec
Carolina Bernal Carrera	Escuela Politécnica Nacional isabel.bernal@epn.edu.ec
Boroshilv Castro Merizalde	Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemáticas-UCE gbcastro@uce.edu.ec
Fernando Novillo Logroño	Facultad Ciencias Químicas-UCE fnovillo@uce.edu.ec

Alberto Castillo Consultor-Ecuador  
ajcastillo@uce.edu.ec

Ovadia Shoham Tulsa University-USA  
ovadia-shoham@utulsa.edu

Félix Andueza Leal Facultad de Ingeniería en Geología, Minas,  
Petróleos y Ambiental-UCE  
fdandueza@uce.edu.ec

Jorge Ortiz Herrera Facultad de Ingeniería en Geología, Minas,  
Petróleos y Ambiental-UCE  
jdortiz@uce.edu.ec

#### **COMITÉ ASESOR**

Susana Cadena Vela Facultad de Ciencias Administrativas-UCE  
scadena@uce.edu.ec

Carolina Bernal Carrera Escuela Politécnica Nacional  
isabel.bernal@epn.edu.ec

Manuel Cazorla Universidad de Alicante-España  
miguel.cazorla@ua.es

Daniel Philco Consultor  
danelo99@yahoo.ca

Fernando Reyes Cisneros Consultor  
rrramirofer9@gmail.com

#### **COMITÉ INTERNACIONAL**

Octavio Islas Tecnológico de Monterrey-México  
joseoctavio.islas@gmail.com

Neil Banerjee Western University-Canadá  
neil.banerjee@uwo.ca

Viviana Sánchez Torres Universidad Industrial de Santander-Colombia  
visantor@uis.edu.co

Juan José del Valle J3M Global-España  
jjdelvalle@j3mglobal.com

Ovadia Shoham Tulsa University-USA  
os@utulsa.edu

José Anderez Álvarez Universidad de los Andes-Venezuela  
anderezalvarez@gmail.com

Gerardo Medina Universidad de los Andes-Venezuela  
medinag47@gmail.com

Luz María Castañeda de León Universidad Nacional Autónoma de México  
luzcast@unam.mx

**EVALUADORES PARES INTERNOS (FIGEMPA)**

Marlon Ponce Zambrano mrponce@uce.edu.ec  
Carlos Ordoñez Campain cordonez@uce.edu.ec  
Luis Villacís Buenaño lfwillacis@uce.edu.ec  
Galo Albán Soria gfalban@uce.edu.ec  
Gustavo Pinto Arteaga grpinto@uce.edu.ec  
Bolívar Enríquez Vallejo bgenriquez@uce.edu.ec  
Nelson Suquilanda Duque nhsuquilanda@uce.edu.ec  
Marcelo Llerena Carrera marcelollerenc@gmail.com  
Fernando Lucero Calvache falucero@uce.edu.ec  
David Carrera Villacrés dvcarrera@uce.edu.ec  
Susana Arciniegas Ortega srarciniegas@uce.edu.ec  
Ramiro Guerrón Varela erguerron@uce.edu.ec  
César Chávez Orozco cachavezo@uce.edu.ec  
Félix Andueza Leal fdandueza@uce.edu.ec  
Jorge Bustillos Arequipa jebustillos@uce.edu.ec  
Gorky Ruiz Paspuel agruizp@uce.edu.ec  
Francisco Viteri Santamaría frviteri@uce.edu.ec  
José Cóndor Tarco jacondorc@uce.edu.ec  
Richard Torres Villacís rhtorres@uce.edu.ec  
Diana Fabara Salazar dkfabara@uce.edu.ec  
Danny Burbano Morillo dsburbano@uce.edu.ec

**EVALUADORES PARES EXTERNOS**

Antonio García Amate Universidad de Almería-España  
aga237@inlumine.ual.es

Jorge Erazo B. Consultor  
jorgeerazob@yahoo.com

Fernando Novillo Facultad de Ciencias Químicas-UCE  
fnovillo@uce.edu.ec

Johnny Zambrano Escuela Politécnica Nacional  
johnny.zambrano@epn.edu.ec

Carolina Bernal	Escuela Politécnica Nacional isabel.bernal@epn.edu.ec
Marco Rosero	Facultad de Ingeniería Química-UCE mvrosoero@uce.edu.ec
Miguel Cazorla	Universidad de Alicante-España miguel.cazorla@ua.es
Luis Mejía Vallejo	Consultor luismejiavallejo@gmail.com
Christian Vallejo	Consultor cristian.vallejo@geostrats.com
Jaime Gutiérrez	Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemáticas-UCE jhgutierrez@uce.edu.ec
Daniel Philco C.	Consultor danelo99@yahoo.ca
Boroshilv Castro	Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemáticas-UCE gbcm_2006@yahoo.com
Alberto Castillo	Consultor ajcastillo@uce.edu.ec
Ernesto de la Torre	Escuela Politécnica Nacional ernesto.delatorre@epn.edu.ec
Pablo Djabayan	Universidad Nacional de Chimborazo, UNACH pdjabayan@gmail.com
Gerardo Medina	Universidad de los Andes-Venezuela medinag47@gmail.com
Pedro Almagro	Grupo de Modelado de Sistemas Complejo palmagro@uce.edu.ec
Roberth Enríquez	Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemáticas-UCE renriquez@uce.edu.ec
Moisés Logroño	Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación-UCE rlogrono@uce.edu.ec
Fabián Rodríguez	Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE ffrodriguez3@espe.edu.ec
Lucía Jiménez	Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE lejimenez@espe.edu.ec

Sabino Menolasina	Universidad de los Andes-Venezuela menolasina1960@gmail.com
Edwin León	INIGEMM edwin.leon@geoinvestigacion.gob.ec
Bernardo Brito	Consultor bernardo.brito@geostrats.com
Jorge Viteri Moya	Facultad de Ingeniería Química-UCE jrviteri@uce.edu.ec
Ana Gabriela Haro	Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE agharo@espe.edu.ec
Pablo Caiza Sánchez	Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE pecaiza1@espe.edu.ec
Carlos Ortega Tejada	Facultad de Ciencias Agrícolas-UCE caortega@uce.edu.ec
Maggy Díaz A.	Facultad de Ciencias Agrícolas-UCE madiaz@uce.edu.ec
Xavier Lastra Bravo	Facultad de Ciencias Agrícolas-UCE xblastra@uce.edu.ec
Antonio Rea Toapanta	Facultad de Ciencias Económicas-UCE Arrea@uce.edu.ec
Jenny Martínez	Facultad de Cultura Física-UCE jemartinez@uce.edu.ec
Diego Jaya	Consultor independiente dyajafierro@hotmail.com
Elvia Victoria Cabrera	Facultad Ingeniería Química-UCE evcabreram@uce.edu.ec
Edward Jiménez	Facultad Ingeniería Química-UCE ehjimenez@uce.edu.ec
Andrés Cevallos	Facultad de Arquitectura-UCE lacevalloss@uce.edu.ec
José Rodas Cabrera	Petroamazonas jrodasster@gmail.com
Fernando Reyes Cisneros	Consultor rrramirofer9@gmail.com
Danilo García Cáceres	Facultad de Jurisprudencia dvgarciac@uce.edu.ec

## VALORES Y PRINCIPIOS

### COMPASIÓN

Es un valor humano que conjuga la empatía y la comprensión hacia el sufrimiento de los demás, que exige una práctica, una forma de actuación permanente que en la pandemia que nos afecta, contribuya a superar la fase puramente instintiva y egoísta de la propia supervivencia.

### COMPROMISO

Es la capacidad que tiene el ser humano para tomar conciencia de la importancia de cumplir sus decisiones a cabalidad. Considerado como un valor deseable, que tiene implicaciones tanto en la actitud como en el comportamiento de las personas y que les permite voluntariamente realizar considerables esfuerzos en beneficio suyo y de los demás; enfatizando que el compromiso alude, entre otras cosas, a dedicación, adhesión a los objetivos, una profunda preocupación por los demás, conciencia de la responsabilidad y un alto grado de humanismo.

### RECIPROCIDAD

Un valor social que invita al crecimiento personal, ser agradecido y retribuir eso que se recibió para la misma persona u otra, garantizando los recursos en un momento determinado. La pandemia urge a repensarnos y a saber que «el cambio que deseamos ver en el mundo debemos realizarlo nosotros mismos» (Gandhi).

### COOPERACIÓN

Consiste en el trabajo en común llevado a cabo por parte de un grupo de personas o entidades mayores hacia un objetivo compartido. El trabajo cooperativo no compite, sino que suma fuerzas hacia el objetivo.

## ÍNDICE

II	Autoridades
III	Cuerpo editorial
IX	Valores y principios
XI	Editorial
12	Análisis sobre la renegociación de contratos prestación de servicios a participación
16	Prospecto minero La Esperanza, nuevos indicios de un pórfido de Cu-Mo-Au, Sigchos-Cotopaxi
24	Estudio experimental de aplicación de SAGD convencional vs. SAGD con uso de aditivos (CO <sub>2</sub> y enzima) para la recuperación de crudo extrapesado del campo Pungarayacu
32	Gobierno digital en América Latina: ¿un reto de la gestión pública de gobierno abierto?
42	Recuperación de oro mediante concentración gravimétrica utilizando concentradores tipo Z en el distrito minero Zamora-Ecuador
50	Análisis de costos operativos en pequeña minería y minería artesanal en Nambija
61	Arquitectura estratigráfica de terrazas aluviales en el río Yunganza
72	Análisis de factores de riesgo ambiental en la relavera comunitaria El Tablón, cantón Portovelo, provincia de El Oro
83	Instrucciones sobre presentación de artículos

**Gustavo Pinto**

Director Editor general de la revista FIGEMPA  
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

**PANDEMIA Y RECURSOS NATURALES**

El impacto que la pandemia por covid-19 ha producido a nivel mundial y en nuestro Ecuador en los ámbitos social, económico y sanitario, es incalculable, sin embargo, hay un tema que debe considerarse en todo análisis que busque acercarse a la realidad de la crisis y a la propuesta de soluciones a la misma y éste es el aprovechamiento de los recursos naturales, pues está estrechamente ligado a la salud y a la reactivación económica.

Mucho se ha dicho ya acerca de las medidas adoptadas por los gobiernos a fin de contener la pandemia, pero la relación de la crisis sanitaria y económica con los recursos naturales ha sido poco abordada, a pesar de la importancia de esta relación: un adecuado aprovechamiento de los recursos naturales es indispensable para superar la crisis, pues de éstos dependen varias áreas esenciales y sensibles tales como alimentación, servicios básicos, industria, biodiversidad, etc. Desde una visión práctica, el agua es indispensable en la contención del virus, pues el lavado de manos es una de las principales medidas para lograrlo, así como el acceso a la energía que garantiza una mejor calidad de vida y asegura el adecuado funcionamiento de los hospitales y de las industrias productoras de alimentos, y de igual manera de la actividad agrícola. No cabe duda, por tanto, de la importancia de la adecuada explotación de recursos naturales para la economía y desarrollo social de los países.

Es por ello que los gobiernos deben tener en cuenta el impacto que pueden tener en los recursos naturales las medidas adoptadas en la lucha contra la covid-19, pues como ya hemos visto, esto influye directamente en la dinámica social y económica, afectando principalmente a los sectores más vulnerables de la población y en la capacidad de respuesta de los países a la crisis, contribuyendo al aumento de la pobreza y a que el número de contagiados y fallecidos por la enfermedad vaya en aumento.

Por tanto, la conservación de la biodiversidad y un adecuado aprovechamiento de los recursos naturales son necesarios para proteger la salud humana y mantener una calidad de vida digna, por lo que la atención de los gobiernos debe centrarse en estrategias de reactivación económica que garanticen la explotación responsable cuyo principal beneficiario debe ser el Estado ecuatoriano y el acceso equitativo a los recursos de toda la población, sin dejar de lado el compromiso con el medio ambiente y las futuras generaciones.



## ANÁLISIS SOBRE LA RENEGOCIACIÓN DE CONTRATOS PRESTACIÓN DE SERVICIOS A PARTICIPACIÓN

Recibido: 05 de agosto del 2020  
Aprobado: 18 de diciembre de 2020  
ARTÍCULO DE OPINIÓN  
DOI: 10.29166/revfig.v1i2.2482

Luis Arauz J.

### ANTECEDENTES

La renegociación de los contratos petroleros de Participación a Prestación de Servicios, fueron firmados a principios del 2011 para una vigencia que varía de 5 a 18 años, según el caso. Las compañías que renegociaron los contratos fueron: Andes Petroleum Ecuador LTD., PetroOriental S.A., Agip, Enap-Sippec, Petrobell, Consorcio Pegaso, Petrosud, Tecpecuador y Repsol.

Las tarifas renegociadas (ver Tabla 1) con base en una tarifa equivalente<sup>1</sup> en USD/Bl variaban de 15,47 a 71,00 USD/Bl y un promedio global de 33,09 USD/Bl. Las nuevas tarifas renegociadas varían de 16,72 a 58,00 USD/Bl y un promedio global de 31,84 USD/Bl, con inversiones comprometidas de 1385 MMUSD y un precio WTI referencial de 90,00 USD/Bl (Ministerio de Recursos Naturales No Renovables).

El precio promedio del crudo ecuatoriano para la cesta de los crudos Oriente y Napo durante los años 2007-2016 y la producción anual de petróleo de las compañías fueron los siguientes (ver Tabla 2).

En los contratos de Prestación de Servicios renegociados se incluyó la cláusula de Soberanía, mediante la cual el Estado ecuatoriano, se reserva el derecho de pagar sus obligaciones (tarifa) a la contratista, con el remanente que se obtenga de la venta del petróleo y no pagar los valores acumulados hasta la finalización o terminación de los plazos de los respectivos contratos (en el caso de no tener recursos económicos suficientes para cubrir sus obligaciones por la caída internacional de los precios del petróleo) (ver Tabla 3).

### CONCLUSIONES

Las tarifas renegociadas en esencia se mantuvieron iguales, tanto para los contratos de Participación como para los contratos de Prestación de Servicios.

Las corridas económicas para determinar las tarifas equivalentes fueron realizadas por la Secretaría de Hidrocarburos y no se hicieron públicas. Las inver-

siones que comprometieron las empresas petroleras en las negociaciones fueron sobrevaloradas, como se puede confirmar en los adjuntos de cada contrato firmado.

La validez de los contratos de Participación a contratos de Prestación de Servicios, en la mayoría de los casos se extendieron a plazos de hasta 18 años.

En los contratos renegociados se establecieron nuevos compromisos de inversión y se redujeron las actividades a ejecutar, con lo cual se liberó a las compañías de las obligaciones de inversión que en los contratos de Participación tenían que hacer para todo el bloque, disminuyendo de esta manera el riesgo de las compañías.

Las compañías perdieron el porcentaje de participación a cambio de una tarifa y asumieron el compromiso de incrementar la producción de cada bloque en función de las nuevas inversiones comprometidas.

Las compañías incrementaron el factor de riesgo de las nuevas inversiones y costos de producción al aceptar la inclusión la cláusula de Soberanía.

El incremento de los riesgos de las compañías en los nuevos contratos de Participación, fueron compensados por el Estado con tarifas altas.

Las compañías negociaron una cláusula en las que se incluyen empresas de servicios asociadas de renombre internacional (transnacionales) a pretexto de garantizar una óptima operación, cuando el objetivo fue garantizar los precios altos de los servicios y excluir a las empresas de servicios nacionales como en efecto ocurrió.

En la práctica, las compañías no asumieron todo el riesgo porque redujeron los volúmenes de producción, como se muestra en el cuadro de precios promedio del crudo ecuatoriano y los volúmenes de producción entregados al Estado a partir del 2011 (en el año 2011 en que se concretó la renegociación de los contratos), las compañías redujeron un 23% de la producción con respecto al año 2010 (ver Tabla 2). A diciembre del

**Tabla 1.** Comparativo de tarifas. Renegociación de contratos de participación a prestación de servicios

Ítem	Compañía	Campo	Tarifa equivalente USD/BI	Nueva tarifa USD/BI	Diferencia USD/BI
1	Andes	Tarapoa	35,16	35	-0,16
2	PetroOriental	Bloque 14	41,44	41	-0,44
		Bloque 17	43,39	41	-2,39
3	Agip	Bloque 10	47,07	35	-12,07
4	Repsol	Bloque 16	33,22	35,95	2,73
		Tivacuno	29	27,25	-1,75
5	Enap	mdc	16,29	16,72	0,43
		pbh	19,93	20,77	0,84
6	Petrobell	Tigüino	30,87	29,6	-1,27
		Ancón	71	58	-13
7	Consocio Pegaso	Puma	15,47	21,1	5,63
8	Petrosud	Palanda	33,21	31,9	-1,31
		Pindo	25,98	28,5	2,52
9	Tecpecuador	Bermejo	21,26	24	2,74
Promedio			33,09	31,84	-1,25

**Fuente:** Informe del Ministerio de Recursos Naturales No Renovables (2011).

**Tabla 2.** Precio promedio del petróleo y producción de las compañías 2007-2016

Año	Cesta Napo/Oriente (USD/BI)	Producción empresas privadas (miles barriles)	Declinación anual de la producción (%)
2007	60,23	92.213	-
2008	83,38	87.157	5
2009	53,43	74.647	14
2010	72,16	67.478	10
2011	97,68	51.829	23
2012	98,5	50.667	2
2013	95,87	47.198	7
2014	84,32	45.166	4
2015	43,43	43.992	3
2016	34,41	42.593	3

**Fuente:** Banco Central del Ecuador (datos de la cesta y producción).

**Tabla 3.** Vigencia de contratos de prestación de servicios

Ítem	Empresa	Nombre bloque	N.º bloque	Vigencia años	Fecha efectiva	Fecha límite
1	Agip Oil Ecuador	Villano	10	12	1/1/2011	12/31/2023
2	Andes Petroleum Ecuador Ltd.	Tarapoa	62	15	1/1/2011	12/31/2025
3	Consortio Pegaso	Puma	45	18	1/21/2011	3/27/2028
4	Enap Sipetrol s.a.	mdc	47	15	11/23/2010	12/31/2025
5	Petróleos del Pacífico S. A.	Gustavo Galindo	2		1/22/2011	No hay información
6	Petrobell y Grantmining S. A.	Tigüino	66	5	1/22/2011	3/31/2016
7	PetroOriental S. A. y otros	Coca-Payamino	17	8	11/23/2010	12/23/2018
8	PetroOriental s.a. y otros	Nantu	14	8	11/23/2010	7/21/2018
9	Petrosud y otros	Palanda-Yuca Sur	64	8	1/22/2011	6/30/2019
10	Petrosud y otros	Pindo	65	8	1/22/2011	7/30/2019
11	Repsol-YPF Ecuador S. A. y otros	Iro	16	8	11/23/2010	12/31/2018
12	Repsol-YPF Ecuador S. A. y otros	Tivacuno	67	8	11/23/2010	12/31/2018
13	Tecpecuador S. A.	Bermejo	49	8	1/22/2011	7/30/2019

**Tabla 4.** Precios promedio del crudo ecuatoriano y del mercado internacional (USD por barril)

Período	Crudo Oriente	Crudo Napo (2)	Cesta Oriente y Napo (3)	Cesta Referencial Opep (4)	Petróleo WTI (5)	Petróleo Brent (6)	Crudo Urals (7)
2011	98,88	95,11	97,65	107,44	95,03	111,33	109,15
2012	99,49	96,44	98,5	109,5	94,15	111,63	110,5
2013	97,36	92,91	95,87	105,94	97,87	108,69	108,05
2014	85,81	81,58	84,32	96,19	93,17	99	98,01
2015	43,44	39,22	42,17	49,52	48,74	52,44	51,94
2016	37,17	31,72	35,25	40,68	43,21	43,69	42,09
2017	47,35	43,09	45,84	52,43	50,91	54,25	53,35
2018	63,2	57,19	60,91	69,52	64,9	70,94	69,86

(1) Precio promedio ponderado del crudo Oriente exportado por EP Petroecuador. Crudo mediano de 23 grados API promedio y un contenido de azufre de 1,45%. (2) Precio promedio ponderado del crudo Napo exportado por ep Petroecuador. Crudo pesado entre 18 y 21 grados api y un contenido de azufre de 2,10%. **Fuente:** Estadísticas del Banco Central del Ecuador.

2016 la producción de las compañías cayó en un 50% comparado con la producción del 2007.

Los riesgos asumidos en la renegociación de los contratos por parte del Estado, generaron pérdidas económicas cuantiosas (falta determinar las cifras) para el país.

Por un lado, el Estado ecuatoriano pierde con la caída internacional de precios del petróleo y la reducción de la producción de las compañías y, a su vez, las compañías se ven beneficiadas con tarifas altas sin asumir ningún riesgo.

La aplicación de la cláusula de Soberanía que asumieron las compañías en los respectivos contratos no ha surtido efecto hasta la presente. Por el contrario, para mayo del 2017 el Gobierno anterior renovó algunos contratos que estaban por vencer, como por ejemplo (ver Tabla 3): Petrobell y Granmining S.A., para el bloque 66; PetroOriental y otros para los bloques 14 y 17; Petrosud para los bloques 64 y 65; Repsol-YPF Ecuador S.A. y otros para los bloques 16 y 67, con lo cual el Estado perdió la oportunidad de aplicar la cláusula de Soberanía, produciéndose un nuevo perjuicio económico.

La renegociación de los contratos de Participación a Prestación de Servicios se lo realizó con un precio de petróleo referencial de 90 USD/Bl, y una tarifa promedio de 31,84 USD/Bl, que a la época de la negociación sustentaba el equilibrio económico del contrato. El precio promedio del barril de petróleo ecuatoriano en el mercado internacional desde el año 2014 al 2018, según estadísticas del Banco Central del Ecuador, están por debajo del precio referencial de 90 USD/Bl que sirvió de base para la renegociación (ver Tabla 4). La tendencia de los precios del petróleo internacional se ha mantenido en estos dos últimos años por debajo de los 90 USD/Bl para el petróleo ecuatoriano.

## **PROPUESTA**

La caída sostenida de los precios internacionales del petróleo desde el 2014 ha roto el equilibrio económico de los contratos de Prestación de Servicios, volviéndolos económicamente insostenibles en el tiempo.

Los contratos de Prestación de Servicios contienen una cláusula de terminación y caducidad del contrato y una subcláusula que establece la terminación por acuerdo entre las partes. Su aplicación se vuelve imperativa para el Estado ecuatoriano, para evitar seguir incrementando deudas.

Otra alternativa es renegociar los contratos de Prestación de Servicios vigentes a contratos de Participación de manera urgente, con el propósito de reducir los riesgos asumidos por el Estado y aumentar la certeza de ingresos para las partes.

Una de las formas de reducir los riesgos es volver a los contratos de Participación, estableciendo un mínimo porcentaje de participación de la producción, así como una participación equitativa de las partes, en función de los precios internacionales del crudo ecuatoriano.

## **NOTA**

1. Para la renegociación de los contratos de Participación a Prestación de Servicios, la Secretaria de Hidrocarburos estableció la Tarifa Equivalente que correspondía al mismo porcentaje que tenían las compañías en los contratos de Participación.



**PROSPECTO MINERO LA ESPERANZA, NUEVOS INDICIOS DE UN PÓRFIDO DE CU-MO-AU, SIGCHOS-COTOPAXI**

**La Esperanza mining prospect, new indications of a Cu-Mo-Au porphyry, Sigchos-Cotopaxi**

Milton Reinoso Mena  
Instituto de Investigación Geológico y Energético  
milton.reinoso@geoenergia.gob.ec

Ricardo Andrade Terán  
Instituto de Investigación Geológico y Energético  
ricardo.andrade@geoenergia.gob.ec  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7417-8237>

Washington Lomas Zumba  
Instituto de Investigación Geológico y Energético  
washington.lomas@geoenergia.gob.ec  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0707-1528>

Marcos Gallardo Inga  
Instituto de Investigación Geológico y Energético  
marcos.gallardo@geoenergia.gob.ec

Franco Pinzón Rivas  
Instituto de Investigación Geológico y Energético  
franco.pinzon@geoenergia.gob.ec  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4493-1785>

Recibido: 07 de abril de 2020  
Aprobado: 18 de diciembre de 2020  
ARTÍCULO ORIGINAL  
DOI: 10.29166/REVFIG.V112.2209

**RESUMEN**

La investigación presenta datos relacionados a un nuevo pórfido localizado en la parte centro-norte de la cordillera Occidental, al norte de Ecuador, sector La Cocha de San Isidro, cantón Sigchos. La geología del área corresponde a rocas volcano-sedimentarias, lavas andesíticas de corteza oceánica atribuidas a la Formación Macuchi del Eoceno. Presenta intrusiones terciarias tipo: tonalitas, dioritas y granodioritas que están relacionadas con la mineralización. Para la identificación de este prospecto, se realizó una reinterpretación y tratamiento estadístico de datos geoquímicos de sedimentos fluviales históricos y muestras de roca de afloramientos en drenajes de primero y segundo orden; identificando anomalías de cobre, molibdeno, oro y plata. En el área de estudio se han identificado tres zonas similares de interés mineral denominadas San Isidro, San Miguelito y La Chala, relacionadas a intrusivos dioríticos, cuarzo-dioríticos y tonalíticos, que presenta una fuerte silicificación, alteración propilítica y alteración potásica local relacionada al núcleo del sistema, asociadas a fases de stockwork de Qz + sulfuros. Se reportan valores importantes en cobre de hasta 0,43%; en molibdeno 0,04%, y en oro hasta 0,86 g/t. Con base en los datos geológicos y en los resultados de laboratorio de las muestras, se puede interpretar que estas zonas corresponden a un depósito tipo pórfido cobre-molibdeno-oro.

**ABSTRACT**

The investigation presents data related to new porphyry located in the north-central part of the Western Cordillera, north of Ecuador, La Cocha de San Isidro sector, Sigchos Canton. The geology of the area corresponds to volcano-sedimentary rocks, andesitic lavas of oceanic crust attributed to the Macuchi Formation of the Eocene. It presents tertiary intrusions type: tonalites, diorites and granodiorites related with the mineralization. For the identification of this prospect, a statistical reinterpretation and treatment of geochemical data of historical river sediments and rock samples from outcrops in first and second order drains was performed; identifying anomalies of copper, molybdenum, gold and silver. In the study area, I have identified similar three areas of mineral interest called San Isidro, San Miguelito and La Chala, related to dioritic, quartz-dioritic and tonalitic intrusives, which presents strong silicification and

**PALABRAS CLAVE** Pórfido, Sigchos, alteración hidrotermal, minerales económicos.

**KEYWORDS** Porphyry, Sigchos, hydrothermal alteration, economic minerals.

propylic alteration, local potassium alteration in the core of system, associated with stockwork phases of Qz + sulfides. Important copper values of up to 0.43% are reported; in molybdenum 0.04%, and in gold up to 0.86 g / t. Based on the geological data and laboratory results of the samples, it can be interpreted that these areas correspond to a copper-molybdenum-gold porphyry deposit.

## INTRODUCCIÓN

La geología de la cordillera Occidental (CO) está dominada por una sucesión de eventos de colisión de terrenos alóctonos (plataforma marina y dorsal oceánica) contra la placa continental sudamericana, donde se pueden identificar rocas volcano-sedimentarias, lavas andesíticas de la Formación Macuchi de edad Eocénica (Vallejo, 2007). Intrusiones terciarias posteriores están presentes en este sector: tonalitas, dioritas y granodioritas que son las rocas responsables de la mineralización (Feininger, 1980; Goossens y Rose, 1973; Jaillard *et al.*, 1995).

Desde el Jurásico tardío se piensa en una creciente acreción de variados terrenos oceánicos y continentales, modificada por zonas de falla/sutura con rumbo NNE y movimiento dextral transcurrente. La sutura y subducción de la corteza oceánica y sus plataformas y arcos superpuestos ocurrieron durante el Jurásico, en el Cretácico medio a tardío y en el Terciario temprano (Litherland *et al.*, 1994). La litoestratigrafía del sector se halla en gran parte ocupada por terrenos acrecionados, compuestos por secuencias sedimentarias y lavas basálticas a andesíticas de la Unidad Macuchi (Boland, Pilatasig, Ibadango, McCourt, Aspden, Hughes y Beate, 2000); además secuencias de capas finas a medias de limolitas negras y argilitas, intercaladas con areniscas de grano grueso de la Formación Apagua (Egüez y Bourgois, 1986). Estos grupos litológicos se encuentran intruidos por rocas magmáticas de composición calcoalcalina, como granodioritas y dioritas, rocas que en amplios sectores presentan alteración hidrotermal y son favorables para alojar la mineralización.

Los sistemas de pórfido Cu albergan diferentes tipos de mineralización que son ampliamente distribuidos en los límites de placas convergentes, definiendo cinturones lineales de algunos cientos de kilómetros de largo. La alteración y mineralización en estos sistemas, ocupan muchos kilómetros, dividiéndose hacia afuera en stocks o enjambres de diques, que comprenden varias generaciones de intrusiones de pórfido intermedio a félsico (Sillitoe, 2010).

Schütte *et al.* (2012) manifiestan que los pórfidos de Cu en Ecuador, están relacionados con unidades geológicas de basamento profundas y con pulsos intrusivos precursores a escala batolítica; unos pocos

depósitos del Mioceno ocurren en el centro-norte de Ecuador; la mayoría de los pórfidos de la CO se los ha definido en un cinturón metalogénico del Mioceno, la mayoría de estos depósitos se localizan al sur de Ecuador.

El Instituto Ecuatoriano de Minería (INEMIN) y Metal Mining Agency of Japan (MMAJ) realizaron las primeras investigaciones en el proyecto denominado Insilivi, donde se identificaron los primeros indicios de mineralización en el sector La Chala; reportando valores de cobre-molibdeno: Cu 0.17%; Mo 0.02% (MMAJ, 1987).

Mediante los estudios realizados en el «Proyecto de investigación geológica y disponibilidad de ocurrencias minerales en el territorio ecuatoriano», que se encuentra desarrollando el Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), se definió una zona prospectiva denominada «La Esperanza», que tiene como objetivo identificar los principales targets de mineralización relacionados a pórfidos de cobre con potencial para desarrollar un posible depósito de interés económico.

## MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La evolución geotectónica del Ecuador, siguiendo el rompimiento de la placa Farallón en las placas Cocos y Nazca, alrededor de 26 Ma (Somoza, 1998), ha sido dominada por la subducción hacia el este de la placa Nazca y el desarrollo asociado en el Neógeno de volcanes de tipo arco continental, construidos predominantemente sobre la asociación de terrenos acrecionados (Litherland *et al.*, 1994).

La cordillera Occidental (CO) está formada por bloques alóctonos acrecionados a la placa continental sudamericana durante el Cretácico tardío y el Terciario temprano, con desplazamientos transcurrentes a lo largo de fallas norte-sur (Vallejo *et al.*, 2009). En la zona centro-norte de la cordillera Occidental, durante el Paleoceno al Eoceno en el borde oriental de los terrenos oceánicos, fueron depositadas rocas siliciclásticas del grupo Angamarca constituido por las formaciones geológicas (Saquisilí, Apagua y Rumi Cruz), que recibieron aportes de rocas de la cordillera Oriental en proceso de levantamiento. Hacia el oeste de la CO la Unidad Macuchi fue depositada en un ambiente de volcanismo submarino, y es contem-

poránea con la depositación del grupo Angamarca (Vallejo, 2007).

La litoestratigrafía al este de Sigchos, en los sectores de San Isidro, San Miguelito y La Chala (Figuras 1 y 2), corresponde a terrenos acrecionados compuestos por secuencias sedimentarias y lavas basálticas a andesíticas de la Unidad Macuchi (Litherland *et al.*, 1994); además, se encuentran secuencias detríticas tipo flisch constituida por capas milimétricas a centimétricas de limolitas negras y argilitas, intercaladas con areniscas de grano grueso de la Formación Apagua (Egüez y Bourgois, 1986; Vallejo, 2007). Además, existe una importante presencia de rocas plutónicas que intruyen a parte de las formaciones antes citadas, compuestas principalmente por granodiorita y diorita.

### UBICACIÓN

El área de estudio se encuentra al noroeste del Ecuador, en la región Sierra, en el flanco oeste de la CO, específicamente en la provincia de Cotopaxi, cantones Sigchos y La Maná, se localiza aproximadamente a 130 km al sur de Quito y posee una superficie de 27 km<sup>2</sup>. Para la presente investigación el área de estudio fue dividida en tres sectores de interés, a los que se les denominó La Chala, San Isidro y San Miguelito (Figura 1).

### METODOLOGÍA

El reconocimiento de los tipos de depósitos de mineral único, ya sea económico o no, en los sistemas de pórfido de Cu, puede emplearse directamente en combinación con los conceptos de alteración y zonificación de metales para la exploración de diferentes depósitos minerales (Sillitoe, 2010).

Las investigaciones geológicas y geoquímicas se han convertido en la base para desarrollar estudios de prospección geológica-minera, que tienen como objetivos delimitar superficialmente anomalías mineralógicas de interés económico y elementos químicos que ayuden a determinar targets; con base en estos resultados se puede realizar una interpretación y asociar/relacionar con un tipo de depósito mineral.

La metodología se basó, en primer lugar, en la recopilación de información, principalmente de estudios geológicos preliminares y geoquímica de sedimentos para definir los sectores anómalos en el área de estudio. Posteriormente se realizaron dos campañas de campo durante el 2019 en los sectores con presencia de anomalías geoquímicas de sedimentos. Durante estas jornadas se ejecutó el levantamiento geológico y la toma de 115 muestras de roca a las que se les realizó análisis químicos y petrográficos (ver Figura 1).

Los muestreos que se emplearon fueron tipo chip en

la mayoría de los afloramientos, y tipo canal para estructuras mineralizadas (vetas). Adicionalmente a la toma de muestras de roca, también se realizó la toma de medidas estructurales (azimut de buzamiento y buzamiento) de los principales planos de fracturamiento.

Los métodos de análisis químico consistieron en pulverizar las muestras de roca hasta llegar a un diámetro menor de 69 µm, para posteriormente realizar el ensayo analítico (ICP-OES), que determina 36 elementos de interés incluidos Ag, Cu, Pb y Zn (Olesik, 1991); y el ensayo al fuego que identifica oro por fundición en muestras sólidas como sedimentos, rocas, relaves y concentrados (Rodríguez, *et al.*, 2013).

## RESULTADOS

### GEOLOGÍA LOCAL

En el área de estudio los grupos litológicos identificados de la Formación Macuchi están constituidos por una secuencia de rocas volcánicas, volcanoclásticas y sedimentarias de origen submarino; además se afloran secuencias sedimentarias de grano muy fino a medio, desde lutitas, limolitas, hasta areniscas bien estratificadas con presencia de minerales como plagioclasas, hornblendas y ocasionalmente piroxenos, correspondientes a la Formación Apagua. Estos grupos litológicos se encuentran intruidos por rocas magmáticas de composición intermedia, como tonalitas y dioritas, que son responsables de la mineralización (Figura 2).

En las nacientes del río Cochapamba afloran facies de intrusivos de composición tonalítica, de grano medio con moderada oxidación de hierro (limonita-hematita). Su coloración varía de gris claro a gris verdoso; está compuesto principalmente de plagioclasas, cuarzo y hornblenda, ocasionalmente biotita y magnetita; presenta una débil alteración clorítica (< 1%); y la mineralización metálica está ligada a la presencia de pirita diseminada (2%).

Al noroeste del área de estudio, sector La Chala, aflora una roca magmática de composición cuarzo-diorítica mesocrática. Petrográficamente está constituida por un 30% de minerales máficos (anfíboles), plagioclasas subhedrales de grano medio a fino, pirita diseminada y abundantes óxidos de hierro (limonita-hematita). La mineralización metálica está presente en vetillas de cuarzo+sulfuros que forman un stockwork moderado. La roca presenta una alteración sílica intensa/fuerte.

En el sector San Miguelito, se observó un intrusivo leucocrático, con características de una tonalita, constituida principalmente por plagioclasas, cuarzo y máficos cloritizados; se ha identificado dos tipos

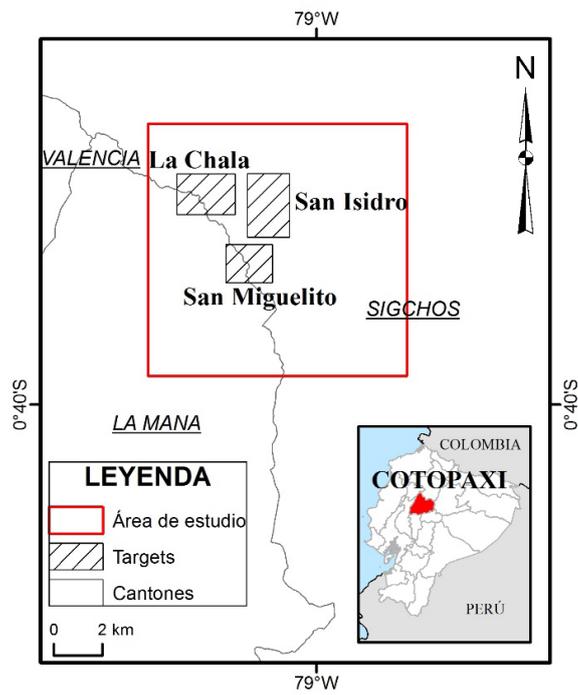


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

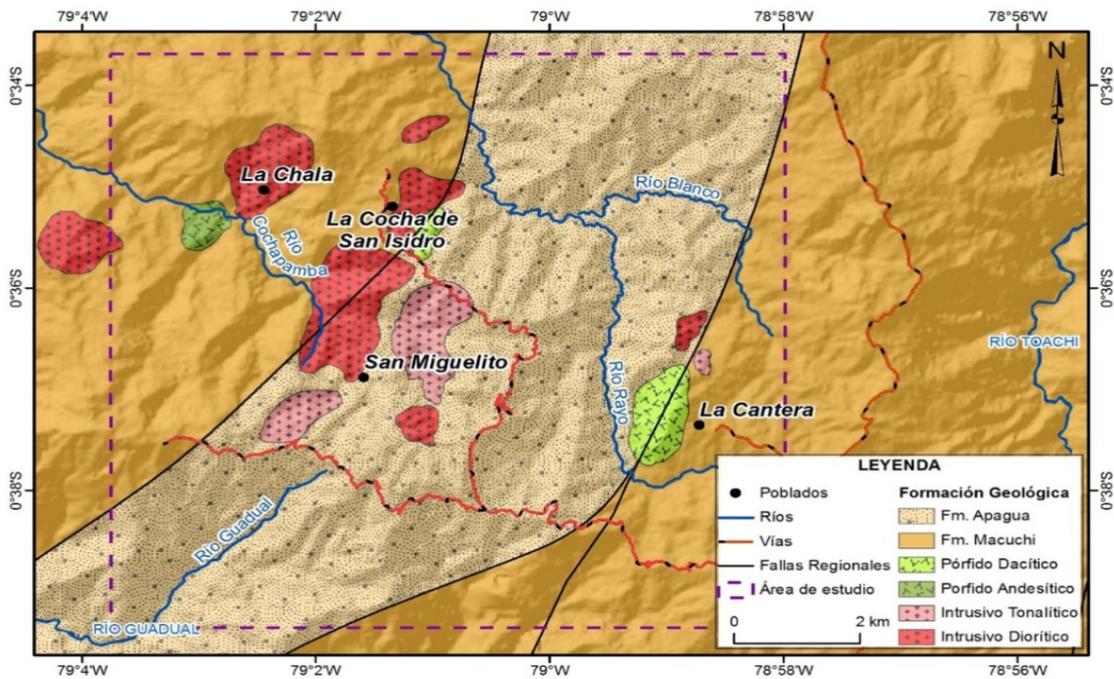


Figura 2. Mapa de geológico del área de estudio.

Fuente: modificado de Egúez et al., 2017

de alteración hidrotermal, siendo la más pervasiva la alteración sílica, la cual está acompañada por una moderada alteración propilítica (clorita-epidota); la mineralización metálica de interés está presente en un stockwork moderado de cuarzo+sulfuros (calcopirita, bornita y covelina, trazas de molibdenita), principalmente la pirita se encuentra diseminada (2-3%) (ver Figura 2).

En el sector de La Cantera se observan rasgos de una estructura que correspondería a un complejo volcánico antiguo, constituido por rocas leucocráticas de composición dacíticas y riodacíticas. Petrográficamente presentan una textura porfirítica y están compuestas principalmente por plagioclasas, feldespatos potásicos alterados, cuarzo, hornblenda y ocasionalmente biotita oxidada.

Al sur del área de estudio, en las nacientes del río Guadual, se observa una secuencia de rocas sedimentarias constituida por grauvacas grises compuesta por feldespatos, micas, en menor porcentaje cuarzo, dentro de una matriz detrítica, intercalada con lutitas centimétricas color gris oscuro y limolitas color crema.

#### INDICIOS MINERALES

De acuerdo a los datos geológicos de campo, análisis macroscópico de rocas y resultados geoquímicos de laboratorio de las muestras recolectadas durante las geotrasversías, se pudo definir tres targets principales para exploración relacionados a un sistema tipo pórfido de cobre-molibdeno-oro, a los que se les denominó según su sector de influencia: San Isidro, San Miguelito y La Chala.

En San Isidro, ubicado al noreste del área de estudio, predominan afloramientos de un pórfido de composición diorítica y cuarzo-diorítica que presentan una amplia zona de alteración propilítica (clorita+epidota+/-carbonatos+/-pirita), localmente alteración sericítica y potásica. Estas rocas indican una mineralización relacionada a un pórfido de cobre con un stockwork de vetillas tipo B con pirita, calcopirita y en algunos sectores presencia importante de molibdenita (Figura 3a).

En el sector de San Miguelito se ha observado secuencialmente al menos 3 fases de intrusiones: tonalita, granodiorita y pulsos dioríticos relacionados al sistema porfirítico, con una longitud aproximada de 600 metros continuos, presentando una fuerte alteración sílica y en menor grado alteración clorítica y propilítica, en ocasiones existe sobreimposición de la alteración sílica (cuarzo sericita) sobre las anteriores produciendo la desaparición parcial o total de la textura original de la roca. Puntualmente se identifica halos de alteración potásica, las cuales vienen acom-

pañadas por un vetilleo tipo stockwork de cuarzo, con mineralización de pirita+/-calcopirita+/-molibdenita, esporádicamente se observa bornita y covelina (Figura 3b).

En el sector La Chala, cerca del río Cochapamba, afloran pulsos intrusivos dioríticos y granodioríticos fuertemente fracturados, se ha identificado alteración propilítica acompañada de sulfuros como pirita, calcopirita localmente, y trazas de bornita. La pirita se observa rellenando las fracturas en porcentajes >1%. Indicios de mineralización supérgena de cobre como malaquita y azurita se observa esporádicamente. Hay que recalcar que se evidencia partículas de Au (2 mm) en sedimentos pesados (ver Figura 3).

En resumen, la mineralización económica está relacionada principalmente a facies de pórfidos dioríticos (al norte y sur) y tonalíticos (al sur) con presencia de sulfuros de cobre, como calcopirita, bornita, sulfuros de molibdeno (molibdenita), los cuales son más evidentes en zonas con set de vetillas tipo *stockwork* y en fracturas rellenas con mineralización. Debemos mencionar también que, de acuerdo a los análisis geoquímicos de laboratorio, se presentaron resultados en oro con valores entre 0,4 g/t, 0,68 g/t, 0,86 g/t (Figura 4).

Los datos de magnetometría aérea, realizados por el proyecto PRODEMINCA (2000), indican que en las zonas anómalas de transición entre altos y bajos magnéticos, coinciden con los mejores resultados de geoquímica de rocas en algunas muestras que presentan valores de: Cu: 0.1 a 0.43%; Au: 0.40 g/t a 0.86 g/t; Mo: 47.8 ppm a 408 ppm (ver Figura 4).

#### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los indicios descubiertos del prospecto La Esperanza se encuentran localizados en la faja metalogénica de pórfidos y epitermales del Mioceno-Eoceno, coincidiendo con Schutte (2009) quien afirma que los depósitos de mineral relacionados con los pórfidos en Ecuador son principalmente de edad miocena, y se los considera como la extensión norte del cinturón metalogénico del Mioceno del centro-norte del Perú.

Las zonas investigadas en el prospecto La Esperanza, se encuentran relacionadas a un sistema de pórfidos de cobre, donde se ha identificado la existencia de intrusivos multifases que van desde pulsos dioríticos, cuarzodioríticos, tonalíticos y ocasionalmente granodioríticos; Sillitoe (2010) identifica estos sistemas multifase a plutones que corresponden a intrusiones equigranulares, comúnmente de dimensiones batolíticas y composiciones dioríticas a graníticas.

En La Esperanza, al igual que el depósito de Lluimahua, al norte del Ecuador, Salazar y Beate (2009)

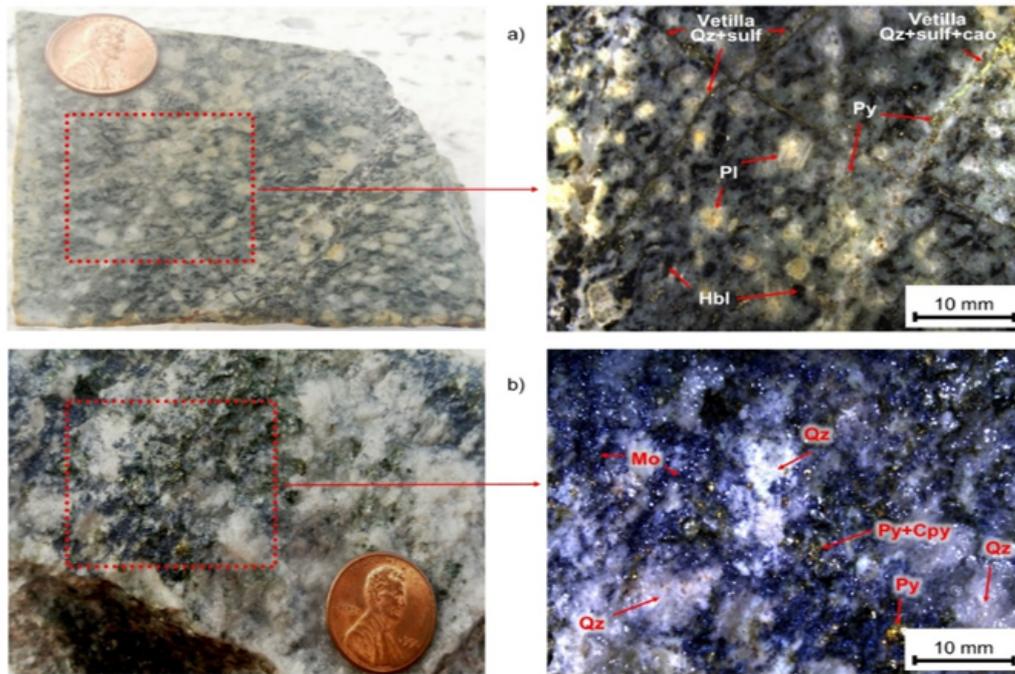


Figura 3. a) Pórfido diorítico con vetillas tipo B; b) Tonalita con sulfuros diseminados y en vetilleo.

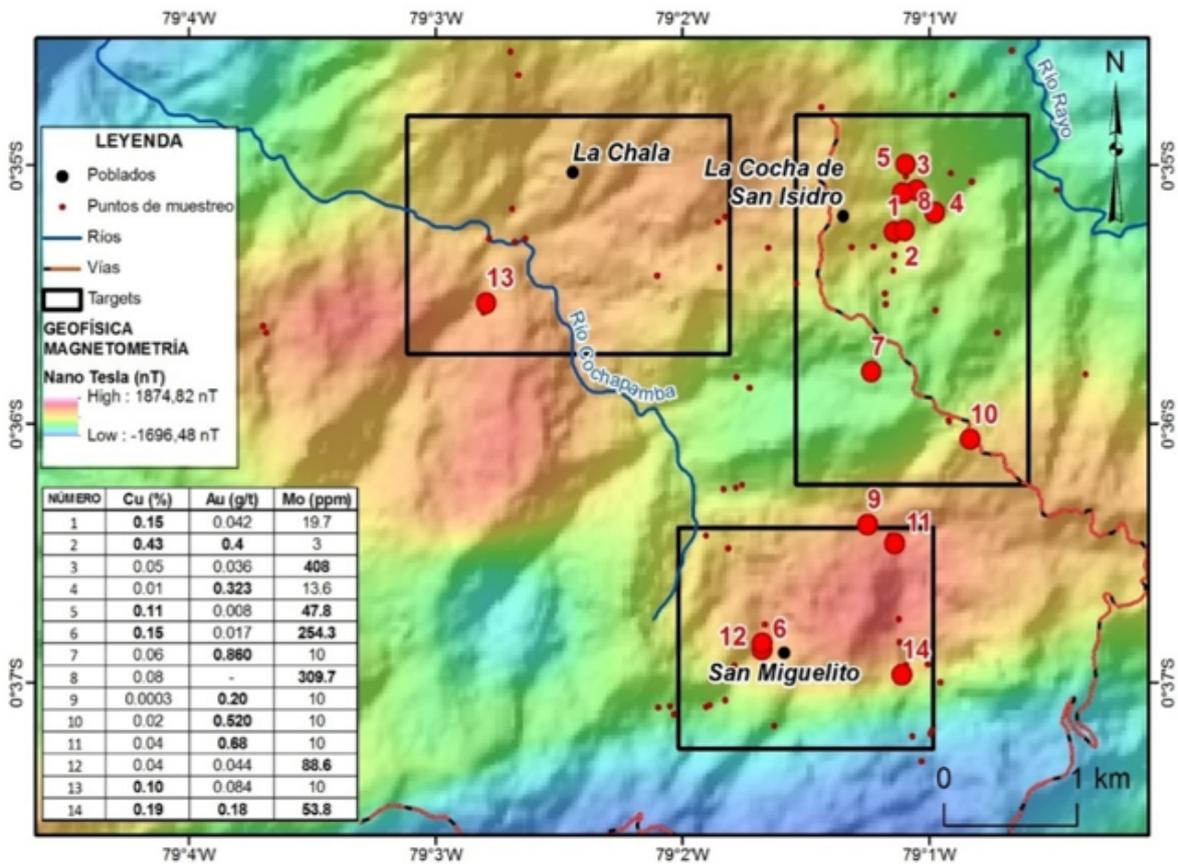


Figura 4. Mapamagnetometría aérea vs Geoquímica de rocas (zonas de targets).

manifiestan que los pórfidos de composición dacítica que están intruyendo al batolito de Apuela son los responsables de la alteración y mineralización, la misma que está asociada a sulfuros hipógenos de cobre (bornita, calcopirita) y sulfuros de molibdeno (molibdenita). Dichos sulfuros se encuentran principalmente en zonas de stockwork, al igual que los sulfuros descubiertos en el sector noreste y sur del área La Esperanza, donde se ha identificado la mineralización más predominante en cobre y molibdeno relacionadas a zonas de stockwork y a microfallas.

En el área de estudio se han identificado zonas de alteración propílica con asociación cl+ep+/-carb con +/-sulfuros (py-cpy), y alteración clorítica. Localmente alteración potásica y sericítica. En San Miguelito, sector sur del área, se presenta una fuerte a moderada silicificación, con asociación qz+sericita+py, sobrepuesta a las alteraciones propílica y clorítica. Sillitoe (2010) divide la alteración-mineralización de los depósitos de pórfidos de Cu en zonas superiores desde sódico-cálcico temprano hasta potásico, clorito-sericita y sericítico, coincidiendo con los identificados en el prospecto La Esperanza.

Meyer y Hemley (1967) y Park (1995), han aportado al mejor entendimiento de la alteración hidrotermal y mineralización de pórfidos de cobre, notaron una clara zonación, tanto vertical como lateral. De esta forma, en el prospecto La Esperanza se ha identificado que el tipo de mineralización económica se encuentra relacionado a una mineralización hipógena, manifestada principalmente por la presencia de sulfuros primarios como calcopirita, bornita, molibdenita, principalmente en vetas, vetillas, zonas de stockwork, y en fracturas; además, se ha observado un débil desarrollo de mineralización supérgena con puntual presencia de covelina y trazas de malaquita y azurita; continuando con la zonación de mineralización vertical, donde se ha identificado zonas de oxidación localmente.

A diferencia del pórfido de Chaucha, al sur de Ecuador, donde la mineralización se encuentra en estrechas vetas de sulfuro con cuarzo que constituyen un stockwork típico de un pórfido, donde la mayor concentración de cobre se encuentra principalmente en la zona de enriquecimiento secundario (Aguilera, 1997); en el prospecto La Esperanza, se ha observado un bajo desarrollo de este enriquecimiento secundario con mineralización supérgena puntual como malaquita y covelina en trazas,

## CONCLUSIONES

En las zonas de estudio se identificaron principalmente rocas intrusivas de composición diorítica y tonalítica, esta última fase en especial se encuentra al sur, en San Miguelito; estos intrusivos se encuentran en contacto con tobas andesíticas, andesitas porfiríticas de la Formación Macuchi y, además, con rocas sedimentarias pelíticas de la Formación Apagua como lutitas negras masivas y estratificadas, intercaladas con areniscas de grano fino a medio.

La zona 1 de interés, denominada San Isidro, se caracteriza por la presencia de rocas dioríticas con alteración propílica, clorita-epidota+/-carbonatos+/-pirita; también, se encuentra puntualmente alteración potásica y fílica con mineralización económica de cobre especialmente en fracturas, tales como calcopirita, +/- bornita+/-molibdenita e importante presencia de óxidos de hierro, relacionado a pórfidos de cobre.

En la zona 2 (San Miguelito) afloran rocas intrusivas de composición tonalítica, diorítica a cuarzo-diorítica, se caracterizó una fuerte alteración sílica que en ocasiones se sobrepone a la alteración clorita-epidota, localmente se identifica alteración cuarzo sericita y halos de alteración potásica. La mineralización se encuentra diseminada (especialmente pirita), vetillas de cuarzo junto con sulfuros pirita, calcopirita, ocasionalmente bornita y trazas de molibdenita. Resultados de análisis químico en roca indican la presencia significativa de oro en rangos de 0,418 g/t a 0,86 g/t.

La zona 3 (La Chalá) con la presencia de intrusivos dioríticos, se caracteriza por una alteración propílica y mineralización de sulfuros, principalmente en fracturas con pirita-calcopirita, bornita y malaquita localmente acompañados de limonita y hematita.

Con los nuevos indicios identificados de este prospecto porfídico Cu-Mo-Au se debe profundizar el estudio con mayor detalle a fin de definir las etapas de mineralización presentes.

Posteriormente, una vez analizada la información y evaluando los resultados de la exploración preliminar, se recomendaría realizar una campaña de sondeos con perforación a diamantina para evaluar la factibilidad económica del mismo.

## REFERENCIAS

- Aguilera, G. 1997. Mineralization and hydrothermal alteration at the Chaucha porphyry copper-molybdenum deposit (Ecuador).
- Boland, M. L., Pilatasig, L. F., Ibadango, C. E., McCourt, W. J., Aspden, J. A., Hughes, R. A. y Beate, B. 2000. Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 0 and 1 N. Proyecto de Desarrollo Minero y

- Control Ambiental, Programa de Información Cartográfica y Geológica, CODIGEM-BGS, Quito, Informe, 10.
- Egüez, A., y Bourgois, J. 1986. La formación Apagua: edad y posición estructural en la cordillera Occidental del Ecuador. *Actas IV Congreso Ecuatoriano de Ingeniería, Geología, Minería y Petróleo*, 1, 161-178.
- Egüez, A., Gaona, M. y Albán, A. 2017. Mapa geológico de la República del Ecuador. Ministerio de Minería e Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico. [https://www.geoinvestigacion.gob.ec/mapas/nuevo%201M/GEOLOGICO\\_2017\\_1M](https://www.geoinvestigacion.gob.ec/mapas/nuevo%201M/GEOLOGICO_2017_1M). pd.
- Feininger, T. 1980. Eclogite and related high-pressure regional metamorphic rocks from the Andes of Ecuador. *Journal of Petrology*, 21(1), 107-140.
- Goossens, P. J. y Rose Jr, W. I. 1973. Chemical composition and age determination of tholeiitic rocks in the basic igneous complex, Ecuador. *Geological Society of America Bulletin*, 84(3), 1043-1052.
- Jaillard, É., Ordóñez, M., Benítez, S., Berrones, G., Jiménez, N., Montenegro, G. y Zambrano, I. 1995. Basin development in an accretionary, oceanic-floored fore-arc setting: Southern coastal Ecuador during late Cretaceous-late Eocene time.
- Litherland, M., Aspden, J. A. y Jemielita, R. A. 1994. The metamorphic belts of Ecuador, British Geological Survey, Overseas Memoir 11. *British Geological Survey, Keyworth*, 147.
- Meyer, C. y Hemley, J. J. 1967. Wall rock alteration in Barnes, HL (ed.) *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. Holt, Reinhart and Winston. Inc., New York.
- MMAJ. 1987. Report on Insiliví Project, Cotopaxi in Republic of Ecuador (p. 66) [Informe técnico].
- Olesik, J. W. 1991. Elemental analysis using ICP-OES and ICP/MS. *Analytical Chemistry*, 63(1), 12A-21A.
- Park Jr, C. F. 1995. The zonal theory of ore deposits. *Econ. Geol.*, 50(2), 226-248.
- PRODEMINCA, D. P. 2000. Epi-mesotermiales relacionados con intrusiones de la cordillera Occidental y Real (vol. 4). En *Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador*.
- Rodríguez, Y., Rodríguez, I. V., y Prieto, J. O. 2013. *Validación del método ensayo al fuego combinado con espectrofotometría de absorción atómica (EF-EAA)*. V Simposio de Minería y Metalurgia, Cuba.
- Salazar Jácome, P., y Beate, B. 2009. Geología, alteración y mineralización del pórfido de cobre-molibdeno Junín, provincia de Imbabura, Ecuador.
- Schutte, P. 2009. *Geochronology, geochemistry, and isotopic composition (Sr, Nd, Pb) of Tertiary porphyry systems in Ecuador*. University of Geneva.
- Schütte, P., Chiaradia, M., Barra, F., Villagómez, D. y Beate, B. 2012. Metallogenic features of Miocene porphyry Cu and porphyry-related mineral deposits in Ecuador revealed by Re-Os, 40 Ar/39 Ar, and U-Pb geochronology. *Mineralium Deposita*, 47(4), 383-410.
- Sillitoe, R. H. 2010. Porphyry copper systems. *Economic Geology*, 105(1), 3-41.
- Somoza, R. 1998. Updated azca (Farallon)-South America relative motions during the last 40 My: Implications for mountain building in the central Andean region. *Journal of South American Earth Sciences*, 11(3), 211-215.
- Vallejo, C. 2007. *Evolution of the western cordillera in the Andes of Ecuador (late cretaceous-Paleogene)*. Unpublished Ph. D. Thesis, ETHZ, Zürich, Switzerland.
- Vallejo C., Winkler, W., Spikings, R. y Luzieux, L. 2009. Evolución geodinámica de la cordillera Occidental (Cretácico tardío-Paleógeno). *Revista Politécnica, EPN*, (30), 112-130.



## ESTUDIO EXPERIMENTAL DE APLICACIÓN DE SAGD CONVENCIONAL VS. SAGD CON USO DE ADITIVOS (CO<sub>2</sub> Y ENZIMA) PARA LA RECUPERACIÓN DE CRUDO EXTRAPESADO DEL CAMPO PUNGARAYACU

### Experimental study of application of conventional SAGD compared with SAGD using additives (CO<sub>2</sub> and enzyme) for the recovery of extra-heavy crude from Pungarayacu field

Santiago Cortez Navas  
santiagocortez7744@gmail.com  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4608-5209>

Christian Lema Sarabia  
cristianlema1@yahoo.com  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0228-9402>

Jóse Álvarez Martínez  
jose.alvarez@innotechalberta.ca  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2779-9460>

Bryan Salazar Analuisa  
bandressalazar@gmail.com  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1012-1207>

Atahualpa Mantilla Rivadeneira  
awmantilla@uce.edu.ec  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2329-186X>

Recibido: 03 de septiembre de 2020

Aprobado: 18 de diciembre de 2020

ARTÍCULO ORIGINAL

DOI: 10.29166/REVFIG.V11I2.2537

#### RESUMEN

El campo Pungarayacu contiene la mayor acumulación de petróleo extrapesado, aproximadamente 4,6 billones de barriles de POES, por lo que este hidrocarburo por su caracterización de una viscosidad muy alta no tiende a moverse fácilmente por el medio poroso hacia el pozo. Con la finalidad de mejorar su relación de movilidad, disminuyendo su viscosidad, un posible método térmico efectivo para que el hidrocarburo se desplace hacia el pozo es el drenaje por gravedad asistido por vapor (SAGD). En el presente estudio se diseñó y construyó un modelo físico para evaluar SAGD intentando simular parámetros de presión, temperatura y características de una roca del yacimiento; se realizaron dos tipos de experimentos: SAGD convencional y SAGD con aditivos (enzima GreenZyme y CO<sub>2</sub>). Los experimentos se realizaron a presiones relativamente bajas y altas para evaluar el impacto de la presión, las mediciones realizadas fueron: volumen de hidrocarburo producido, factor de recuperación y la relación de inyección de vapor. Los parámetros medidos permitieron evaluar y comparar la viabilidad de usar un método SAGD convencional o un método SAGD con aditivos para el yacimiento. En el modelo físico se realizaron seis pruebas de desplazamiento, conociendo que el SAGD convencional es un proceso térmico eficiente para recuperar el petróleo atrapado en yacimientos de crudos pesados y extrapesados. Al aplicar el método SAGD convencional con la inclusión de enzima (GreenZyme) en la experimentación realizada, el crudo recuperado fue de un 60%. En los experimentos realizados en este estudio se evidencia que al agregar CO<sub>2</sub> no se obtienen los efectos deseados en función de su solubilidad, debido a la expansión del gas que enfría el sistema. Se requieren más experimentos para evaluar el impacto de agregar CO<sub>2</sub> en un proceso de SAGD basado en condiciones del campo.

#### ABSTRACT

The Pungarayacu field contains the largest extra-heavy oil accumulation, approximately 4.6 billion barrels of OOIP, so this hydrocarbon due to its very high viscosity don't tend to move easily through the porous medium towards the well. To improve its mobility ratio, decreasing its viscosity, a possible effective thermal method for the hydrocarbon to move towards the well is steam assisted gravity drainage (SAGD). In the present study, a physical model was

**PALABRAS CLAVE** SAGD, inyección de vapor, crudo extrapesado, enzima, modelo físico, CO<sub>2</sub>.

**KEYWORDS** SAGD, steam injection, extra heavy oil, enzyme, physical model, CO<sub>2</sub>.

designed and built to evaluate SAGD, trying to simulate parameters such as: pressure, temperature and reservoir rock characteristics; two types of experiments were carried out: conventional SAGD y SAGD with additives (GreenZyme and CO<sub>2</sub>). The experiments were carried out at relatively low and high pressures to evaluate the impact of the pressure, the measurements made were: volume of hydrocarbon produced, recovery factor and the steam injection ratio. The measured parameters allowed to evaluate and compare the feasibility of using a conventional SAGD method or a SAGD method with additives for the reservoir. In the physical model, six displacement tests were carried out knowing that conventional SAGD is an efficient thermal process to recover the oil trapped in heavy and extra-heavy oil reservoirs. When applying the conventional SAGD method with the inclusion enzyme (GreenZyme) in the experimentation carried out, the recovered crude was 60%. In the experiments carried out in this study, it is evident that adding CO<sub>2</sub> don't get the desire based on its solubility, due to the expansion of the gas that cools the system. More experiments are required to evaluate the impact of adding CO<sub>2</sub> in a SAGD process based on field conditions.

## INTRODUCCIÓN

Debido a un aumento de la demanda mundial de energía y la declinación en la producción de los yacimientos convencionales, las empresas petroleras están enfocadas en la explotación de petróleos pesados, extrapesados y bitumen que conforman el 70% de los recursos de petróleo totales del mundo (Alboudwarej *et al.*, 2006).

Según el Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (MRNNR), Ecuador cuenta con el campo Pungarayacu que tiene un POES de 4,6 billones de barriles, el cual no se ha podido producir por tener una alta viscosidad y una movilidad baja (MRNNR, 2014).

El campo Pungarayacu está ubicado en la provincia de Napo (bloque 20) a 120 km de la ciudad de Quito, en la parte oeste de la cuenca oriental ecuatoriana. Tiene un área de 1100 km<sup>2</sup>. El principal reservorio es Hollín y existen yacimientos secundarios que se encuentran en la formación Napo (Baby, Rivadeneira y Barragán, 2004) (ver Figura 1).

Entre los métodos térmicos se encuentra la técnica del steam assisted gravity drainage (SAGD) o drenaje gravitacional asistido por vapor, que es la técnica más prometedora para extraer petróleo en yacimientos someros.

Hasta la fecha ha sido imposible producir de manera eficiente y continua el hidrocarburo existente en el campo Pungarayacu, debido a las propiedades de yacimiento y fluido que contienen alta viscosidad (>10.000 cP), baja temperatura de yacimiento 95 °F (35 °C), baja presión de yacimiento (<500 psi) y bastante somero (<1000 ft) (Males y Miranda, 2017).

El presente trabajo consistió en construir un modelo físico experimental para evaluar la técnica de la aplicación SAGD de manera convencional

y con aditivos (CO<sub>2</sub> y enzima) a crudo extrapesado del campo Pungarayacu, además de comparar el factor de recobro de petróleo obtenido por los procesos mencionados.

## METODOLOGÍA

El presente estudio es de tipo experimental-descriptivo y permite evaluar los efectos de la técnica SAGD convencional y con aditivos en un modelo físico en donde se pudo trabajar hasta una presión de 140 psi y a una temperatura máxima de 178 °C.

### FASES DEL ESTUDIO

#### 1. Diseño del equipo experimental

Para la realización del diseño se consideró que el equipo debe poseer:

- caldera generadora de vapor;
- celda para simular el yacimiento (arena impregnada de petróleo);
- línea de flujo de vapor entre caldera y celda de arena;
- medidor de temperatura y presión;
- línea de recolección de los fluidos producidos (simula el pozo productor);
- fuente de calor para la caldera (quemador de gas doméstico); y,
- base soporte para modelo físico (ver Figura 2).

#### 2. Preparación de muestras

- recolección de 27.000 cc de petróleo de Pungarayacu (afloramiento);
- se dividieron en 3 partes iguales (9000 cc cada ensayo);
- ensayos preliminares, uso de roca del afloramiento impregnada con crudo;
- experimentos con arena sílica para mezcla con hidrocarburo recogido de la superficie (afloramiento);

- se calentó el crudo con la ayuda de fogón; y,
  - se utilizaron 85,11 lb de arena sílica definiendo una porosidad del 36,3%, esta muestra se saturó con un volumen total de líquido de 14.000 cc correspondiendo a: 64,3% de crudo, 35,6% de agua y 0,1% aire (gas); cada uno de los tres ensayos se realizó de la misma manera.
3. *Generación de vapor*
- recipiente de caldera con una capacidad operativa de 8 gal (30.283,3 cc);
  - el sistema no posee un medidor de flujo de vapor; y,
  - se diseñó un condensador de vapor que genera un flujo de 1,16 cc/seg.
4. *Ensayos preliminares*
- SAGD convencional - baja presión usando roca del afloramiento;
  - SAGD convencional - alta presión usando roca del afloramiento, y,
  - enzima GreenZyme (prueba de botellas).
5. *Ensayos de SAGD convencional y SAGD con aditivos usando arena sílica (SiO<sub>2</sub>)*
- SAGD convencional - baja presión
  - SAGD convencional - alta presión
  - SAGD con GreenZyme - baja presión
  - SAGD con GreenZyme - alta presión
  - SAGD con CO<sub>2</sub> - baja presión
  - SAGD con CO<sub>2</sub> - alta presión

## RESULTADOS

### ENSAYOS PRELIMINARES

Este ensayo permite verificar el funcionamiento del equipo antes de realizar los ensayos con la arena empacada.

Para los ensayos se utilizaron rocas recolectadas del afloramiento del campo impregnadas con crudo, la cantidad utilizada fue de 85,11 lb (38.605,2 gr). Se asume que las propiedades petrofísicas (ver Tabla 1) de las rocas recolectadas son similares a la arena hollín.

#### A) SAGD CONVENCIONAL - BAJA PRESIÓN USANDO ROCA DEL AFLORAMIENTO

En la tabla 2 (ver tabla 2) se muestra las condiciones de funcionamiento de entrada de vapor a la celda de arena, se registran datos de presión y temperatura.

Al finalizar el ensayo se estima que se utilizó un volumen de 30.280 cc de agua, de los cuales 11.295 cc se convirtieron en vapor, se condensaron 3.000 cc y se asume que 8.295 cc salieron en forma de vapor, el crudo recuperado fue 0 cc (ver Tabla 3).

#### B) SAGD CONVENCIONAL - ALTA PRESIÓN USANDO LA ROCA DEL AFLORAMIENTO

En la tabla 4 (ver Tabla 4) se muestran las condiciones de funcionamiento de entrada de vapor

a la celda de arena, se registran datos de presión y temperatura.

Al finalizar el ensayo en la caldera de vapor se introdujo 30.280 cc de agua, quedando 11.490 cc de agua, y el volumen se transformó en vapor, es decir 18.790 cc de vapor, se condensaron 11.000 cc y se asume que 7.790 cc salieron en forma de vapor, el crudo recuperado fue 700 cc (ver Tabla 5).

#### C) ENZIMA GREENZYME (PRUEBAS DE BOTELLA)

Para comprobar la efectividad de la enzima sobre la roca impregnada de crudo del campo Pungarayacu se le sometió a una alta temperatura; para verificar su utilidad o funcionamiento se utilizaron botellas.

Prueba A: En un frasco de vidrio se introdujo arena sílica, un pequeño volumen de petróleo de crudo pesado sin ser mezclados, añadiendo agua con una concentración del 10% de GreenZyme; se sometió a baño maría hasta 92 °C, y posteriormente se dejó reposar por 5 días a luz solar (ver Figura 3).

De la figura se puede concluir, que el crudo colocado en la parte inferior del frasco encuentra un canal en la arena para subir a superficie.

Prueba B: Se realizaron las mismas consideraciones que la prueba A, con la diferencia que se mezcló la arena con el crudo (ver Figura 4).

De la figura se puede concluir, que el crudo se desprende en forma de gotas hacia la superficie, la enzima GreenZyme necesita de un tiempo de remojo en el yacimiento para mayor efectividad. Adicionalmente se mezcló agua con enzima GreenZyme y se la sobrecalentó, no existieron residuos, por lo cual se puede inferir una compatibilidad adecuada.

### ENSAYOS DE SAGD CONVENCIONAL Y SAGD CON ADITIVOS USANDO ARENA SÍLICA

Luego de realizar ensayos preliminares y con resultados positivos, se procedió a realizar pruebas en un medio poroso empacado con arena sílica.

Las tablas 6 y 7 muestran las condiciones iniciales de la celda de arena que se usaron en las pruebas.

#### A) SAGD CONVENCIONAL-BAJA PRESIÓN

Al realizar el ensayo la celda de arena no se presurizó (presión = 0 psi), la temperatura llegó a 92 °C, en un tiempo de prueba de 2,5 horas no se logró recuperar nada de crudo.

Al finalizar el ensayo se observó que del agua ingresada a la caldera 30.280 cc, quedaron 19.030 cc de agua, el resto se transformó en vapor 11.250 cc, se condensaron 2000 cc y se asume que 9250 cc salieron en forma de vapor, el crudo recuperado fue 0 cc (ver Tabla 8).

**B) SAGD CONVENCIONAL-ALTA PRESIÓN**

Al realizar el ensayo la celda de arena se presurizó a 140 psi, la temperatura llegó a 180 °C, en un tiempo de prueba de 4 horas se recuperó 1700 cc de crudo.

Al finalizar el ensayo se observó que del agua ingresada a la caldera 30.280 cc, se transformaron en vapor 18.500 cc, se condensaron 13.400 cc y se asume que 5100 cc salieron en forma de vapor (ver Tabla 9).

**C) SAGD CON GREENZYME-BAJA PRESIÓN**

La muestra ingresada a la celda de arena se la hizo con una solución de 10%, es decir, se colocó 3600 cc de agua y 400 cc de enzima GreenZyme, se dejó por 5 días en reposo, después se registraron datos de presión y temperatura.

Al realizar el ensayo la celda de arena no se presurizó (presión = 0 psi), la temperatura llegó a 92 °C, en un tiempo de prueba de 2,5 horas se logró recuperar 400 cc de crudo.

Al finalizar el ensayo se observó que del agua ingresada a la caldera 30.280 cc, quedaron 19.480 cc de agua, el resto se transformó en vapor 10.800 cc, se condensaron 1500 cc y se asume que 9300 cc salieron en forma de vapor (ver Tabla 10).

**D) SAGD CON GREENZYME-ALTA PRESIÓN**

Al realizar el ensayo la celda de arena se presurizó a 140 psi, la temperatura llegó a 179 °C, en un tiempo de prueba de 4 horas se logró recuperar 2700 cc de crudo

Al finalizar el ensayo se observó que del agua ingresada a la caldera 30.280 cc, quedaron 12.780 cc de agua, se transformaron en vapor 17.500 cc, se condensaron 12.500 cc y se asume que 5000 cc salieron en forma de vapor (ver Tabla 11).

**E) SAGD CON CO<sub>2</sub>-BAJA PRESIÓN**

Se inyectó CO<sub>2</sub> a la celda de arena del modelo físico para lo cual se acopló un extintor de CO<sub>2</sub> de 10 lb. Se dejó pasar vapor de la caldera hacia la celda de arena en un tiempo de prueba de 2,5 horas. El CO<sub>2</sub> hizo que la celda de arena se presurice desde 0 hasta 50 psi, la temperatura de la celda bajó de 94 hasta 70 °C, en el momento de realizar los bacheos por la línea de flujo.

La limitación fue encontrar una fuente adecuada para inyectar CO<sub>2</sub>, debido que el extintor se encuentra presurizado con 200 psi y su temperatura de descarga (-79 °C) hace que la temperatura de la celda disminuya drásticamente, no se pudo recuperar crudo (ver Tabla 12).

**Tabla 1.** Propiedades de la roca del campo Pungarayacu

Celda	Porosidad (%)	Permeabilidad (D)	Saturación (%)
Medio poroso	25	3,5	75

Fuente: Reyes, 2018

**Tabla 2.** Condiciones de funcionamiento a baja presión

Pozo	Vapor (cc/seg)	Presión (psi)	Temperatura (°C)	Fluido inyectado
Inyector	1,16	0	92	Vapor
Productor	-	-	-	-

**Tabla 3.** Resultado final SAGD convencional - baja presión usando roca de afloramiento

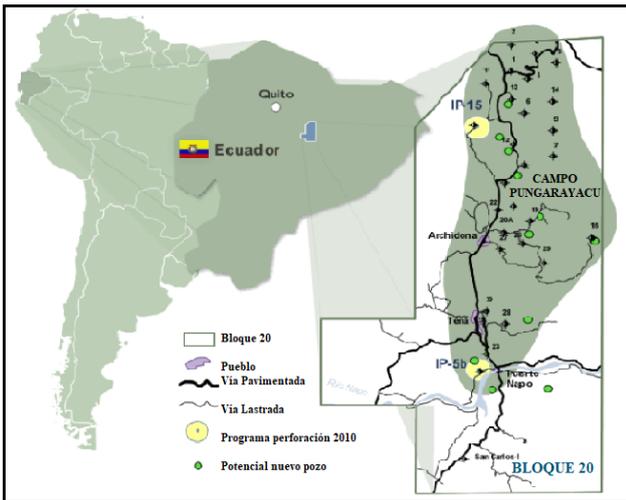
Descripción	Resultado final	
	Valor	
Crudo recuperado	0 cc	
Agua condensada	3000 cc	

**Tabla 4.** Condiciones de funcionamiento a alta presión

Pozo	Vapor (cc/seg)	Presión (psi)	Temperatura (°C)	Fluido inyectado
Inyector	1,16	140	179	Vapor
Productor	-	-	-	-

**Tabla 5.** Resultado final SAGD convencional - alta presión usando roca del afloramiento

Descripción	Resultado final	
	Valor	
Crudo recuperado	700 cc	
Agua condensada	11000 cc	



**Figura 1.** Ubicación del campo Pungarayacu  
**Fuente:** Ivanhoe Energy and the Pungarayacu Project in Ecuador, 2011, p.3



**Figura 2.** Equipo experimental construido



Arena sin mezclar con el crudo del campo Pungarayacu



GreenZyme después de 5 días

**Figura 3.** Prueba A, crudo no mezclado en arena, en solución con enzima Greenzyme



Arena mezclada con el crudo del campo Pungarayacu



GreenZyme después de 5 días

**Figura 4.** Prueba B, crudo mezclado en arena, en solución con enzima Greenzyme

**F) SAGD CON CO<sub>2</sub> -ALTA PRESIÓN**

El tiempo de prueba fue de 3 horas, la presión que llegó el experimento fue de 90 psi y una temperatura de 160 °C para inyectar CO<sub>2</sub>.

No se pudo recuperar crudo por la limitante de presión en el equipo, el agua que avanzó a condensar salió fría y en un volumen de 7570 cc (ver Tabla 13).

Luego de realizar las pruebas descritas, se puede obtener los siguientes resultados de porcentajes recuperados de petróleo (ver Tabla 14).

**DISCUSIÓN**

En la tabla 15 se puede comparar los criterios de selección de las propiedades de yacimiento y fluidos para procesos SAGD y del campo Pungarayacu.

Según la tabla descrita, el campo Pungarayacu cumple con los requisitos para implementar SAGD, la tasa máxima de producción sería de 1121 bl/día con el modelo analítico de R. Butler (1999).

**ENSAYOS PRELIMINARES**

Estos fueron realizados a presión atmosférica; a una presión de 140 psig con temperaturas de 92 °C fue de 900 cP y a 180 °C fue de 50 cP, esto explica porque a presión atmosférica no se logró recuperar crudo, pero al aumentar la presión o temperatura sí se logró debido a la reducción de viscosidad.

De las pruebas de botella, se evidencia que la enzima es capaz de cambiar la mojabilidad en la roca, presentándose imbibición espontánea y forzada, produciéndose crudo por acción de la fase mojante.

**ENSAYOS CON ARENA SÍLICA**

**A) EFECTO DE LA PRESIÓN Y TEMPERATURA**

A mayor presión, consecuentemente, se obtendrá mayor temperatura y por lo tanto una reducción de la viscosidad, lo cual permite una mayor producción de petróleo y mayor factor de recobro.

De las experimentaciones realizadas, se evidencia que existe un posible rango de temperatura mínima necesaria para que el crudo de Pungarayacu pueda fluir.

**B) EFECTO DE LA ENZIMA**

Al comparar la prueba de baja presión con vapor solo vs. prueba de baja presión con vapor más enzima, el factor de recobro es 0%, mientras que al añadir enzima se tiene un factor de recobro del 4,5%. Al añadir enzima y su acción en el fenómeno de cambio de mojabilidad o reducción de fuerzas capilares ayuda que a pesar de bajas temperaturas y altas viscosidades se produzca petróleo.

Al comparar la prueba de alta presión con vapor solo vs. prueba de alta presión con vapor más enzima, el factor de recobro pasó de 19% a 30%, es decir, la enzima ayuda a recuperar el crudo tanto a altas

**Tabla 6.** Volúmenes iniciales de la celda de arena en el modelo físico

Condi- ción de referen- cia	Volumen de modelo (cc)	Volu- men espacio poroso (cc)	Volu- men petróleo (cc)	Volu- men agua (cc)	Volu- men gas (aire) (cc)
Celda de arena	38603,62	14000	9000	3000	2000

**Tabla 7.** Propiedades de la arena sílica ingresadas a la celda

Celda	Porosidad (%)	Permeabilidad (D)	Saturación (%)
Medio poroso	36,3	95,21	64,28

**Tabla 8.** Resultado final SAGD convencional - baja presión usando arena sílica

Descripción	Resultado final	
	Valor	
Crudo recuperado	0 cc	
Agua condensada	2000 cc	

**Tabla 9.** Resultado final SAGD convencional - alta presión usando arena sílica

Descripción	Resultado final	
	Valor	
Crudo recuperado	1700 cc	
Agua condensada	13400 cc	

**Tabla 10.** Resultado final SAGD con Greenzyme - baja presión usando arena sílica

Descripción	Resultado final	
	Valor	
Crudo recuperado	400 cc	
Agua condensada	1500 cc	

como bajas presiones, sin embargo, se requiere más ensayos para optimizar el proceso.

**C) EFECTO DEL CO<sub>2</sub>**

A pesar del aumento de presión, la recuperación de crudo fue nula, el efecto de reducción de viscosidad producto de la inyección de CO<sub>2</sub> no tuvo un efecto mayor que el empuje creado por la variación de presión, es decir, el desplazamiento estaba presente; sin embargo, la viscosidad al ser muy alta impidió que el crudo se movilizara.

Al utilizar CO<sub>2</sub> con el extintor de alta presión, el efecto de expansión producido en la celda de menor presión no representa una realidad en el yacimiento, por lo cual el enfriamiento no existiría, lo cual no descarta el uso de este aditivo.

**CONCLUSIONES**

Al realizar los diferentes ensayos se dedujo que los parámetros de yacimiento de mayor impacto en el proceso son: espesor de la arena, permeabilidad, saturación de petróleo y porosidad.

Se requieren temperaturas mayores a 92 °C, siendo el valor crítico para el experimento que se debe superar para movilizar el crudo que está atrapado en la roca.

La adición de enzima al vapor permite recuperar 60% más de crudo, cuando se compara con el crudo producido solo con vapor. El factor de recobro aumenta en un 12% en comparación al uso solo de vapor.

En el proceso de SAGD, la adición de pequeñas cantidades de gases no condensables como el CO<sub>2</sub> al vapor, puede mejorar la recuperación de petróleo, sin embargo, en el experimento no se pudo observar

**Tabla 11.** Resultado final SAGD con Greenzyme - alta presión usando arena sílica

Resultado final	
Descripción	Valor
Crudo recuperado	2700 cc
Agua condensada	12500 cc

**Tabla 12.** Resultado final SAGD con CO<sub>2</sub> - baja presión usando arena sílica

Resultado final	
Descripción	Valor
Crudo recuperado	0 cc
Agua condensada	1300 cc

**Tabla 13.** Resultado final SAGD con CO<sub>2</sub> - alta presión usando arena sílica

Resultado final	
Descripción	Valor
Crudo recuperado	0 cc
Agua condensada	1350 cc

**Tabla 14.** Resultados de la evaluación de ensayos

Prueba No.	Proceso	Tiempo (min)	Recuperación petróleo (cc)	F.R (%)	Vapor / petróleo (SOR)
<b>SAGD con roca del yacimiento</b>					
a)	Convencional - baja presión	210	0	-	-
b)	Convencional - alta presión	270	700	-	26,84
<b>SAGD con arena sílica</b>					
a)	Convencional - baja presión	150	0	0	-
b)	Convencional - alta presión	240	1700	18,89	10,88
c)	Greenzyme - baja presión	150	400	4,44	27
d)	Greenzyme - alta presión	240	2700	30	6,48
e)	CO <sub>2</sub> - baja presión	150	0	0	0
f)	CO <sub>2</sub> - alta presión	210	0	0	0

**Tabla 15.** Comparación Screening SAGD vs. Campo Pungarayacu

Propiedad	SAGD	Pungarayacu
Gravedad del petróleo [API]	7-12	4-12
Viscosidad del petróleo [cP]	4000 - 106	100000 @ 60°F
Profundidad del reservorio [ft]	250 - 3000	800
Espesor de pago [ft]	50 - 100	100
Permeabilidad [mD]	>3000	3000 - 4000
Saturación de petróleo [%]	>50	75

efectos favorables debido a que se usó un extintor de fuego presurizado a 200 psi, lo que ocasionó que el crudo se enfriara y no se redujera su viscosidad.

En el experimento la recuperación de crudo fue nula porque el efecto de la reducción de viscosidad producto de la inyección de CO<sub>2</sub> no fue mayor al empuje creado por la variación de presión, el desplazamiento estaba presente, sin embargo, por ser alta la viscosidad impidió que el crudo se movilizara.

#### REFERENCIAS

- Alboudwarej, H., Badry, R. y Baker, A. 2006. La importancia del petróleo pesado. *Oilfield Review*. <https://www.slb.com/-/media/files/oilfield-review/heavy-oil-3-spanish>
- Cortez, S. y Lema, C. 2019. *Evaluación de un modelo físico experimental de la técnica de SAGD combinada con aditivos para la recuperación de crudo pesado del campo Pungarayacu* (Tesis de maestría). <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/20578>
- Dorador, E. y González, I. 2014. *Nuevas tecnologías aplicadas a SAGD para mejorar la recuperación de hidrocarburos* (Tesis de pregrado). <http://oreon.dgbiblio.unam.mx/F/GHNUQYV4CX5YB2V5GG8VD7RXSDKB-THPH9RCVG6FVQ24QLCKXS7-47314?func=find-b&request=nuevas+tecnologias+aplicadas+a+SAG->

- D&find\_code=WRD&adjacent=N&local\_base=TES01&x=0&y=0&filter\_code\_2=WYR&filter\_request\_2=&filter\_code\_3=WYR&filter\_request\_3=
- Ivanhoe Energy and the Pungarayacu Project in Ecuador 2011. Ivanhoe Risk Assessment. <https://amazonwatch.org/assets/files/2011-ivanhoe-energy-in-ecuador.pdf>
- Lowy, D. 2014. *Estudio técnico de la predicción máxima de extracción y demás variables operacionales que intervienen en el proceso de producción de crudos pesados y extrapesados por segregación gravitacional asistida por vapor (SAGD), utilizando datos del campo Pungarayacu* (Tesis de pregrado). Recuperado de <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/14365>
- Males, C. y Miranda, G. 2017. Modelo de simulación matemática para la producción del campo Pungarayacu-bloque 20 (Tesis de pregrado). <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/13351>
- Ministerio de Recursos Naturales No Renovables 2014. Información sector petróleo y gas Ecuador. [https://www.academia.edu/9186034/Ministerio\\_de\\_Recursos\\_Naturales\\_No\\_Renovables](https://www.academia.edu/9186034/Ministerio_de_Recursos_Naturales_No_Renovables)
- Torres, C. 2018. *Estudio comparativo de los métodos de recuperación mejorada SAGD y VAPEX en el campo Pungarayacu mediante software de ingeniería* (Tesis de pregrado). <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/4781/1/UPSE-TIP-2019-0004.pdf>



**GOBIERNO DIGITAL EN AMÉRICA LATINA:  
¿UN RETO DE LA GESTIÓN PÚBLICA DE GOBIERNO ABIERTO?**

**Digital government in Latin America: a challenge for  
open government public management?**

Iván Morales Purunaja  
Universidad Central del Ecuador  
mimorales@uce.edu.ec  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0193-8693>

Javier Morillo Revelo  
Universidad Central del Ecuador  
jemorillo@uce.edu.ec  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0544-2962>

Lenín Tobar Cazares  
Universidad Central del Ecuador  
ljtobar@uce.edu.ec  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1911-4863>

Recibido: 10 de agosto de 2020  
Aprobado: 18 de diciembre de 2020

ARTÍCULO ORIGINAL

DOI: 10.29166/REVFIG.V112.2467

**RESUMEN**

Es conocido en el ámbito de la administración pública la influencia que ocasiona el avance tecnológico, especialmente los recursos digitales. Su empleo ha redundado en mayor fluidez comunicacional, interacción de operaciones, sistemas administrativos en línea, entre otros. América Latina no escapa del impacto altamente beneficioso de la actividad digital en cuanto a formas de gobierno. El propósito de esta investigación es realizar un análisis que contribuya al debate sobre el rol que viene cumpliendo el gobierno digital, denominado también gobierno electrónico, concretamente el nuevo paradigma de gestión pública: gobierno abierto, especialmente en América Latina. El tipo de investigación se fundamenta en la investigación documental, descriptiva y explicativa, así como también, dada su especificidad se trata de una investigación cuantitativa y cualitativa. Por otro lado, la metodología es científica, por cuanto parte de una situación problemática y del planteamiento de objetivos. La discusión gira en torno al aporte que proporciona el gobierno digital en la comunicación y transparencia de la gobernanza, la que arroja resultados sobre una nueva cosmovisión de la administración pública, determinando conclusiones que aportan de manera concluyente sobre el uso de este tipo de herramientas digitales que dinamizan y fortalecen el gobierno abierto. La referencia de análisis es el gobierno abierto de Obama en EE.UU. y el gobierno de Rafael Correa en el Ecuador.

**ABSTRACT**

The influence caused by technological advancement, especially digital resources, is well known in the field of public administration. Its use has resulted in greater communicational fluency, operations interaction, online administrative systems, among others. Latin America does not get away from the highly beneficial impact of digital activity in terms of forms of government. The purpose of this research is to carry out an analysis that contributes to the debate on the role that digital government has been playing, also known as electronic government, specifically the new paradigm of public management: Open Government, specifically in Latin America. The type of research is based on documentary, descriptive and explanatory one, as well as, given its specificity, it is a quantitative and qualitative research; on the other hand, the methodology is scientific because it starts from a problematic situation and the setting of objectives. The discussion revolves around the contribution that digital government provides in the communication and transparency of governance, which yields results on a new worldview of public administration, determining conclusions

**PALABRAS CLAVE** Nueva gestión pública, gobierno abierto, gobierno digital y electrónico, compras públicas.

**KEYWORDS** New public management, open government, digital and electronic government, public procurement.

that conclusively contribute on the use of this type of digital tools that energize and strengthen open government. The reference for analysis is the Obama's open government in the USA and Rafael Correa's government in Ecuador.

## INTRODUCCIÓN

Una vez iniciado el debate sobre la nueva gestión pública en América Latina, éste no se ha detenido y, por el contrario, sigue el curso de su enriquecimiento conceptual con nuevos paradigmas, como el de gobierno abierto. En efecto, reviste particular relevancia el análisis sobre el denominado *open government*, término que aparece en el artículo titulado «The Open Government Principle: Applying the Right to Know Under the Constitution», el cual trata el tema de la libertad de información, en relación con la rendición de cuentas y responsabilidad (Parks, 1957), ya que este paradigma se encuentra en el centro del debate de los especialistas e investigadores de la administración pública, a propósito de buscar el mejor camino sobre la gestión pública y la democracia.

En este sentido, para tener una visión más amplia sobre la nueva gestión pública, considero el punto de vista presentado al respecto por Oszlak y Malvicino (2001), en el que se plasman los diferentes enfoques que sobre la administración pública se han consolidado:

- la visión ortodoxa de la administración pública;
- la visión neoliberal de la administración pública; y,
- la visión gerencial de la administración pública.

Ahora bien, la nueva gestión pública, de acuerdo con Ramió (2001) se encuentra orientada a incrementar la eficacia y la eficiencia en la administración pública. Por otro lado, debemos considerar el análisis sobre la nueva gestión pública desarrollada por Ramió y Salvador (2005), quienes definen como la principal problemática para su implantación, la debilidad de las instituciones en América Latina, distinguiendo dos tipos de problemática o debilidades en la conformación de la institucionalidad latinoamericana: internas y externas. En lo concerniente a las debilidades internas los autores expresan lo siguiente:

Pueden identificarse cinco elementos internos. El primero de ellos es el de las consecuencias sobre el sistema político derivadas del modelo presidencialista, mayoritario en un modelo de Estado propio para cada país, sustentado por un amplio consenso social. El tercero, por los procesos de isomorfismo mimético, que implican la copia de modelos administrativos externos desvinculados de la tradición y de la cultura administrativa autóctona. Un cuarto elemento es el de la discontinuidad o intermitencia en la implantación de modelos externos, cambian-

do en poco tiempo el interés en aplicar un determinado modelo para implantar otro distinto. Por último, la ausencia o debilidad de un servicio civil de carrera que canalice a los diversos colectivos de empleados públicos. (p. 25)

En cuanto a la problemática por factores externos, los autores señalan al isomorfismo coercitivo, que implica la imposición de modelos administrativos extraños a la realidad propia de cada país; también la globalización, que favorece la competitividad de los países desarrollados y, por último, la poca competitividad para alcanzar niveles adecuados de involucramiento en la denominada sociedad de la información.

En concomitancia con los planteamientos arriba indicados sobre la problemática de la gestión administrativa de origen interno y externo, es oportuno indicar que las estructuras institucionales establecidas y que tienen un carácter básicamente burocrático, es el principal obstáculo para implementar modelos nuevos de gestión administrativa. De esta problemática surge la necesidad de buscar lineamientos propios de administración pública que consideren la particularidad de las instituciones y que se acojan a los aportes de innovación administrativa considerando los adelantos tecnológicos que son de gran ayuda, como es el caso del nuevo paradigma llamado gobierno abierto.

Por otro lado, continuando con el enfoque de los autores citados, clasifican a la gestión pública de la siguiente manera:

- El enfoque neo-empresarial, que pone énfasis en la economía, eficiencia y eficacia; y,
- El enfoque neo-público que sustenta otro grupo de investigadores y plantea la repolitización, racionalización sobre el control de los servicios públicos, la participación ciudadana y la ética en la gestión pública.

Sin embargo, de lo propuesto por los autores arriba citados, existen otros enfoques sobre la gestión pública como lo tratado por Ferraro (2009), quien plantea una división de los tipos de la nueva gestión pública de la siguiente manera:

- la nueva gerencia pública denominada también neo-gerencialismo,
- el Estado neo-weberiano.

Entonces, de acuerdo con Ferraro, el neo-gerencialismo viene a constituirse en una suerte de modernización y racionalismo de la administración pública,

que pretende utilizar las técnicas de gestión del sector privado con un espíritu competitivo y motivacional, mediante el fomento del autointerés.

Con respecto a la corriente neo-weberiana, ésta plantea la recuperación del espíritu público entre los servidores del Estado a través de sistemas de carreras públicas y profesionales con reclutamiento por méritos; además, el empleo de técnicas de gestión en redes y participación ciudadana.

Por otro lado, como la nueva gestión pública fue inspirada por los postulados del Consenso de Washington, que enunciaban una serie de medidas de estabilización y ajuste de las economías (Bidaurratzaga), posteriormente varios autores empezaron a hablar sobre el paulatino apareamiento de una gestión post nueva gestión pública, como una suerte de refutar los postulados del citado consenso, a sabiendas de que estos postulados en la práctica no se habían cumplido.

Una de las corrientes que plantea una redefinición de los esquemas de gestión pública es el concepto acuñado por algunos autores como el denominado *gobernanza*. Al respecto, Mayntz (2001) establece las diferencias que se presentan entre los conceptos de gobierno y gobernanza, destacando que con el segundo se hace referencia a los diferentes procesos de gobierno.

Más adelante, el mismo autor Mayntz (2006), realiza puntualizaciones en el sentido de explicar que el término *governance* significa una estructura de regulación que no solo se limita a los asuntos particulares de las empresas o el proceso de producción, sino que contiene todos aquellos asuntos de interés público que requieren regulación. En estudios anteriores Mayntz (1998), afirmaba que: «La gobernanza moderna significa una forma de gobernar más cooperativa, diferente del antiguo modelo jerárquico, en el que las autoridades estatales ejercían un poder soberano sobre los grupos y ciudadanos que constituían la sociedad civil» (p. 103).

En definitiva, se entiende a la gobernanza moderna como el proceso colaborativo entre las entidades estatales y no estatales, en donde los actores públicos y privados, anticipan y cooperan en la formulación de políticas públicas (Rhodes, 1997). Organismos financieros internacionales, como el Banco Mundial, fueron quienes plantearon una agenda denominada de Buena Gobernanza en el marco del llamado «Pos consenso de Washington», especialmente en lo que hace referencia al desempeño económico de los países denominados emergentes (Jaime y Sabaté, 2008).

Por otro lado, es meritorio destacar estudios posteriores de autores como Longo (2009), quien men-

ciona la existencia de perspectivas que se relacionan con el concepto de gobernanza:

- La gobernanza como «gobernanza democrática», pone énfasis en la incorporación de los ciudadanos a la acción pública.
- La segunda perspectiva, la «gobernanza eficaz», que considera la capacidad para actuar con eficacia y obtener los resultados meta.
- La tercera perspectiva normativa, gobernanza como «buena gobernanza» o *good governance* ponen mayor énfasis en el marco institucional, para el buen funcionamiento de los mercados. Esta perspectiva es a la que pone mayor importancia el Banco Mundial.

Finalmente, el autor citado, define varios ejes importantes por los que decurre la gobernanza y que son:

- las instituciones políticas,
- las instituciones de justicia,
- las instituciones de mercado,
- la gestión pública, y
- la sociedad civil. (p. 3)

#### **HACIA LA GESTIÓN PÚBLICA DE GOBIERNO ABIERTO**

El open government —gobierno abierto— tiene su data de antigüedad desde aproximadamente la década de los setenta del siglo pasado, en los medios políticos británicos, en el que se discutía la necesidad de que los gobiernos abran sus ámbitos de gestión a la necesidad de información por parte de la ciudadanía. De acuerdo a lo que plantean Lathrop y Ruma (2010):

Un gobierno abierto es un gobierno que abre sus puertas al mundo, co-innova con todos, especialmente con los ciudadanos; comparte recursos que anteriormente estaban celosamente guardados, y aprovecha el poder de la colaboración masiva, la transparencia en todas sus operaciones, y no se comporta como un departamento o una jurisdicción aislada, sino como una estructura nueva, como una organización verdaderamente integrada y que trabaja en red. (p. 42)

O también, como menciona Calderón (2012):

Un gobierno abierto es aquel que entabla una constante conversación con los ciudadanos para escuchar lo que ellos dicen y solicitan, por lo que toma decisiones basadas en sus necesidades, facilita la colaboración entre los ciudadanos y funcionarios públicos y que su comunicación se da en forma abierta y transparente. (p. 27)

Entonces, en definitiva, el denominado open government —gobierno abierto— promueve la transparencia en los actos que desarrolla el servicio público

para con los ciudadanos, promoviendo la colaboración y cooperación entre los mismos. Asimismo, el autor anteriormente citado, plantea algunos ejes de funcionalidad del gobierno abierto:

- transparencia,
- participación,
- colaboración,
- ciber ciudadanía: nuevos derechos para nuevos ciudadanos.

Sobre *transparencia*, manifiesta que los datos elaborados y producidos por las administraciones públicas corresponden a información pública. Respecto de la *participación*, se refiere a la intervención de la ciudadanía en los procesos de toma de decisiones, y no únicamente en épocas de elecciones. En lo relativo a la *colaboración*, se refiere a la cooperación que debe haber entre organismos que conforman internamente el gobierno, así como con otros gobiernos: la colaboración con la sociedad civil, con la empresa privada y los emprendedores, y la colaboración con la ciudadanía. Respecto de *ciber-ciudadanía*, considera el autor que la sociedad se encuentra estructurada en redes de comunicación, por ello se lo denomina sociedad en red, es decir, la sociedad está conformada por redes de información que procesan, almacenan y transmiten información sin restricciones de distancia tiempo ni volumen.

Por otro lado, Oszlak (2012), respecto al desarrollo de las tecnologías en informática y las comunicaciones, menciona que la tecnología de la web 2.0, ha permitido la traslación desde el plano comercial al empleo masivo como plataforma a múltiples redes sociales. Más adelante, el mismo autor Oszlak (2013), plantea que la disponibilidad de herramientas web 2.0, facilita la comunicación de doble vía entre gobierno y ciudadanía.

Finalmente, para el presente análisis de gobierno abierto, presentamos los principios estipulados por Ramírez y Dassen (2012), que definen el rol que viene cumpliendo este nuevo paradigma de la gestión pública:

- Mejorar los niveles de transparencia y acceso a la información, a través de la apertura de datos, con la finalidad de ejercer control social y rendición de cuentas, así como reutilizar la información del sector público con el objeto de promover la innovación y el desarrollo económico.
- Facilitar la participación de la ciudadanía para el diseño e implementación de políticas públicas.
- Promover espacios de colaboración entre los diferentes actores, básicamente entre la administración pública, la sociedad civil y el sector privado.

#### **LOS PROPÓSITOS ESPECÍFICOS DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN CONSISTEN EN:**

Primero. Contribuir al debate sobre gobierno abierto como parte del enfoque de la nueva gestión pública (NGP), en América Latina.

Segundo. Analizar el aporte del gobierno digital, en los procesos públicos de la nueva gestión pública de gobierno abierto en América Latina.

Tercero. Definir el papel de las compras públicas como mecanismo ejecutor del gobierno digital en la prestación de los servicios públicos por parte de los Estados de América Latina.

Debido a lo expuesto, esta investigación pretende dar respuesta a la pregunta de investigación siguiente: ¿Es un reto de la gestión pública de gobierno abierto, el gobierno digital en América Latina?

#### **EL PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación plantea un proceso sencillo con la finalidad de que se expliciten las relaciones entre las variables, tanto independientes como dependientes. En este sentido, las variables empleadas son:

- Variable dependiente: gobierno abierto, ya que su desarrollo solo puede evidenciarse al amparo de la variable independiente que es la tecnología.
- Variable independiente: tecnología digital, en la medida en que el desarrollo de la tecnología, particularmente la comunicación digital, permite el posicionamiento de un gobierno abierto a las interacciones con la sociedad.

Las variables involucradas, tanto la variable principal independiente como la dependiente y sus respectivas interacciones se presentan en la siguiente figura que define el proceso de investigación a través de un sencillo modelo (ver Figura siguiente):

El modelo de investigación planteado consiste en analizar las diferentes corrientes que abordan a la nueva gestión pública (NGP), concretar en el nuevo paradigma de gestión como el gobierno abierto, establecer al gobierno digital como el brazo ejecutor de gobierno abierto, y definir las compras públicas como ejemplo de gobierno digital para el desarrollo social y transparencia. La tipología de investigación se basa en la exploratoria, descriptiva y está fundamentada en fuentes documentales debido a que se sustenta en teorías y enfoques de gestión pública y su aplicación en América Latina.

#### **MATERIALES Y MÉTODOS EMPLEADOS**

En cuanto tiene que ver con la metodología de investigación, la aplicada es la científica ya que se considera al estudio de la gestión pública como un fenómeno sistémico y de causa-efecto, con procesos que van desde la descripción del problema, el estableci-

**Tabla 1.** Materiales y métodos de investigación. Diseño metodológico

<b>Enfoque</b>	<b>Cualitativo</b>
Por su finalidad	Aplicada
Por las fuentes de información	Documental
Por las unidades de análisis	In situ
Por el control de las variables	No experimental
Por el alcance	Explicativo
Por el diseño	Transversal
Procedimiento para tratamiento y análisis de información	Varios: la investigación abarca el análisis de síntesis de la revisión bibliográfica

miento de objetivos, análisis y discusión para luego obtener resultados y conclusiones sobre gobierno digital y abierto. A continuación, presentamos en detalle el diseño metodológico que sigue la investigación en curso (ver Tabla 1).

#### **RESULTADOS OBTENIDOS**

Realizado el análisis anterior, es necesario establecer los resultados que arroja la investigación y que guardan concomitancia con el objetivo general y los específicos que fueron establecidos previamente. Estos resultados son:

- Haber definido líneas de aporte del gobierno abierto como parte del enfoque de la nueva gestión pública (NGP), en América Latina. Este resultado corresponde a la variable dependiente.
- Establecer aportes del gobierno digital, en los procesos de la nueva gestión pública de gobierno abierto en América Latina. El resultado obtenido pertenece a la variable independiente.
- Haber identificado el papel de las compras públicas como mecanismo ejecutor del gobierno digital en la prestación de los servicios públicos por parte de los gobiernos de América Latina. Este resultado es el ejemplo patético de la intervención de la variable tecnología digital que viabiliza las proyecciones de gobierno abierto.

#### **DISCUSIÓN**

##### **EL GOBIERNO DIGITAL (ELECTRÓNICO) COMO MECANISMO EJECUTOR DEL GOBIERNO ABIERTO**

Si bien es cierto existen muchos mecanismos para la proliferación e implantación de gobierno abierto por parte de los gobiernos, es el denominado gobierno electrónico o gobierno digital, el motor o vehículo más efectivo para su implantación. Evidentemente esto ha sido posible únicamente con los avances de la ciencia y tecnología. Así podemos señalar que el desarrollo de las tecnologías de la información se ha

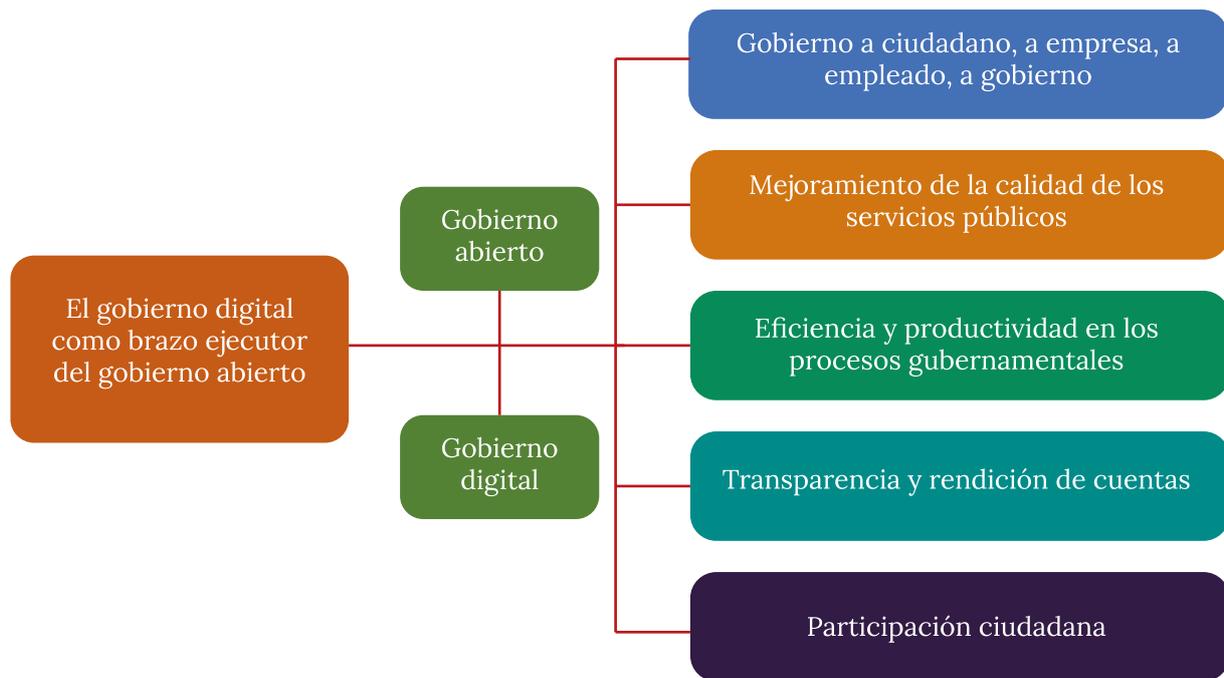
constituido en el motor de las comunicaciones en la sociedad. En este sentido, como plantean Naser y Concha (2011):

En la actualidad, la introducción de las TIC en la planificación estratégica de los servicios públicos está produciendo cambios en las diferentes áreas: justicia, salud, economía, impuestos, etc. El significativo desarrollo de las TIC en los últimos años abre nuevos e interesantes canales, tanto para la provisión de servicios a la sociedad, como para mejorar la calidad y oportunidad de la información a la que los ciudadanos pueden acceder. Durante los últimos años la mayoría de los gobiernos de América Latina han implementado una serie de reformas estructurales y legales de modernización de la gestión pública que posibilitan una mejor instalación del GE y de su desarrollo gradual, transitando en buena medida hacia las diferentes etapas que con la literatura denomina los modelos de evolución. (p. 8)

Pero para que pueda desarrollarse en términos óptimos la aplicación de gobierno digital en la administración pública, es necesario que ésta tenga un alto grado de transformación, tal como los señalan Salvador y Ramírez (2016), sobre el alcance y profundidad de las transformaciones internas debe considerarse, indudablemente, la potenciación de los profesionales que integran la administración pública.

Por otro lado, Naser y Concha (2011) mencionan ocho principios para los datos de gobierno abierto (open government data), desarrollados por un grupo de investigadores de California, en el año 2007; mismos que consisten en los siguientes:

- Los datos deben estar completos: los datos públicos no deben estar sujetos a privacidad u otras limitaciones. Además, deben estar electrónicamente almacenados.



**Figura 1.** El gobierno digital como brazo ejecutor del gobierno abierto.

- Los datos deben ser primarios: disponibilidad de la fuente primaria, sin procesamientos y sin formas agregadas.
- Los datos deben ser oportunos: ello para preservar su valor.
- Los datos deben ser accesibles: la disponibilidad debe ser la más amplia posible para los usuarios y para propósitos diversos.
- Los datos deben poder ser procesados: deben estar razonablemente estructurados para permitir su automatización por diversas herramientas.
- Acceso indiscriminado: disponibilidad para cualquier usuario, sin necesidad de su registro.
- El formato de los datos debe ser no-propietario: deben estar disponibles en un formato donde nadie deba tener la exclusividad de su control.
- Los datos deben estar libres de licencias: no deben estar sujetos a *copyright*, patentes, o regulaciones secretas. Una razonable privacidad, seguridad y restricciones puede ser aplicada por el gobierno u otros estamentos.

Siguiendo con el estudio de los autores anteriormente citados, Naser y Concha (2011), y con la finalidad de establecer e identificar algunos de los beneficios que proporciona el empleo de GE o gobierno digital, se procede a detallar los principales:

- *Gobierno a ciudadano*, que constituyen las iniciativas para proveer de servicios administrativos e información a los ciudadanos.

- *Gobierno a empresa*, consiste en proveer servicios administrativos e información a través de la web a las empresas.
- *Gobierno a empleado*, desarrollo de servicios para el fomento profesional de los empleados públicos.
- *Gobierno a gobierno*, es la coordinación intragubernamental para la gestión de tareas de la administración pública como presupuestos, adquisiciones, planificación, gestión de infraestructuras e inventarios y otros servicios.
- *Mejoramiento de la calidad de los servicios públicos*, consiste en dotar de buenos servicios a la sociedad, empresas y otras organizaciones.
- *Eficiencia y productividad en los procesos y operación gubernamental*, con el objeto de optimizar los recursos frente a necesidades crecientes.
- *Transparencia y rendición de cuentas*, con el objeto de combatir la corrupción.
- *Participación ciudadana*, con la finalidad de que la ciudadanía participe de manera efectiva en las decisiones públicas.
- *Marco regulatorio que respalde el gobierno*, los gobiernos crean normas y reglamentos que regulan la implementación de las TIC.
- *Marco legal y regulatorio que fomente la sociedad de la información*, similar actividad gubernamental, planteada en el párrafo anterior.

Como beneficio concreto de las posibilidades de aplicación de gobierno digital en el gobierno y la so-

**Tabla 2.** Participación de las compras públicas en el PIB de las regiones del mundo (2016-2017). Compras públicas por regiones del mundo

Región	2016	2017	Promedio
Unión Europea	20,5	20,26	20,38
Mundo	17,04		17,04
África subsahariana	14,05	16,42	15,23
BRICS	16,9	16,92	16,91
Oriente Medio y Norte de África	19,19	17,28	18,23
Estados Unidos	14,27		14,27
América Latina y el Caribe	16,77	16,84	16,81
China	14,32	14,26	14,29
Asia Pacífico	16,17		16,17

Fuente: Banco Mundial (2018).

ciudad, citamos el análisis que realizan Robinson y Harlan (2012), en el que manifiestan que la apertura de datos está sirviendo para que los funcionarios públicos, utilicen todo este bagaje de información en red para la creación de políticas públicas en beneficio de la sociedad y su propia funcionalidad.

#### COMPRAS PÚBLICAS COMO HERRAMIENTA DE DESARROLLO SOCIAL Y TRANSPARENCIA EN EL GOBIERNO DIGITAL

El proceso de compras públicas en los países de América Latina (AL), viene a constituirse en fuente generadora de dinámica administrativa en las adquisiciones públicas, fuente de desarrollo social y un buen mecanismo de transparencia en los servicios que presta la administración pública a la sociedad. En lo concerniente al proceso que viene a constituirse en una herramienta para el desarrollo nacional, se plantea:

El concepto de compra pública ha evolucionado hasta llegar a entenderla como una herramienta de desarrollo que permite incorporar a sectores vulnerables de la sociedad dentro del proceso económico general, y generar no solo egresos al Estado, sino buena parte del dinamismo de la economía nacional, con efectos en la generación de empleo, la canalización de inversiones y el desarrollo productivo. (SELA, 2014, p. 3)

En este sentido, de acuerdo con la presente investigación, evidenciada en la tabla 2, con información del Banco Mundial, se tiene la participación de compras públicas respecto al PIB, de las diferentes regiones del mundo, durante los años 2016 y 2017. Analizando

el promedio de los dos años, se tiene que la Unión Europea es la que tiene mayor participación de sus compras públicas respecto del PIB (con el 20,38%), seguido por la región de Oriente Medio y Norte de África con el 18,23% y luego ciertas regiones compuesta por el grupo de los BRICS con el 16,91%, América Latina y el Caribe con el 16,81%, Asia Pacífico con el 16,17%. Es necesario destacar que los países con menor participación de compras públicas respecto al PIB son los EE. UU. y China con el 14,27% y 14,29%, respectivamente (ver Tabla 2).

Por otro lado, analizando al conjunto de países que conforman la región de América Latina y el Caribe, de acuerdo con la tabla 2, en la que se evidencian las compras públicas (por año y promedio de los 5 años), frente al PIB, durante el período 2013-2017, se obtiene las siguientes conclusiones:

- El país que tiene mayor participación de compras públicas comparado con el PIB es Cuba con el 32,35% de participación (en los años 2013, 2014 y 2015).
- Existe un grupo conformado por 5 países que se encuentran en la escala de 15% y 20%, y que son Brasil (19,61%), Colombia (18,40%), Argentina (17,60%), Guyana (16,89%) y Bolivia (16,10%).
- Luego viene un conjunto considerable de países con porcentajes promedios inferiores al 15%, en el que se encuentra Ecuador (14,31%).
- Es necesario destacar que existe un grupo de países de los que el Banco Mundial no presenta información como Dominica, Granada, San Cristóbal y Nieves, Santa Lucía, San Vicente y

**Tabla 3.** Participación de las compras públicas/pib en América Latina y el Caribe: 2013-2017. Compras públicas de América Latina

<b>País</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>Promedio</b>
Antigua y Barbuda	-	-	-	-	-	
Argentina	16,806	16,95	18,098	18,035	18,112	17,6
Bahamas	12,624	12,075	12,303	11,924	13,005	12,39
Barbados	14,317	13,868	13,331	13,636	13,082	13,65
Belice	15,215	15,009	15,08	16,311	16,703	15,66
Bolivia	13,842	14,707	17,495	17,458	17,022	16,1
Brasil	18,892	19,154	19,777	20,175	20,048	19,61
Chile	12,301	12,699	12,99	13,719	13,962	13,13
Colombia	17,696	17,942	18,619	18,685	19,051	18,4
Costa Rica	17,571	17,5	17,48	17,257	17,298	17,42
Cuba	32,447	32,407	32,206	-	-	32,35
Dominica	-	-	-	-	-	0
Ecuador	14	14,296	14,43	14,372	14,434	14,31
El Salvador	16,316	15,9	16,375	16,085	15,818	16,1
Granada	-	-	-	-	-	0
Guatemala	10,57	10,849	10,37	9,785	9,702	10,26
Guyana	14,205	16,926	17,201	17,119	18,997	16,89
Haití	3,114	3,382	3,551	3,719	3,576	3,47
Honduras	16,734	15,332	14,305	14,233	13,848	14,89
Jamaica	15,513	14,52	13,827	13,86	13,668	14,28
México	12,191	12,204	12,336	12,121	11,803	12,13
Nicaragua	13,762	14,28	14,306	15,064	15,265	14,54
Panamá	10,713	10,042	10,347	10,64		10,44
Paraguay	12,264	12,274	12,78	11,874	11,84	12,21
Perú	11,499	12,739	13,194	13,443	13,41	12,86
República Dominicana	10,448	11,163	12,028	12,172	12,171	11,6
San Cristóbal y Nieves	-	-	-	-	-	0
Santa Lucia	-	-	-	-	-	0
San Vicente y las Granadinas	-	-	-	-	-	0
Suriname	16,596	16,002	17,452	11,163	11,735	14,59
Trinidad y Tobago	-	-	-	-	-	0
Uruguay	13,522	13,696	13,836	14,519	14,346	13,98
Venezuela	12,389	14,603	-	-	-	13,5

Fuente: Banco Mundial (2018).

las Granadinas y Trinidad y Tobago. Venezuela presenta información de los años 2013 y 2014. Es evidente que, de acuerdo con el estudio realizado, los países sudamericanos, entre los que se halla Ecuador, se encuentran en lugares entre intermedios y bajos en la proporción de las compras públicas respecto del PIB (ver Tabla 3).

#### COMPRAS DIGITALES COMO MECANISMO DE TRANSPARENCIA EN LOS SERVICIOS QUE PRESTA LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA

En América Latina, como se analizó el tema anterior, ya existe una fuerte participación de las compras públicas en la generación del Producto Interno Bruto (PIB), por lo que en la conferencia: «Compras públicas como herramientas de desarrollo en América Latina y el Caribe» y que son canalizadas mediante gobierno digital o electrónico, se dice:

El gobierno electrónico puede entenderse como uno de los principales instrumentos de modernización del Estado y resulta del uso estratégico e intensivo de las TIC en las relaciones internas de los propios órganos de gobierno y también en las relaciones del sector público con los ciudadanos y las empresas, ya sea en la oferta de servicios públicos o en los procesos de compras gubernamentales. (SERCOP, 2015, p. 9)

Los procesos anteriormente descritos demuestran una clara intención de mejorar la eficacia en la prestación de los servicios públicos, como también desenvolverse en un marco de profunda transparencia. Respecto a la transparencia en las compras públicas, el autor citado, Pulgar (2014), en líneas anteriores manifiesta que existen tres dimensiones de ella:

- Publicidad hacia los proveedores,
- Limitación en la discrecionalidad hacia los oferentes y,
- Un sistema de monitoreo. (p. 9)

Finalmente, organismos que impulsan la implementación y desarrollo de los procesos de compras públicas, como el Banco Interamericano de Desarrollo, buscan que se profundice el mecanismo, especialmente en los organismos internacionales, en proyectos que éste desarrolla (BID, 2016).

#### CONCLUSIONES

- La presente investigación ha definido líneas de análisis que buscan constituirse en un verdadero aporte al estudio del nuevo paradigma de la administración pública, como es la gestión de gobierno abierto, como parte del enfoque de la nueva gestión pública (NGP), en América Latina, especialmente en lo concerniente al análisis de gobernanza y del *open government*.

- Se establece el aporte que realiza la tecnología digital en la configuración del llamado gobierno digital, premisa fundamental para la consolidación y empoderamiento del nuevo paradigma de administración pública como es el modelo de gestión de gobierno abierto en América Latina.
- Se concluye también que los procesos de compras públicas, con el apoyo de mecanismos electrónicos, se están constituyendo en verdaderos mecanismos de ejecución de gobierno digital en la prestación de los servicios públicos y transparencia por parte de los gobiernos de América Latina, lo que consolida y confirma la necesidad imperiosa de que éstos asuman rasgos de transparencia y responsabilidad social.

#### REFERENCIAS

- Banco Mundial 2018. *Gasto de consumo final del gobierno general (% del PIB)*. [https://datos.bancomundial.org/indicador/ne.con.govt.zs?locations=V2-EC&name\\_desc=false](https://datos.bancomundial.org/indicador/ne.con.govt.zs?locations=V2-EC&name_desc=false)
- Bidaurratzaga, E. s. f. *Observatorio de multinacionales en América Latina*. <http://omal.info/spip.php?article4820>
- BID, B. I. d. D. 2016. *Las compras públicas en América Latina y el Caribe en los proyectos financiados por el BID*. s.l.:s.n.
- Calderón 2012. *El desafío hacia el gobierno abierto en la hora de la igualdad*. s.l.: CEPAL.
- Ferraro, A. E. 2009. Reinventando el Estado por una administración pública democrática y profesional en Iberoamérica. En Madrid: Instituto Nacional de Administración Pública.
- Jaime, F. y Sabaté, F. 2008. *Gobernanza e instituciones financieras internacionales ¿Qué hay de nuevo en el apoyo a las políticas de desarrollo?*. s.l.:s.n.
- Lathrop y Ruma 2010. *Open government: collaboration, transparency, and participation in practice*. Sebastopol: O'Reilly Media. s.l.:s.n.
- Longo, F. 2009. *Los desafíos de la gobernanza en los sistemas públicos iberoamericanos*. Salvador de Bahia-Brazil: s.n.
- Mayntz, R. 1998. New challenges to governance theory. *Jean Monnet Chair Papers*, (50).
- Mayntz, R. 2001. El Estado y la sociedad civil en la gobernanza moderna. *Revista del CLAD Reforma y Democracia*, 21.
- Mayntz, R. 2006. *Governance en el Estado moderno*. s.l.:s.n.
- Náser y Concha 2011. *El gobierno electrónico en la gestión pública..* s.l.:s.n.
- Oszlak, O. 2012. *Gobierno abierto: promesas, supuestos, desafíos*. s.l.:s.n.
- Oszlak, O. 2013. *Gobierno abierto: Hacia un nuevo paradigma de gestión pública..* s.l.:s.n.
- Oszlak, O. y Malvicino, G. 2001. Nuevos modelos insti-

- tucionales para la gestión pública: Experiencias comparadas y aplicaciones potenciales al caso argentino. En O. Oszlak y G. Malvicino. Buenos Aires, Argentina: s.n.
- Parks, W. 1957. The open government principle: applying the right to know under the Constitution. *The George Washington Law Review*, p. 26.
- Pulgar, T. 2014. *Las compras públicas como herramienta de desarrollo en América Latina y el Caribe*. s.l.:s.n.
- Ramió, C. 2001. Los problemas de la implantación de la nueva gestión pública en las administraciones públicas latinas: Modelo de Estado y cultura institucional. *Revista del CLAD Reforma y Democracia*, 21.
- Ramió, C. y Salvador, M. 2005. *Instituciones y nueva gestión pública en América Latina*, Barcelona: s.n.
- Ramírez, Á. y Dassen, N. 2012. *Gobierno abierto: la ruta hacia una nueva agenda de reforma del Estado y modernización de la administración pública en América Latina y el Caribe*. s.l.:s.n.
- Rhodes, R. 1997. *Understanding governance. policy networks, governance, reflexivity and accountability*. Buckingham. Philadelphia: *Open University Press*: s.n.
- Robinson y Harlan 2012. *Apertura de datos. Primeras lecciones para el diseño de políticas: el desafío hacia el gobierno abierto en la hora de la igualdad*. s.l.: CEPAL.
- Salvador, M. y Ramírez, O. 2016. *Gobierno abierto y competencias digitales: Transformando la administración pública para afrontar los retos del nuevo paradigma*. SELA, S. E. L. y. d. C. 2014. *Las compras públicas como herramienta de desarrollo en América Latina y el Caribe*. Caracas, Venezuela: s.n.
- SERCOP, S. N. d. C. P. 2015. *América Latina y el Caribe integran sus sistemas de compras públicas*. s.l.:s.n.



## RECUPERACIÓN DE ORO MEDIANTE CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA UTILIZANDO CONCENTRADORES TIPO Z EN EL DISTRITO MINERO ZAMORA-ECUADOR

### Gold recovery by gravimetric concentration using Z-type concentrators in the Zamora-Ecuador mining district

Cristhian Feijoo Loayza  
Instituto de Investigación Geológico y Energético  
cristhian.feijoo@geoenergia.gob.ec  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1261-1768>

Fausto Acosta Fiallos  
Instituto de Investigación Geológico y Energético  
fausto.acosta@geoenergia.gob.ec  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6502-4378>

Recibido: 03 de junio de 2020  
Aprobado: 18 de diciembre de 2020

ARTÍCULO ORIGINAL

DOI: 10.29166/REVFIG.V112.2283

#### RESUMEN

El Ecuador por su relieve geográfico tiene un alto potencial de recursos mineros, los cuales pueden ser explotados de manera adecuada para generar altos réditos económicos que beneficien al país. Muestra de ello es la provincia de Zamora Chinchipe, la cual contiene uno de los cinco principales yacimientos ecuatorianos de oro aluvial, donde se utilizan métodos de extracción gravimétricos. Sin embargo, también es evidente la falta de tecnificación en los procesos de beneficio de minerales en este sector minero. Por ejemplo, es muy común el uso del concentrador gravimétrico tipo z. Este tipo de equipo presenta una serie de inconvenientes durante su operación para la recuperación de mineral, por ejemplo, las distancias cortas que recorre el mineral en el lavado, el escape de oro libre fino por la corriente, el uso de sacos de yute en los canalones, etc. Para el presente estudio, se tomaron muestras de nueve plantas de beneficio del sector con el fin de determinar la eficiencia de recuperación de oro, se analizó la configuración de los diferentes concentradores tipo z estudiados, parámetros de operación, y la presencia de mercurio en las colas de descarga. Los resultados muestran que las recuperaciones de oro en las plantas estudiadas van desde el 12% al 98%, demostrando que el equipo es ineficiente cuando el mineral presenta oro fino y, por lo tanto, es necesario implementar nuevas alternativas que mejoren los procesos de recuperación.

#### ABSTRACT

Ecuador has a high potential for mining resources, which can be properly exploited to generate high economic returns for the benefit of the country, proof of this is the province of Zamora Chinchipe which is one of the 5 main Ecuadorian alluvial gold deposits, where gravimetric extraction methods are used. However, it is also evident the lack of technification in the mineral profit processes in this mining sector. For example, the use of the Z-type gravimetric concentrator is very common. This type of equipment has several drawbacks during its operation for mineral recovery. For the present study, samples were taken from nine profit plants of the sector in order to determine the efficiency of recovery of gold, the configuration of the different Z-type concentrators studied, operating parameters was analyzed, and the presence of mercury in the tailings. The results show that gold recoveries in the plants studied range from 12% to 98%, showing that the equipment presents disadvantages when the ore presents fine gold and therefore it is necessary to have alternatives that improve the recovery processes.

**PALABRAS CLAVE** Concentrador gravimétrico tipo z, oro fino, recuperación.

**KEYWORDS** Z-type gravimetric concentrator, fine gold, recovery.

## INTRODUCCIÓN

La geología de Zamora-Ecuador consta de rocas, meozoicas y cenozoicas de diversos ambientes genéticos. La geología de la faja subandina al sureste del Ecuador está dominada por la intrusión de batolitos tipo I, del arco continental Jurásico Zamora (complejo intrusivo de Zamora), que intruyen a rocas prejurásicas. Los volcánicos de la Fm. Misahuallí son la expresión extrusiva del arco continental Jurásico. Afloran rocas volcanoclásticas de la U. Piuntza y lavas de la U. Pachicutza (triásica) en ventanas tectónicas sobre el complejo intrusivo de Zamora. Las rocas sedimentarias de las formaciones Hollín y Napo de edad cretácica yacen discordantes sobre el complejo intrusivo de Zamora (INIGEMM, 2017).

Los placeres aluviales de oro se crean por la erosión y liberación de los depósitos hidrotermales de oro o vetas auríferas formadas, que a su vez son transportados por sistemas de corrientes de aguas abajo a distancias que van desde metros a cientos de kilómetros, como se indica en la figura 1 (Stewart *et al.*, 2017; Marsden & House, 2006).

La provincia de Zamora Chinchipe forma parte de uno de los cinco principales yacimientos ecuatorianos de oro aluvial originados a partir de rocas metamórficas de la cordillera Real, lo que ha permitido el surgimiento de la actividad minera para recuperación de oro secundario (Pillajo, 2009). Las terrazas aluviales constan principalmente de cantos y bloques redondeados heterolecitos, por lo que es frecuente encontrar terrazas gradadas en diferentes niveles y flanqueando a los depósitos aluviales de los ríos Zamora, Jambüe y Nangaritza.

Mientras que los depósitos coluviales se forman por fenómenos de remoción en masa en zonas de pendiente fuerte y donde hay cambios de pendiente drenan a los ríos principales: Jambüe, Bombuscaro y Nambija, entre otros. Además, se caracteriza por poseer bloques y gravas; ser heterogéneos con fragmentos de rocas mal clasificados y mal trabajados. En estos depósitos, existen deslizamientos activos e inactivos, donde se observa la zona de arranque y la de depósito. Los depósitos aluviales localizados a orillas de los ríos Zamora, Jambüe, Bombuscaro, Nambija, Nangaritza, entre otros. Están constituidos por bloques, cantos rodados, gravas de rocas ígneas intrusivas de composición intermedia a ácida, arenas gruesas y finas (inigemmm, 2017) (ver Figura 1).

Se han encontrado indicios de oro en los ríos Mayo, Yunganza, Nambija, Yacuambi, Zamora, Upano, Santiago, San Francisco, Sigsig, Paute, Bomboiza, río Blanco, Mangahurco, La Zarza, Espadillas, Yacu-

chingari, Suárez, Machinaza, Collay, Palanda, río Negro, Abanico, Cashpaimi y Tutanangoza. Sin embargo, cabe indicar que la accesibilidad a estos sectores, no es buena, a pesar de tener buenas posibilidades para colocar el equipo necesario para realizar una explotación minera a mediana y gran escala (Pillajo, 2009).

En la recuperación aluvial de oro a bajo costo y para procesar un alto volumen de mineral se utiliza concentradores tipo «z». Estos concentradores gravimétricos poseen canalones colocados a un ángulo entre los 11 y 30 grados de inclinación, según lo explican varios autores. Esta inclinación depende del tipo de material de alimentación. Los materiales más arcillosos requieren de menos gradiente que los materiales más gruesos. Para la inclinación de los canalones se puede tomar de referencia la inclinación de las mesas de concentración gravimétrica que están entre 0 y 10 grados. Finalmente, se puede mejorar la eficiencia del proceso adicionando en serie otros concentradores. Para lo cual se recomienda colocar un canalón primario, seguido de un jigs y, por último, un segundo canalón de las mismas características que el primario (Santos, 2015; Rodríguez, 2019; Navarro, 2017; Tupiza & Guzmán, 2019).

Las dimensiones de los canalones son muy variadas, oscilando entre 4,5 y 5,4 m de largo y 0,54 m de ancho. En la minería ilegal o antitécnica se adiciona mercurio a las canaletas y/o directamente al concentrado obtenido de las bayetas para la extracción de oro (Rodríguez, 2019; Tupiza y Guzmán, 2019).

Frente al proceso de amalgamación, existen alternativas más limpias para la recuperación del oro de este sector, los concentradores gravimétricos que separan los minerales de diferente gravedad específica por el movimiento a favor de la gravedad y por otra fuerza resistente al movimiento que puede ser un fluido como el agua o el aire. Para conocer de alguna manera el tipo de separación tomando en cuenta la gravedad específica se utiliza el criterio de concentración (Wills y Finch, 2016).

Criterio de concentración. Se utiliza como herramienta matemática para tener una idea general de la facilidad para separar minerales mediante técnicas gravimétricas. Fue desarrollado por Taggart en 1945, sobre la base de datos experimentales (Navarro, 2017; Heredia, 2015). La ecuación (1) representa al criterio de concentración.

$$\text{Criterio de concentración} = \frac{Dh-Dl}{Dl-Df} \quad \text{Ec. (1)}$$

**Tabla 1.** Plantas procesadoras in situ para la recuperación de oro secundario

Minera	Código
Sociedad pequeños mineros de San Carlos	SPMSC
Sociedad minera de San Carlos	SMSC
Sociedad minera de San Carlos Frente 3	SMSCF3
Sociedad minera de San Carlos Frente 1	SMSCF1
ENAMI EP	ENAMI
Tsamaraint	TSA
Solórzano 1	SOL1
Solórzano 2	SOL2
Torres	TOR

Donde:

Dh = Densidad relativa del mineral denso

DI = Densidad relativa del mineral liviano

Df = Densidad relativa del medio fluido

Quando el criterio de concentración es mayor a 2,5 la separación es eficiente hasta una malla #200. Un valor entre 2,5 y 1,75 indica que la separación es eficiente hasta una malla #100. De 1,75 a 1,50 la separación es posible hasta una malla #10, valores menores indican que la separación es muy poco eficiente (Navarro, 2017).

Esta investigación está orientada en el estudio del diagnóstico y funcionamiento de la recuperación de oro fino (-44  $\mu\text{m}$ ) y grueso (44  $\mu\text{m}$  a 1000  $\mu\text{m}$ ) en la minería aluvial con el uso de concentradores tipo z.

## METODOLOGÍA

### SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS

Las zonas de interés fueron seleccionadas con base en la relevancia de la actividad de recuperación de oro secundario en el distrito minero. En la tabla 1 se muestran las diferentes plantas procesadoras de recuperación de oro secundario con su respectiva codificación.

En el trabajo de campo se identificaron los principales equipos utilizados en la explotación y beneficios de minerales, además se efectuaron mediciones de las dimensiones de los concentradores gravimétricos como la altura del equipo, altura de la tolva, ancho de canalón, tamaño de luz de la malla del canalón, longitud de parrilla y tamaño de luz de parrilla (ver Tabla 1).

Para la determinación del flujo volumétrico, se consideró la velocidad lineal de la pulpa en función del tiempo de transporte de una pieza plástica en

una trayectoria conocida. La medición se realizó 5 veces y, además, se midieron el ancho del canalón y altura de la cama de agua para determinar el flujo de descarga, conforme los datos que se requieren para la Ec. (2).

$$q = \frac{d}{t} \cdot a \cdot h \cdot 3600 \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

q: flujo volumétrico de descarga de la pulpa ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

a: ancho del canalón (m)

d: longitud de la medición (m)

h: altura de la cama de agua (m)

t: tiempo promedio del transporte de la pieza plástica (s)

Para la recolección del mineral de cabeza se procedió de la siguiente manera: se tomaron pequeñas muestras del montículo de material que ingresaba al concentrador, se realizó una homogenización y un cuarteo manual, se escogieron muestras representativas para su caracterización respectiva. Las muestras de relaves se recolectaron utilizando recipientes de 50 l, en los mismos que se hicieron sedimentar los sólidos y se tomó aproximadamente 1 kg del mineral húmedo.

### CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LAS MUESTRAS

Para el análisis granulométrico de las muestras recolectadas en campo, se procedió a secar las muestras en una estufa a una temperatura de 50 °C y después se realizó un tamizado mecánico en húmedo con la utilización de una gama de tamices que iban de la malla astm #18 a malla astm #25, con lo cual se determinó así el diámetro de partícula ( $dp_{80}$ ).

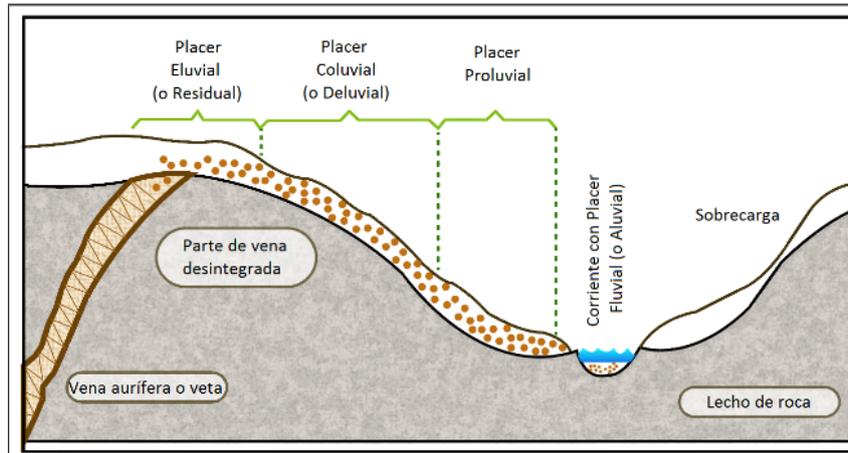


Figura 1. Proceso de formación de placeres aluviales de oro (Marsden y House, 2006).

Para la determinación de oro se utilizó el ensayo al fuego combinado con la lectura en ICP-OES. La medición de mercurio se realizó por la técnica de generación de hidruros por lectura en un equipo de absorción atómica.

## RESULTADOS

En la figura 2 se observa el esquema (2A) y la instalación del equipo concentrador tipo z (2B). El concentrador tipo zeta consiste en dos o más canalones ubicados uno a continuación del otro soportados en una estructura metálica, la misma que está asentada en una base que le proporciona estabilidad. Sus principales componentes son:

- Tolva de alimentación,
- Parrilla para clasificación de mineral,
- Dos o más canalones en serie.

Mientras que los componentes auxiliares de la zeta son:

- monitor de agua a presión,
- una bomba centrífuga,
- sistemas de mangueras para transportar agua desde el río o tanque reservorio,
- excavadora de brazo largo para la alimentación del material. (Ver Figura 2).

La tolva de alimentación se encuentra en la parte más alta de la zeta y tiene una inclinación de  $8^\circ$  con respecto al eje horizontal, una altura de 60 a 79 cm, ancho de 120 a 180 cm y una longitud de 220 a 310 cm. Su capacidad es de un metro cúbico aproximadamente y recibe la alimentación mediante una excavadora de brazo largo. El material es lavado mediante un flujo de agua a presión proporcionado por el monitor para propiciar la disgregación del material fino que se encuentra adherido al material grueso libre de valor. De esta manera, el material fino forma una pulpa que inicia el recorrido a través de los canalones. Por otra parte, el

material grueso es eliminado mediante la parrilla de clasificación.

La parrilla está formada por una serie de varillas metálicas de 3 a 6 cm de diámetro, espaciadas en forma paralela con una distancia de 2 a 4 cm. La parrilla tiene un largo de 2,5 a 3,5 m, y un ancho de 1,2 a 1,5 m (ver Figura 3). El material que tiene un tamaño inferior a 4 cm pasa por la abertura de las varillas de la parrilla y continúa hacia los canalones, mientras que el material con un tamaño superior a los 4 cm es eliminado del sistema.

El canalón consta de un plano de 1,5 m de ancho y 3,5 m de largo aproximadamente con una inclinación de  $14^\circ$  de inclinación con respecto al eje horizontal. Sobre la superficie inclinada del canalón se tiene una malla metálica de una pulgada de alto (2,54 cm), y con un entramado en forma de rombo de 4 x 8 cm de luz. Este entramado permite la retención del material pesado en las fibras de yute que se colocan en la parte inferior, lo cual permite la sedimentación del material pesado durante su trayecto por los canalones. En la figura 4 se muestra un esquema de un canalón (ver Figura 4).

Los minerales comunes en los depósitos aluviales son la magnetita, ilmenita, granate y colombo-tantalita y los metales preciosos como oro, plata, y metales del grupo del platino.

En el esquema de la figura 5 se identifica el uso de excavadoras tanto para las operaciones de arranque de la grava aurífera como para la tolva de alimentación del equipo de concentración gravimétrica tipo zeta. La tasa de alimentación registrada para estas actividades se encuentra entre una a tres paladas por minuto, lo cual implica una alimentación de 60 a 180  $m^3/h$  (ver Figura 5).

La figura 6 muestra los porcentajes de oro fino y grueso de material de alimentación al concentrador z, se observa que de las nueve plantas mineras

**Tabla 2.** Flujos de descarga de pulpa y descargas de mercurio

Minera	Flujo descarga (m3/h)	Descarga Hg (g/ton)
ENAMI	88	< 0,01
TSA	49,7	< 0,01
SOL1	174,6	< 0,01
SOL2	172,2	1,75
TOR	84,6	2,57

Fuente: s. d.

de Zamora, cinco de éstas presentan un porcentaje mayor al 60% oro fino en el material alimentado a la zeta mientras que dos presentan resultados con mayor fracción de oro grueso y una presenta alrededor de la mitad de fino y grueso; teniendo los resultados más destacados para la empresa tor con 98%, sol1 90%, sol2 80%, enami 83%, smscf1 78% y smsc 60% de oro fino, mientras se tiene que la empresa smscf3 con 88% y spmsc 64% de oro grueso. Finalmente, la empresa que está alrededor del 50% entre oro fino y oro grueso es tsa con 42% y 58% respectivamente. La concentración gravimétrica no es recomendable para las partículas menores a 50  $\mu\text{m}$  puesto que la eficiencia de la operación disminuye (ver figura 6).

En la figura 7 se muestra el porcentaje de oro fino y grueso del material de descarga del concentrador z; se observa cuatro empresas que descargan oro fino, entre ellas están: smsc con 95%, enami y tsa con 95% y sol1 con 96% mientras que las empresas que descargan oro grueso son SPMSC con 65%, smscf3 con 96%, smscf1 con 88% y sol2 con 64% y una empresa descarga alrededor del 50% es tor con 46% de oro fino y 54% con oro grueso. Lo que se observa es que cuatro concentradores z no recuperan oro fino, cuatro no recuperan oro grueso y una está entre 50% de oro fino y grueso.

En la figura 7 se muestra el porcentaje de oro en fracciones fino y grueso en la descarga del concentrador tipo zeta, cinco empresas presentan un porcentaje mayor del 50% de oro grueso, por ejemplo, smscf3 con 96%, smscf1 con 88%, spmsc con 65% sol2 con 64% y tor con 54%. En las otras cuatro empresas se observa oro fino como son: sol1 con 96%, smsc, enami y tsa con 95% (ver Figura 7).

Al evaluar los resultados del tamaño de oro de las descargas se encontró que las operaciones que presentan porcentajes de recuperación de oro grueso son tsa con 54%, smsc con 35%, enami 12%, y sol1 con 6% mientras que las empresas que recuperan oro fino son smscf1 con 66%, tor con

52%, sol2 44% y smscf3 con 8%. La empresa spmsc presenta la más baja recuperación de oro fino con tan solo 1%.

La tabla 2 muestra los flujos de descarga de pulpas de las empresas mineras y el contenido de mercurio descargado. Se encontró que la Compañía Minera Solórzano 2 presenta un contenido de mercurio en los sólidos de la descarga de 1,75 mg/kg y para la Sociedad Minera Torres es de 2,57 mg/kg. Estos resultados evidencian la utilización del mercurio paralelamente a la operación de concentración gravimétrica. Por otro lado, las empresas que trabajan con mayor flujo son sol1 y sol2 con un alrededor del 173 m<sup>3</sup>/h mientras enami y tor trabajan con un flujo alrededor de 85 m<sup>3</sup>/h y, finalmente, la empresa tsa con flujo de 49,7 m<sup>3</sup>/h, menor a las anteriores empresas (ver Tabla 2).

Al evaluar los resultados del concentrado tipo zeta de las nueve empresas con la recuperación de oro, flujo de descarga de la pulpa y la descarga de mercurio se tiene lo siguiente. La empresa tsa con un porcentaje de recuperación de oro grueso de 54%, un flujo de 49,7 m<sup>3</sup>/h y con una descarga de mercurio de menor a 0,01 g/ton. Luego está la empresa enami con 12% de recuperación de oro grueso, con un flujo de 88,0 m<sup>3</sup>/h y una descarga de mercurio menor a 0,01 g/ton. sol1 recupera 6% de oro grueso con un flujo de 174,6 m<sup>3</sup>/h y una descarga de mercurio menor a 0,01 g/ton. Por otro lado, las empresas que recuperan oro fino son tor con 52%, un flujo de 84,6 m<sup>3</sup>/h y una descarga de mercurio de 2,57 g/ton y sol2 con un porcentaje de recuperación de 44%, un flujo de 172,2 m<sup>3</sup>/h y con un contenido de mercurio de 1,75%.

#### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Cuanto menor es el flujo de descarga en un concentrador tipo zeta se tiene mayor recuperación de oro grueso sin uso de mercurio, como lo demuestra la empresa TSA que recupera 54% de oro grueso con un menor flujo equivalente a 49,7 m<sup>3</sup>/h. En contraste,

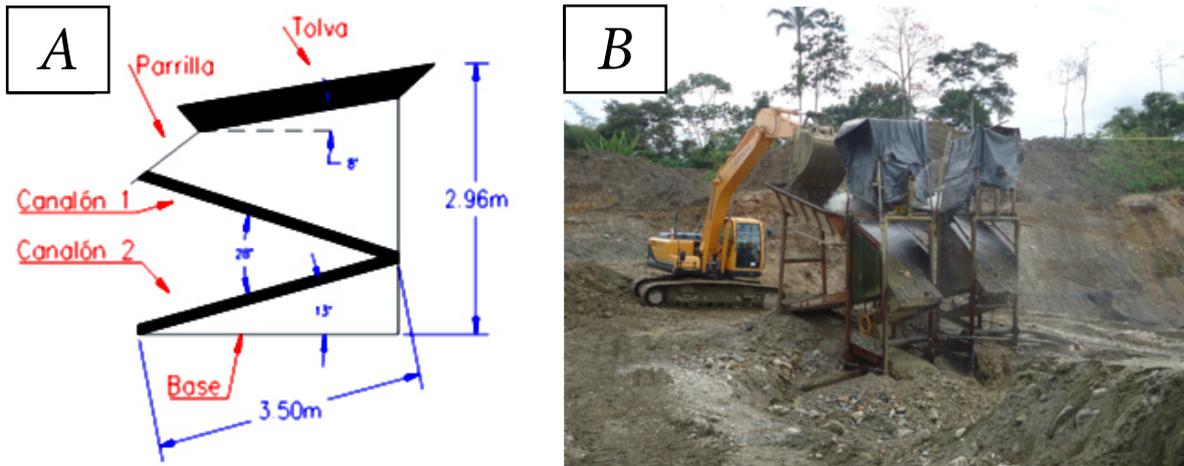


Figura 2. A) Esquema de un concentrador gravimétrico tipo Zeta. B) Instalación para recuperación de oro secundario en la Sociedad Minera Solórzano 2.



Figura 3. Parrilla para recolectar oro

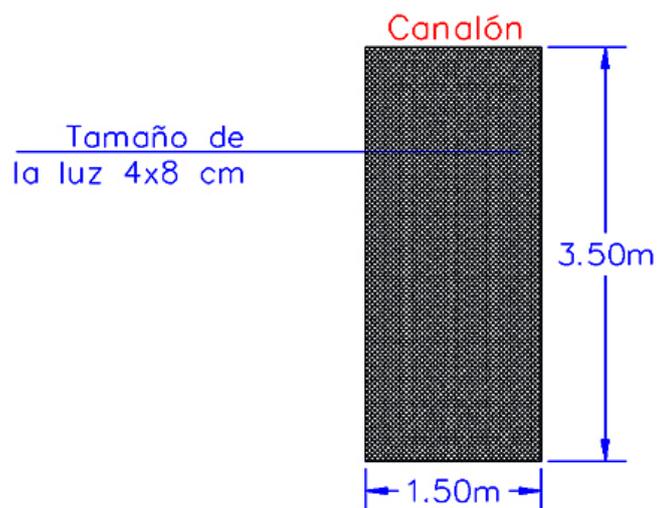
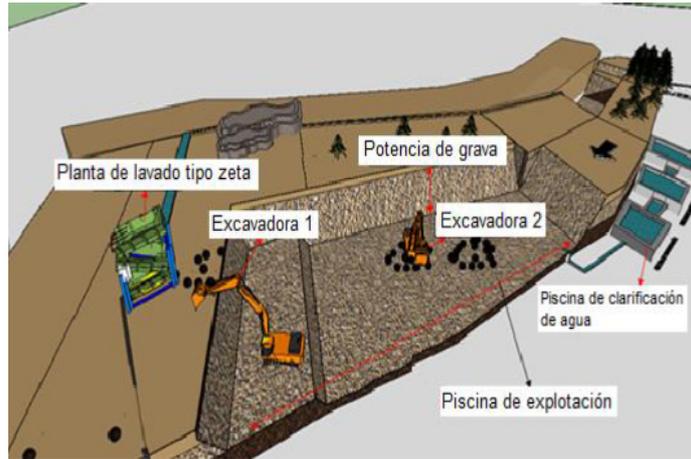
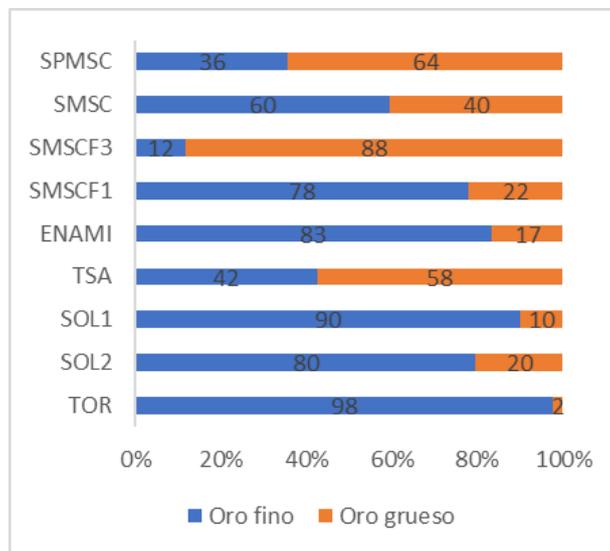


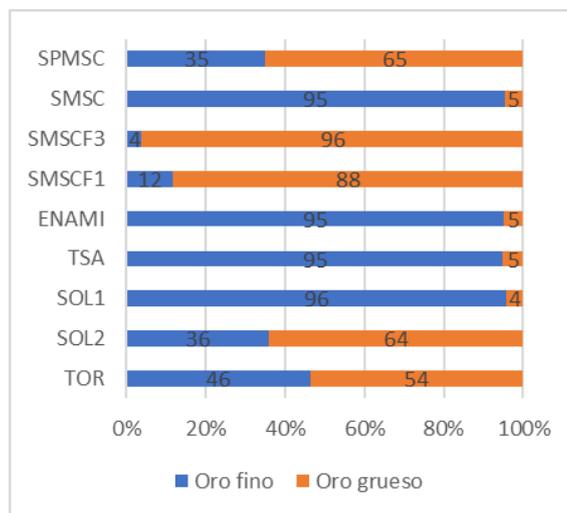
Figura 4. Canalón para recolectar oro



**Figura 5.** Procesamiento y equipamiento utilizado en la extracción de oro aluvial en el distrito minero de Zamora (Zúñiga, 2013)



**Figura 6.** Porcentaje de oro en fracciones en el material alimentado a la zeta.



**Figura 7.** Porcentaje de oro en fracciones en el material descargado del concentrador tipo zeta.

la empresa SOL1 con un flujo mucho mayor a la TSA 174 m<sup>3</sup>/h recupera menor cantidad de oro grueso de aproximadamente el 6%. Es concluyente decir que al trabajar con mucho más flujo se está favoreciendo la pérdida de oro grueso.

Por otro lado, la recuperación de oro fino se ve favorecido por el uso de mercurio en el concentrador tipo z, ya que las empresas que presentan recuperación de oro fino tienen flujos que van entre 84 a 174 m<sup>3</sup>/h.

Se puede decir que a menor flujo de descarga se puede recuperar oro grueso como lo demuestra la empresa TSA, con el menor flujo obtiene la mayor recuperación. Mientras que a mayor flujo decae la recuperación de oro grueso, además provoca que nada de oro fino se recupere.

En conclusión, el uso del concentrador tipo z no es nada eficiente en la recuperación de oro grueso como en la recuperación de oro fino.

### CONCLUSIONES

Los procesos de extracción metalúrgica de oro aluvial en el distrito de Zamora se encuentran limitados, ya que la maquinaria utilizada es ineficiente en comparación con los equipos utilizados en la concentración gravimétrica convencional. Debido a los altos grados de inclinación que utiliza el concentrador tipo z, la eficiencia de recuperación del oro grueso se ve desfavorecida. Por otra parte, los procesos de refinación de los concentrados de oro son perjudiciales al medio ambiente, ya que se utiliza mercurio como colector de oro y, a su vez, no se les da un tratamiento a los materiales descargados, causando una contaminación de los cuerpos de aguas superficiales próximos a la extracción metalúrgica.

En la búsqueda de alternativas amigables con el ambiente y eficientes en la recuperación de oro en los concentradores z, se deberían tomar en cuenta el criterio matemático como el criterio de concentración TAGART, con el fin de determinar la facilidad de separación de minerales a partir de la concentración gravimétrica.

Los concentradores z deberían utilizar el principio de funcionamiento de los canalones teniendo en cuenta el ancho con relación a la cantidad de agua que se cuenta; el material de retención debería ser de alfombras de rizos y contar con ángulos de inclinación entre 5° y 15°.

Para el beneficio del oro fino perdido en las colas de los concentradores gravimétricos se debería estudiar la utilización de concentradores centrífugos para la recuperación del oro no aprovechado.

### REFERENCIAS

- Heredia, Y. 2015. *Estudio para el montaje y puesta en marcha de una planta para el beneficio del mineral de oro en la zona de reserva especial minera del Municipio de Quinchía Risaralda*. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira.
- INIGEMM. 2017. Hoja geológica Zamora. <http://www.geoenergia.gob.ec/mapas-geologicos/>.
- Marsden, J., y House, I. 2006. *The chemistry of gold extraction* (2.ª ed.). Littleton, USA: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.
- Navarro, M. 2017. *Estudio de la recuperación de oro aluvial en concentrador falcon en la cooperativa minera Lima-ta Ananea-Puno*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann-Tacna, Tacna.
- Pillajo, E. 2009. Evaluación del potencial aurífero aluvial en Ecuador. [http://fungeomine.org/documentos/potencial\\_aurifero\\_aluvial\\_en\\_el\\_ecuador.pdf](http://fungeomine.org/documentos/potencial_aurifero_aluvial_en_el_ecuador.pdf)
- Rodríguez, R. 2019. *Ampliación de proceso bonanza e instalación de planta Rumicuri-Ecuador*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa.
- Santos, D. 2015. *Diseño de explotación de la grava aurífera existente en el área minera Durán (código 300050), Santa Rosa-El Oro*. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Stewart, J., Kerr, G., Prior, D., Halfpenny, A., Pearce, M., Hough, R., y Craw, D. 2017. Low temperature recrystallisation of alluvial gold in paleoplacer deposits. *Ore Geology Reviews*, 88, 43-56.
- Tupiza, J. y Guzmán, A. 2019. *Tecnologías limpias para el aprovechamiento de depósitos detríticos (oro aluvial) ubicados en la provincia del Napo* (Tesis de grado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Wills, B., Finch, J. 2016. *Wills' mineral processing technology* (8.ª ed., cap. 10). Gravity Concentration, pp. 223-244.
- Zuñiga, C. 2013. *Diseño de explotación del depósito aurífero aluvial del río Cachaví, frente San Antonio, de la Empresa Nacional Minera ENAMI E.P.* (Tesis de grado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.



ISSN-i 1390-7042 | ISSN-e 2602-8484

## ANÁLISIS DE COSTOS OPERATIVOS EN PEQUEÑA MINERÍA Y MINERÍA ARTESANAL EN NAMBIJA

### Analysis of operating costs in small-scale mining and artisanal mining in Nambija

Cynthia Rojas Villacís  
Instituto de Investigación Geológico y Energético  
cynthia.rojas@geoenergia.gob.ec

Cristian Zúñiga Arrobo  
Instituto de Investigación Geológico y Energético  
cristian.zuniga@geoenergia.gob.ec

Recibido: 10 de septiembre de 2020

Aprobado: 18 de diciembre de 2020

ARTÍCULO ORIGINAL

DOI: 10.29166/REVFGE.V1I2.2568

#### RESUMEN

En el desarrollo de la actividad minera en pequeña minería y minería artesanal en Ecuador, en varios casos no se lleva un registro de los costos operativos que demanda cada tarea realizada en el ciclo de trabajo minero, en consecuencia, no se conoce al final cuáles son los costos de inversión en contraste con la recuperación económica alcanzada. El objetivo de este trabajo fue analizar los costos operativos en cada tarea realizada en el ciclo de trabajo minero en tres labores del sector de Nambija, con la finalidad de evidenciar cuáles son los costos que se ocupa en realizar la tarea de perforación, voladura, ventilación, desate, limpieza del frente de trabajo, cargado y transporte del material arrancado que comprenden un ciclo minero de trabajo. En el análisis de costos se ha considerado el número de trabajadores mineros que realiza cada tarea y cuánto perciben en salario por jornada o por tarea realizada, el tiempo que se demoran en realizar dicha actividad, la maquinaria y los equipos que utilizan; la cantidad y su capacidad, el consumo de energía, combustibles, lubricantes por hora de operación, sus repuestos y reparaciones, los insumos como conexiones de agua, aire y energía utilizados y sus costos y las tareas auxiliares aplicadas previas o posteriores a la tarea a desarrollar. En la estimación de los costos horarios de los equipos se ha tomado en cuenta (a) costos indirectos o de propiedad: amortización y seguros, y (b) costos directos de funcionamiento: consumo de energía eléctrica, combustible, lubricantes, grasas y filtros, reparaciones, neumáticos o elementos de mayor desgaste, salario de operadores o trabajadores. Las tres labores mineras analizadas en el sector de Nambija corresponden a una mina artesanal que desarrolla trabajos en un solo frente, alquilan compresor a diésel para conectar un martillo perforador para ejecutar los trabajos, tienen equipos básicos y limitados —casi no cuentan con repuestos—, posee vagones de pequeña capacidad 0,75 a 1 tonelada, el personal de mina ejecuta varias actividades simultáneamente y el salario percibido es el más bajo del sector; la segunda labor minera analizada se caracteriza por tratar de ejecutar trabajos de pequeña minería en uno y máximo dos frentes de trabajo, ya que posee un compresor propio a diésel para conectar dos martillos de perforación simultáneamente, tienen personal dedicado a realizar tareas específicas, posee vagones de capacidad 1 tonelada; y la tercera labor minera realizan actividades de pequeña minería, trabajan en dos y tres frentes —cuando obtienen buen material—, poseen un compresor propio de funcionamiento eléctrico con capacidad para conectar 3

**PALABRAS CLAVE** Minería artesanal, pequeña minería, Nambija, minería subterránea, costos operativos, análisis de costo, costo horario.

**KEYWORDS** Artisanal mining; small mining; Nambija; underground mining; operating costs; Cost analysis; hourly cost.

martillos perforadores simultáneamente, poseen vagones de 2 y hasta 3 toneladas de capacidad y tienen personal para realizar actividades específicas en cada puesto de trabajo. Como resultado del análisis de los costos operativos se tiene el costo por cada tarea del ciclo de trabajo minero en dólares/hora (USD/h) y el porcentaje (%) de cada actividad en función al costo total, información que sirve para comparar el comportamiento económico de tres tipos de labores mineras en minería artesanal y pequeña minería.

#### ABSTRACT

In the development of the mining activity in small mining and artisanal mining in Ecuadorian in several cases a record of the services performed is not carried out of investment in contrast with the economic recovery achieved. The objective of this work has focused on the services in each task in the work cycle at work in the sector of Nambija, in order to highlight the work in which the task of drilling, blasting, ventilation, untie is performed, cleaning of the work front, loading and transport of the arranged material that worked in a mining work cycle. In the analysis of costs has been considered the number of mining workers who perform each task and how much they receive in salary per day, or per task performed, the time they take to carry out this activity, the machinery and equipment they use; the quantity and capacity, the consumption of energy, fuels, lubricants per hour of operation, their spare parts and repairs, the inputs such as water, air and energy connections used and their costs and auxiliary tasks applied before or after the task to develop. In estimating the hourly costs of the equipment (a) indirect or property costs: amortization and insurance, and (b) direct operating costs: consumption of electric power, fuel, lubricants, greases and filters, repairs, tires or elements of greater wear, salary of operators or workers. The three mining works analyzed in the sector of Nambija correspond: to an artisanal mine that develops works on a single front, they rent a diesel compressor to connect a hammer driller to execute the works, they have basic and limited equipment —almost do not have spare parts—, has small capacity wagons of 0.75 to 1 ton, the mine staff performs several activities simultaneously and the perceived salary is the lowest in the sector, the second mining work analyzed is characterized by trying to execute small mining works in one and maximum two working fronts already has a diesel own compressor to connect two drilling hammers simultaneously, they have personnel dedicated to perform specific tasks, has wagons of capacity 1 ton, and the third mining work perform activities of small mining, work in two and three fronts —when they get good material—, they have their own electric compressor c On ability to connect 3 drilling hammers simultaneously, have wagons of 2 and up to 3 tons capacity and have personnel to perform specific activities in each job. As a result of the analysis of the operating costs, we have the cost for each task of the mining work cycle in dollars / hour (USD/h) and the percentage (%) of each activity based on the total cost, information that is used to compare the economic behavior of three types of mining work in artisanal mining and small mining.

#### INTRODUCCIÓN

En la provincia de Zamora Chinchipe, parroquia San Carlos de las Minas, en el sector de Nambija, se desarrolla actividad minera en la existen varias labores que extraen material rocoso<sup>1</sup> que presenta contenido mineral<sup>2</sup> de interés económico; entre los principales, el oro y la plata. Estas labores mineras tienen dife-

rentes dimensiones de trabajo, avance, profundidad, grado de tecnificación, entre otros, que no han sido desarrollados siguiendo algún orden o planificación.

Las labores mineras presentan diferentes grados de inversión y diferentes tipos de asociaciones o dueños con complejo grado de participación económica y estructuralmente conectadas entre sí.

En Ecuador, la minería artesanal y de sustento por su capacidad de producción se considera que para minerales metálicos se puede extraer hasta 10 toneladas por día en minería subterránea (Ley de Minería, Ecuador, 2018).

Para minería artesanal, la maquinaria y equipos para la obtención de minerales metálicos utilizados en explotación subterránea en minado son: compresor con una capacidad de 180 cfm (pies cúbicos por minuto), martillo perforador neumático, martillo perforador eléctrico, barrenos de perforación de hasta 1,50 metros; para clasificación, carga y transporte: trituradora de mandíbulas, winche, carros de mina; en equipos auxiliares: bombas de agua, ventilador y extractor de gases y generador eléctrico (Agencia de Regulación y Control Minero, ARCOM, 2013).

La mayoría de las minas creadas en este sector se ha desarrollado artesanalmente y desde el 2 de octubre 2015 fue otorgado el régimen de pequeña minería (Ministerio de Minería, 2015).

En pequeña minería para minerales metálicos se puede extraer hasta 300 toneladas por día en minería subterránea (Ley de Minería, Ecuador, 2018).

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La puesta en marcha de un proyecto minero compromete contar con la información técnica<sup>3</sup> y económica<sup>4</sup> que permita evaluar<sup>5</sup> si la actividad desarrollada es rentable respecto a las inversiones destinadas al capital fijo<sup>6</sup> y circulante;<sup>7</sup> el fijo que generan los fondos necesarios para adquisición de terrenos, estudios previos, infraestructura, diseño, entre otros; en tanto que el circulante es utilizado para realizar compra de insumos, pago de obreros, así como todo compromiso de desembolso para poner en marcha la actividad productiva.<sup>8</sup>

La actividad minera artesanal y de pequeña minería en Ecuador muchas veces no contempla o no lleva un registro adecuado de los costos operativos<sup>9</sup> que demanda esta actividad y en su mayoría desconocen si al final del trabajo en la recuperación<sup>10</sup> y comercialización<sup>11</sup> de los metales extraídos de oro y plata, están obteniendo una ganancia respecto a los costos utilizados para obtener el producto final.

El alcance del presente estudio es determinar los costos operativos<sup>12</sup> utilizados en las tareas del ciclo de trabajo minero en cada una de las labores analizadas; una vez obtenidos estos insumos, las labores mineras tendrán la capacidad de comparar y verificar la rentabilidad en cada uno de sus proyectos.

#### OBJETIVO

Realizar el análisis de los costos operativos en las tareas del ciclo de trabajo minero (perforación, vo-

ladura, ventilación, saneamiento, limpieza, cargado y acarreo), en las tareas auxiliares (instalación de tubería de agua, aire y conexiones eléctricas), y, costos adicionales (energía eléctrica y equipos de protección personal), en el frente de producción en tres labores mineras del sector de Nambija.

#### MATERIAL Y MÉTODOS

Las actividades para obtener información:

- Revisión bibliográfica sobre las tareas del ciclo de trabajo en minas subterráneas e información sobre evaluación económica de proyectos, costos de operación y métodos de estimación;
- Definición de parámetros técnicos económicos a ser levantados mediante fichas de diagnósticos;
- Elaboración de fichas técnicas de diagnóstico;
- Preparación de logística para salida de campo;
- Acercamiento y socialización con los operadores mineros;
- Recolección de información en la ficha técnica de diagnóstico;
- Validación de información y procesamiento de datos para el cálculo de costos; y
- Elaboración de cuadros estadísticos de los aspectos técnicos y económicos;

#### CÁLCULO DE COSTO HORARIO

El cálculo del costo horario corresponde al valor económico del costo de propiedad<sup>13</sup> más los costos de operación dividido para la producción horaria.

El costo horario de propiedad está constituido por: amortización, interés del capital invertido, seguros e impuestos, lo que constituye los costos indirectos.

- *Amortización de equipos*: disminución en el valor de la propiedad debido al uso, deterioro y a la caída en desuso de un bien.

$$A = \frac{pa - vr - vn}{vu} \quad \text{EC. 1}$$

Donde:

A: amortización de equipos;

pa: precio de adquisición;

vr: valor residual;

vn: valores neumáticos, y

vu: vida útil.

- *Amortización lineal*: suma a amortiza dividido para las horas de vida estimada hasta la sustitución por venta o desecho del equipo.

- *Precio de adquisición (pa)* depende de:

- precio en el mercado nacional,
- repuestos, y

· costos por transporte y montaje.

**INVERSIÓN MEDIA (IM)**

Se calcula con la siguiente fórmula.

$$Im = \frac{pa * (n+1)}{2n} \quad \text{EC. 2}$$

Donde:

n: número de años de amortización.

- *Valor residual o reventa (vr)*: es la estimación del valor de mercado al final de la vida útil del equipo (20% del costo de adquisición del equipo).

- *Vida útil del equipo (vu)*: depende del estándar de fabricación y de las condiciones de trabajo.

- *Cargas indirectas*: inversión media anual dividida para el número de horas de trabajo al año del equipo.

- *Costos directos de funcionamiento*<sup>14</sup> o costos de operación<sup>15</sup> depende del consumo de energía eléctrica, combustibles, lubricantes, reparaciones, neumáticos o elementos de mayor desgaste y el pago de operadores (trabajadores).

**COSTO DEL COMBUSTIBLE Y ENERGÍA**

$$Ccb = 0.3 * kW * Ft * Pcb \quad \text{EC. 3}$$

Donde:

Ccb: costo horario por el uso de combustible (USD/h),

kW: potencia nominal del equipo,

Ft: factor teórico por el uso de combustible,

Pcb: precio del combustible.

En equipos eléctricos, los consumos horarios se calcularon en función de la potencia instalada:

$$\frac{kWh}{h} = kW * Fc \quad \text{EC. 4}$$

Donde:

kW = potencia nominal en kW

Fc = factor de carga, normalmente 0.7

- *Lubricantes, grasas y filtros*: aceites de motor, sistema hidráulico, y grasa para los elementos de contacto metal-metal; se consideró como un porcentaje del costo horario de combustible, generalmente entre (10 y 20%).

- *Reparaciones*: costos sobre averías de equipos, considerando materiales y mano de obra.

$$\frac{(Pad - Prep)}{(hv)} * Frep \quad \text{EC. 5}$$

Donde:

Pad: precio de adquisición,

Prep: precio de la parte a ser reparada,

hv: horas de vida útil,

Frep: factor de reparación.

El Factor de reparación fluctúa entre 0.7 a 1.1 dependiendo de las condiciones de trabajo.

- *Neumáticos y elementos de recambio*: depende del costo total y la vida útil, considerados el cálculo del costo horario de la maquinaria.

· neumáticos de los carros mineros (vagones)

· barrenos integrales (un solo cuerpo)

· filtros de aire de compresores

- *Operadores*; salarios que perciben los trabajadores en el sector, por jornada o pago diario.

*El índice de utilización del personal*: es la relación del número total del personal presente en la mina versus el número de personas que realizan específicamente la tarea designada; este índice fluctúa de 0 a 1 o 0 a 100%, con este dato se realiza la corrección al costo final del ciclo de trabajo denominándolo como costo por tiempo muerto en mano de obra.

**RESULTADOS**

**LABOR MINERA A**

Coordenadas

WGS 84	E	N	h(m.s.n.m.)
	745629	9549953	1923

Número total de personas que trabajan en la mina: 4 personas en 1 frente de trabajo, en 1 turno diario.

**LABOR MINERA B**

Coordenadas

WGS 84	E	N	h(m.s.n.m.)
	745300	9549362	1894

Número total de personas que trabajan en la mina: 11 personas; 4 en cada frente; 1 persona adicional que ayuda en los 2 frentes, en 2 turnos de trabajo.

**LABOR MINERA C**

Coordenadas

WGS 84	E	N	h(m.s.n.m.)
	745251	9549583	1820

Número total de personas que trabajan en la mina: 12 personas; 4 en cada frente, en 1 turno de trabajo. Para el análisis de costos comparativos para las tres

labores mineras se toma en cuenta un frente de trabajo y un turno (ver Tablas 1-7).

## DISCUSIÓN

El estudio de análisis de costos muestra a tres labores mineras del sector de Nambija con diferencias muy marcadas desde el punto de vista del desarrollo técnico y económico. Las tres labores pertenecen a un mismo sector minero, sin embargo, poseen diferentes grados de tecnificación.

La mina A corresponde a una labor con un solo frente de trabajo, el personal de trabajo son los mismos socios o dueños, los equipos son limitados para desarrollar todos los trabajos, dependen del alquiler de un compresor; estos aspectos hacen que el trabajo de explotación se realice por tarea y no es posible tareas simultáneas, por lo cual el mismo grupo que realiza la perforación y voladura, es el mismo que realiza el acarreo y transporte y demás tareas mencionadas en el análisis.

La mina B es una labor minera que cuenta con personal asignado a tareas específicas, es decir cuenta con trabajadores con experiencia para cada tarea, cuenta con compresor propio que funciona a diésel, utiliza winche de izaje de material que forma un cuello de botella en el desalajo, la ventilación es natural debido a las conexiones de sus galerías.

La mina C cuenta con un compresor eléctrico que demanda una fuerte inversión inicial que se compensa con el costo horario en perforación, voladura y ventilación, adicionalmente cuenta con carros adaptados con capacidad de 3 toneladas en el transporte de material.

El estudio de análisis de costos en las tres labores mineras fue posible al considerar un solo frente de trabajo en cada mina.

A continuación, se muestra una comparación de los costos por cada labor minera y por tarea (ver Gráfico 1 y Tabla 8).

La tarea de limpieza, cargado y acarreo representa el mayor costo dentro del ciclo minero, se relaciona directamente al método de explotación utilizado; si es ascendente o descendente a favor de la gravedad, la distancia a la cual se encuentra el frente de trabajo, al uso de maquinaria y equipos influenciados por las condiciones de las vías y las dimensiones de las galerías de transporte.

La labor minera C utiliza autos adaptados como vagones, realiza mantenimiento de vías y tienen una sección mejorada para los carros de mina lo que ha permitido mejorar los tiempos en la tarea y aumentar su productividad.

La tarea de perforación y la tarea de voladura siguen dentro de los costos representativos del ciclo minero, que relacionan sus costos al uso de la maquinaria, equipos,

y explosivos.

La siguiente tarea representativa en costos es la tarea de ventilación que se caracteriza por el uso del aire de los compresores para despejar los gases producto de la voladura.

La labor B no usa el compresor, dejan que el aire se ventile naturalmente debido a su gran cantidad de conexiones de galerías que presenta su labor minera.

Las tareas auxiliares son las que ocupan el siguiente lugar en los costos.

Cabe señalar que el costo en la tarea de sostenimiento o entibamiento no se contempló en ninguna de las tres labores mineras, debido a que, en el frente de trabajo analizado, la dureza de la roca no necesitaba de sostenimiento, lo que se evidenció durante el levantamiento de información.

## CONCLUSIONES

El presente estudio muestra los costos horarios y totales calculados en tres labores mineras con diferente grado de tecnificación en el sector de Nambija.

Se evidencia que la tarea del ciclo minero de trabajo que demanda mayor utilización de personal, maquinaria, insumos, tiempo y costos, es la tarea de limpieza, cargado y acarreo que corresponde en promedio al 40,87% de los costos totales.

Seguido de la tarea de perforación con un promedio de 22,25% de los costos totales. Mientras que la tarea de voladura es un promedio de 21,12% de los costos totales.

Al tener en cuenta los factores técnicos y operativos para el cálculo de costos en cada tarea del ciclo minero de trabajo, este estudio provee información necesaria para que los mineros, socios o dueños conozcan los valores económicos que invierten y qué actividad minera demanda mayor costo.

Esto permite determinar puntos críticos para optimización no solo en el aspecto económico, sino también en el técnico.

Este estudio brinda información que ayudará al minero a conocer los factores económicos considerados en el desarrollo de su proyecto, conocer el tiempo, costo horario y costo total que demanda la actividad minera, así como contar con una herramienta para la toma de decisiones.

## RECOMENDACIONES

Es importante que en las minas estudiadas se preste especial atención a la tarea de limpieza, cargado y acarreo de material, para buscar la optimización del tiempo, aplicar un adecuado diseño en las dimensiones de sus galerías, mantener el radio de giro en las curvas de las galerías acordes a las dimensiones de los equipos de

**Tabla 1.** Parámetros técnicos y cálculo de costos en perforación

<b>Parámetros en perforación</b>	<b>Mina A</b>	<b>Mina B</b>	<b>Mina C</b>
Número de frentes de trabajo (unidades)	1	2	2
Compresor (unidades)	1	1	1
	Alquilado a diésel	Propio a diésel	Propio eléctrico
Martillo perforador (unidades)	1	1	2
	Modelo: YT27	Modelo: YT27	Modelo: YT27
Número de Barrenos integrales	2	4	6
Profundidad de perforación (m)	1,2	1,8	1,5
Diámetro de perforación (pulgadas)	1	1 ½	1 ½
Número de barrenos por sección (unidades)	15	20	20
Sección de perforación (m <sup>2</sup> )	1,8	2,7	2,7
Mano de obra utilizada	2	2	4
Tiempo promedio de perforación por cada barreno (min)	4	5	8
Tiempo promedio total ocupado en la tarea de perforación (h)	1	1,7	2,7
Índice de utilización de personal	1	1	1
<hr/>			
<b>Cálculo de costos en perforación</b>	<b>Mina A</b>	<b>Mina B</b>	<b>Mina C</b>
Costo total por personal (USD/h)	7,78	8,89	11,11
Costo total por equipo de perforación (USD/h)	26,21	14,19	21,64
Costo total por la tarea de perforación (USD)	33,99	38,47	87,34

**Tabla 2.** Parámetros técnicos y cálculo de costos en voladura

<b>Parámetros en voladura</b>	<b>Mina A</b>	<b>Mina B</b>	<b>Mina C</b>
Número de frentes de trabajo (unidades)	1	2	2
Mano de obra utilizada	2	2	4
Longitud del barreno cargado (m)	1,1	1,7	1,5
Número de barrenos cargados (unidades)	14	20	20
Número de barrenos descargados (unidades)	1	1	0
Carga de fondo (unidades)	1	1	1
Fulminante (N.º 08)	1	1	1
Tipo de explosivo	Explogel III (7*1½)	Explogel III (7*1½)	Explogel III (7*1½)
Carga de columna (Kg)	0,3	0,4	0,6
Tipo	Nitrato de amonio	Nitrato de amonio	Nitrato de amonio
Mecha lenta (m)	1,4	1,9	1,6
Retacado (m)	0,6	0,8	0,6

Tiempo promedio del ciclo de cargado de un barreno (min)	2	3	2
Tiempo total promedio de la tarea de cargado (h)	0,5	1	0,7
Índice de utilización de personal	0,75	1	0,75

<b>Cálculo de costos en voladura</b>	<b>Mina A</b>	<b>Mina B</b>	<b>Mina C</b>
Costo total por personal (USD/h)	7,78	8,89	11,11
Costo total por insumos para la voladura (USD/h)	65,29	49,62	74,88
Costo total por la tarea de voladura (USD)	34,1	58,51	57,33

**Tabla 3.** Parámetros técnicos y cálculo de costos en ventilación

<b>Parámetros en ventilación</b>	<b>Mina A</b>	<b>Mina B</b>	<b>Mina C</b>
Mano de obra utilizada	1	0	1
Longitud de la galería hasta el frente de trabajo (m)	90	300	500
Número de niveles de trabajo	1	3	2
Tiempo promedio del ciclo de ventilación artificial en el frente de trabajo (h)	1	0	1
Tiempo total efectivo utilizando el compresor (h)	0,5	ventilación natural	0,5
Índice de utilización de personal	0,25	0,25	0,25

<b>Cálculo de costos en ventilación</b>	<b>Mina A</b>	<b>Mina B</b>	<b>Mina C</b>
Costo total por personal (USD/h)	3,33	0	3,33
Costo total por insumos para la ventilación (USD/h)	20	0	10,58
Costo total en la tarea de ventilación (USD)	13,33	0	8,63

**Tabla 4.** Parámetros técnicos y cálculo de costos en saneamiento

<b>Parámetros en saneamiento del frente de trabajo</b>	<b>Mina A</b>	<b>Mina B</b>	<b>Mina C</b>
Mano de obra utilizada	1	1	1
Herramienta utilizada (unidades)	1	1	1
Tipo de herramienta	Barreta alargada con punta reforzada	Barreta alargada con punta reforzada	Barreta alargada con punta reforzada
Tiempo promedio en saneamiento del frente de trabajo (h)	0,5	0,5	0,5
Índice de utilización de personal	0,25	0,33	0,25

<b>Cálculo de costos en saneamiento del frente de trabajo</b>	<b>Mina A</b>	<b>Mina B</b>	<b>Mina C</b>
Costo total por personal (USD/h)	3,33	3,89	3,89
Costo total por insumos 15% de la mano de obra (USD/h)	0,5	0,58	0,58
Costo total en la tarea de saneamiento (USD)	1,92	2,24	2,24

**Tabla 5.** Parámetros técnicos y cálculo de costos en limpieza, cargado y acarreo

<b>Parámetros en limpieza, cargado y acarreo</b>	<b>Mina A</b>	<b>Mina B</b>	<b>Mina C</b>
Mano de obra utilizada	4	6	3
Número de vagones (unidades)	1	2	1
Cantidad de viajes en vagones desalojados (unidades)	7	15	5
Capacidad de los vagones (t)	1	1	3
Tiempo promedio del ciclo de acarreo del mineral a la boca mina (h)	0,47	0,33	1,7
Tiempo promedio en limpieza, cargado y acarreo (h)	3,3	5,5	5
Índice de utilización de personal	1	1	1

<b>Cálculo de costos en limpieza, cargado y acarreo</b>	<b>Mina A</b>	<b>Mina B</b>	<b>Mina C</b>
Costo total por personal (USD/h)	13,33	23,33	11,67
Costo total por uso de herramientas (palas, barras) (USD/h)	0,52	0,41	0,53
Costo total por uso de transporte (vagón/ carro) (USD/h)	0,71	0,64	7,54
Costo total del sistema de izaje con winche (USD/h)	0	4,25	0
Costo total en la tarea de limpieza, cargado y acarreo (USD)	48,06	157,46	98,65

**Tabla 6.** Parámetros técnicos y cálculo de costos en tareas auxiliares

<b>Parámetros en tareas auxiliares</b>	<b>Mina A</b>	<b>Mina B</b>	<b>Mina C</b>
Mano de obra utilizada	2	2	2
Tiempo promedio en colocación de tubería	30	30	30
Herramienta utilizada	2,1,1,2	2,1,1,2	2,1,1,2
Tipo de herramienta	Palas, combo, barra, cuñas	Palas, combo, barra, cuñas	Palas, combo, barra, cuñas
Tiempo total promedio en instalación (h)	0,75	0,75	0,75
Índice de utilización de personal	0,5	0,5	0,5

<b>Cálculo de costos en tareas auxiliares</b>	<b>Mina A</b>	<b>Mina B</b>	<b>Mina C</b>
Costo total por personal (USD/h)	6,67	6,67	6,67
Costo total por uso de herramientas (palas, barras) (USD/h)	0,52	0,41	0,53
Costo total por insumos requeridos en las actividades auxiliares (USD/h)	9,13	9,67	9,6
Costo total en la tarea auxiliar (USD)	12,24	12,56	12,59

**Tabla 7.** Cálculo de costos adicionales

<b>Cálculo de costos adicionales</b>	<b>Mina A</b>	<b>Mina B</b>	<b>Mina C</b>
Costo por uso de energía eléctrica (USD/h)	0,67	1,33	1,92
Costo por equipo de protección (USD/h)	0,9	2,5	2,5

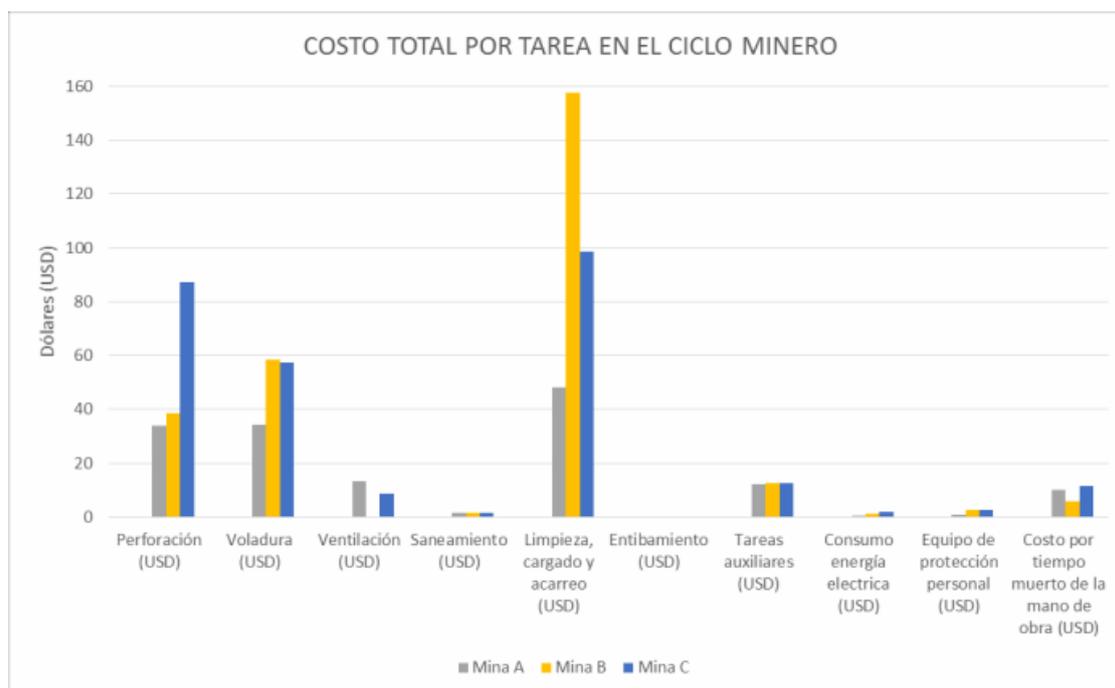
**Gráfico 1.** Costos totales por tarea de cada labor minera estudiada

Tabla 8. Costos totales en el ciclo de trabajo en las tres labores mineras

Tarea	Mina A	Mina B	Mina C
Perforación (USD)	33,99	38,47	87,34
Voladura (USD)	34,1	58,51	57,33
Ventilación (USD)	13,33	0,00	8,63
Saneamiento (USD)	1,44	1,44	1,44
Limpieza, cargado y acarreo (USD)	48,06	157,46	98,65
Entibamiento (USD)	0,00	0,00	0,00
Tareas auxiliares (USD)	12,24	12,56	12,59
Consumo energía eléctrica (USD)	0,67	1,33	1,92
Equipo de protección personal (USD)	0,90	2,47	2,47
Costo por tiempo muerto de la mano de obra (USD)	10,28	5,94	11,53
<b>Costo total</b>	<b>155,01</b>	<b>278,19</b>	<b>281,9</b>

transporte utilizados, adecuado diseño de buzones de trasiego de material, limpieza que permita liberar los obstáculos durante el transporte de vagones sin generar retrasos o interrupciones y el correcto mantenimiento y nivelación de vías.

Con respecto a la perforación y voladura, se debe tener un diseño adecuado de la malla de perforación, adecuada distribución de explosivos para obtener material condicionado, con el fin de facilitar el desa-

rollo y mejora de la actividad de limpieza, cargado y acarreo de material arrancado.

El costo en la tarea de ventilación en el sector de Nambija se puede manejar en su mayoría apoyados de la ventilación natural debido a las conexiones existentes entre galerías.

De ser el caso en condiciones donde la roca presente características o durezas débiles, por la presencia de fallas o fracturas entre otras, se debe considerar también los costos de la tarea de entibamiento o sostenimiento.

**NOTAS**

1. Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico (INIGEMM, 2012). El Distrito Minero Nambija comprende las minas de Cumay, La Fortuna, Cambana, Campanillas, Nambija, Guaysimi, Tumi, Sultana y otras menores ocurrencias. La geología de estos depósitos y el tipo de mineralización es similar con ocurrencias explotables auríferas relacionadas con *skarn* e indicios de mineralización Cu-Au y Cu-Mo relacionadas con pórfidos.
2. Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico (INIGEMM, 2012). La principal mineralización en el Distrito Minero Nambija es de oro, pero se reportan asociaciones porfíricas de Cu-Au y Cu-Mo. El oro nativo aparece generalmente libre y tienen una pureza del 90%, con un porcentaje de plata de 7-10%. El oro puede presentarse en granos de varios milímetros hasta de tamaño microscópico.
3. INTERCADE Consultancy & Training, (Reátegui Ordoñez, 2018). El proceso minero se inicia con la exploración de áreas donde, por las condiciones geológicas, se estima que existan depósitos de minerales de interés económico. En esta fase básicamente se estima los recursos minerales existentes.
4. Instituto Tecnológico GeoMinero de España, (Arteaga Rodríguez, *et al.*, 1991). Cualquier proyecto minero, independientemente de la fase en la que se encuentre — investigación, evaluación o desarrollo— presenta una dimensión económica ineludible que debe analizarse antes de asignar los recursos necesarios para llevarlo a cabo.
5. INTERCADE Consultancy & Training, (Reátegui Ordoñez, 2018). Si los recursos minerales, luego de un análisis técnico-económico, tienen un valor económico real, se convierte en reservas y se inicia la fase de proyecto, en donde se determina todas las variables necesarias para extraer y beneficiar las reservas minerales.
6. Instituto Tecnológico GeoMinero de España, (Arteaga Rodríguez, *et al.*, 1991). Los costos de capital fijo se refieren a los fondos necesarios para la adquisición de terrenos, maquinaria, edificaciones e instalaciones, etc.
7. Instituto Tecnológico GeoMinero de España, (Arteaga Rodríguez, *et al.*, 1991). El capital circulante representa el dinero necesario para comenzar la operación y asumir las obligaciones subsiguientes durante la puesta en marcha del proyecto.
8. INTERCADE Consultancy & Training, (Reátegui Ordoñez, 2018). Finalmente se inicia la fase operativa donde, de acuerdo a un planeamiento adecuado, permite extraer y beneficiar de la forma más eficiente las reservas.
9. Instituto Tecnológico GeoMinero de España, (Arteaga Rodríguez, *et al.*, 1991). El resultado de la explotación se obtiene por diferencia entre los ingresos por la venta de minerales y sus costes de producción.

10. Alianza Mundial de Derecho Ambiental (ELAW, 2010). La molienda es una de las actividades más costosas del beneficio de minerales y resulta en partículas muy finas que pueden permitir una mejor extracción del metal.
11. Banco Central del Ecuador, 2018. Desde junio 2016 el BCE inició un programa de compra del oro proveniente de la pequeña minería y minería artesanal, de forma directa o por intermedio de agentes económicos públicos o privados autorizados por la entidad. La compra se hace a precio internacional, IVA 0% y se transfiere máximo en 48 horas. Adicionalmente esta entidad cuenta con una oficina técnica encargada de ese proceso en la ciudad de Machala.
12. Universidad Nacional de Colombia; sede Medellín, Boletín de Ciencias de la Tierra, (Jiménez, *et al.*, 2006). Los factores críticos lo componen las etapas mineras de desarrollo, preparación y explotación, las cuales se subdividen en operaciones mineras (perforación, voladura, (capital inmovilizado).
13. Universidad Nacional de Piura, (Vega Farfán, 2013). El costo horario de operación minera considera los siguientes aspectos: consumos: combustibles y energía, lubricantes (aceites y grasas), filtros (de aire, gasolina y aceite), materiales de desgaste, reparaciones, neumáticos o tren de rodaje, operadores.
14. Universidad Nacional de Colombia; sede Medellín, Boletín de Ciencias de la Tierra, (Jiménez, *et al.*, 2006). El costo real se halla con base en la información tomada en campo, como, por ejemplo, número de trabajadores por turno, número de turnos, producción por turnos, relación entre volumen de estéril y mineral removido, cantidad de insumos requeridos, inversión en infraestructura, costo/tonelada, entre otros.

**REFERENCIAS**

- Agencia de Regulación y Control Minero (ARCOM), 2013. Resolución N.º 001-ins-dir- arcom-2013, Quito: s. n.
- Alianza Mundial de Derecho Ambiental (ELAW), 2010. Guía para evaluar EIAs de proyectos mineros, s. l.: s. n.
- Arteaga Rodríguez, R. y otros, 1991. Manual de evaluación técnica económica de proyectos mineros de inversión, Madrid: s. n.
- Banco Central del Ecuador, 2018. s. l.: s. n. Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico inigemm, 2012. Geología Regional y Local de Nambija. Proyecto Rehabilitación Nambija, Quito: s. n.
- Jiménez, P., Indhira, M., Molina, E. y Jorge, M., 2006. Propuesta de medición de la productividad en minería de oro vetiforme y reconocimiento de estándares productivos sostenibles. Boletín Ciencias de la Tierra; núm. 19 2006, pp. 73-86 0120-3630.
- Ley de Minería, Ecuador, 2018. Ley de Minería, Quito: s. n.
- Ministerio de Minería, 2015. Resolución N.º mm-czm-S-

2015-0878-rm. Zamora (Zamora Chinchipe): s. n.  
Reátegui Ordoñez, C., 2018. Análisis global de costos en  
operaciones de minería subterránea, s. l.: s. n.

Vega Farfán, J. L., 2013. Curso: Control de operaciones  
mineras, Piura: s. n.



ISSN-i 1390-7042 | ISSN-e 2602-8484

## ARQUITECTURA ESTRATIGRÁFICA DE TERRAZAS ALUVIALES EN EL RÍO YUNGANZA

### Stratigraphic architecture of alluvial terraces in the Yunganza river

Wladimir Romero Córdor

Instituto de Investigación Geológico y Energético

wladimir.romero@geoenergia.gob.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9271-4323>

Andrea Cisneros Medina

andrea.cisneros.medina@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1347-8479>

Darwin Condoy Guiracochoa

Instituto de Investigación Geológico y Energético

darwin.condoy@geoenergia.gob.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5783-8347>

Fausto Carranco Andino

Instituto de Investigación Geológico y Energético

fausto.carranco@geoenergia.gob.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9412-8942>

Ana Belén Gramal Aguilar

Instituto de Investigación Geológico y Energético

ana.gramal@geoenergia.gob.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2216-8846>

Franz Betancourt Valdivieso

Instituto de Investigación Geológico y Energético

franz.betancourt@geoenergia.gob.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8306-6563>

Recibido: 19 de agosto de 2020

Aprobado: 18 de diciembre de 2020

ARTÍCULO ORIGINAL

DOI: [10.29166/revfig.v1i2.2482](https://doi.org/10.29166/revfig.v1i2.2482)

#### RESUMEN

El estudio de patrones de sedimentación fluvial (PSF) permite analizar el comportamiento tectónico y climático en una determinada región, además entender cómo los ríos modifican el relieve. Los PSF pueden ser estudiados a partir del análisis del registro estratigráfico de sus depósitos. En los Andes del norte, los PSF interactúan con tasas de erosión y generación de detrito disponible para la sedimentación. En el sur, del levantamiento subandino ecuatoriano, la cuenca del río Yunganza es una cuenca fluvial confinada, alimentadora del río Santiago y ofrece la posibilidad de estudiar los PSF de esta región. El objetivo de esta investigación es presentar el análisis del registro estratigráfico de terrazas aluviales antiguas (TA-1 y TA-2) y depósitos aluviales modernos (DA), en la cuenca alta del río Yunganza, en el sector El Rosario, con el fin de definir PSF. Esta investigación es soportada por la documentación del registro litológico, las estructuras sedimentarias, la arquitectura estratigráfica, la medición de espesores y paleocorrientes. De esta manera, 7 facies son descritas: LT-1 y LT-2 describen a conglomerados asociados a flujos de escombros distales, mientras que LT-3 describe litologías de conglomerados y brechas asociadas a flujos de escombros proximales. LT-4, LT-5 y LT-6 describen litologías arenosas vinculadas genéticamente a macroformas de barras y canales fluviales; LT-7 describe litologías limosas que se asocian a planicies de inundación. Datos de paleocorrientes indican que: TA-1 presenta una dirección de flujo N-NE, mientras que TA-2 indican una dirección de transporte de sedimento hacia el N. La composición modal en TA-1 indica una procedencia detrítica de un bloque sedimentario rico en cuarzo, mientras que TA-2 indica un periodo de reciclaje de TA-1. La medición de espesores en TA-1 y TA-2 indica un periodo erosivo en TA-1. Finalmente, los patrones de sedimentación en el río Yunganza están vinculados genéticamente a periodos de exhumación del flanco oeste del río.

**PALABRAS CLAVE** Terrazas aluviales, sedimentología fluvial, río Yunganza.

**KEYWORDS** Alluvial terraces, fluvial sedimentology, Yunganza river.

#### ABSTRACT

The study of fluvial sedimentation patterns (FSP) allow us to analyze tectonic and climatic behavior in a specific region, and, understand how rivers modify

the relief. FSP can be studied from the analysis of the stratigraphic record of their deposits. In the northern Andes, FSP interact with erosion rates and detritus available for sedimentation rates. In the south of the sub-Andean zone, the Yunganza river basin corresponds to a confined fluvial basin and feeder of the Santiago river, and offers the opportunity to study this region FSP. The aim of this research is to present the stratigraphic record analysis of: ancient alluvial terraces (TA-1 and TA-2) and alluvial deposits (DA) in the Yunganza river basin, in the vicinity of El Rosario in order to define PSF. Our research is supported by documentation of the lithological record, sedimentary structures, stratigraphic architecture, thickness and paleo-currents measurement. Seven facies are described: LT-1 and LT-2 describe conglomerates associated with distal debris flows, whilst, LT-3 describes conglomerates and breccias associated with proximal debris flows. LT-4, and LT-5, and LT-6 describe sandstones genetically linked to bars and fluvial channel macro-forms, last, LT-7 describes siltstones associated with flood plains. Paleocurrent data indicate that: TA-1 presents flow direction to NE-E, whereas, TA-2 indicates a sediment transport direction to N. The TA-1 modal composition indicates a detrital provenance of a sedimentary block rich in quarts, while the TA-2 modal composition indicates a recycling period of TA-1. The thickness measurement in TA-1 and TA-2 indicates an intensely erosive period in TA-1. Finally fluvial sedimentation patterns in the Yunganza river are genetically linked to periods of exhumation on the west side of the river.

## INTRODUCCIÓN

El estudio de procesos de sedimentación en cuencas fluviales se desarrolló a nivel mundial, debido a la importancia cultural y económica de los ríos para el desarrollo de la sociedad (Bull, 1977). En los cinturones montañosos, procesos de denudación y erosión son controlados por tasas de exhumación de cuerpos rocosos y el clima (Jolley *et al.*, 1990). La erosión controla el relieve y patrones de sedimentación (Lewin *et al.*, 2005). El estudio de patrones de sedimentación fluvial en cinturones montañosos incluye: la descripción de la arquitectura estratigráfica de terrazas aluviales en cuencas confinadas (Benito *et al.*, 2000).

En las estribaciones de cinturones montañosos como Himalayas, Alpes, Andes se han documentado el desarrollo de cuencas fluviales confinadas en las cuales patrones erosivos transportan volúmenes kilométricos de detrito hacia planicies en el transarco o el antearco, construyendo grandes abanicos aluviales que caracterizan la transición desde cinturones montañosos a tierras bajas (Fontana, *et al.*, 2014; Ventra y Clarke, 2018). Si bien es cierto, la génesis de estos abanicos aluviales ha sido ampliamente estudiada, el patrón de generación de detrito disponible en cuencas confinadas alimentadoras de estos abanicos aluviales, no es tan claro y en la actualidad este se convierte en un tema de interés para la comunidad geocientífica (Weissmann *et al.*, 2010).

Los Andes son el clásico ejemplo de un cinturón montañoso construido a lo largo de una zona de subducción

(Pratt *et al.*, 2005). Ecuador se localiza al sur de los Andes del norte, en el límite de placas convergentes, en donde la cordillera submarina de Carnegie se subduce en la placa sudamericana a una tasa media de 58mm/a (ver Figura 1A); las características de los procesos de subducción controlan la tasa de elevación y subsidencia a nivel regional (Sage *et al.*, 2006).

En el Ecuador, los Andes mantienen una tendencia N-NE y se componen de dos distintas cordilleras. El basamento de la cordillera occidental y la planicie costera es considerado un terreno oceánico alóctono acrecionado a la margen noroccidental sudamericana a lo largo de la falla Calacali-Pallatanga-Palenque (CPPF); (Aspden y Litherland, 1992). Las fallas Las Aradas (LAF) y Raspas (RF) separan a la cordillera Real del Bloque Amotape Tahuín (BAT). (Riel *et al.*, 2013) sugiere que el BAT corresponde a un *slab* rotado de la cordillera Real (ver Figura 1A).

La falla Peltetec (PF) representa el límite occidental de la cordillera Real, la cual es considerada como un cinturón de rocas metamórficas precámbricas a mesozoicas. Mientras que el sistema de fallas Cosanga (CF), Méndez (MF), Palanda (PLF) ha sido interpretado como el límite oriental de la cordillera (Litherland, 1994). Al E del sistema de fallas CF-MF-PLF, la región subandina corresponde a un cinturón de orientación N-s, deformado, corrido y plegado; de N a s, se compone del levantamiento Napo, depresión Pastaza y la cordillera Cutucú (Baby *et al.*, 2013).

Al sw de la cordillera Cutucú, en el flanco e de la cordillera Real, la cuenca del río Yunganza es una cuenca fluvial de segundo orden que alimenta al río Namangoza tributario del río Zamora. Esta cuenca es controlada por el movimiento de bloques tectónicos que afectan a secuencias cretácicas (ver Figura 1).

En este contexto, la falla Copal corresponde a un sistema de fallas inversas de dirección N-S, buzando al W, que afecta a rocas de la Formación Napo. El sistema de fallas Yunganza-Numbaime corresponde a fallas inversas de dirección, NNE-NE, con buzamiento al SE, estas fallas ponen en contacto tectónico a las formaciones Hollín y Misahuallí. La falla El Castillo corresponde a una falla inversa, de dirección NE-SW, que buza al NW y pone en contacto tectónico a rocas de las formaciones Hollín y Napo. La falla Limón es una falla inversa de dirección NE-SW, que buza al NW y afecta a secuencias terciarias, poniendo en contacto bloques de la Formación Hollín y Terrazas Aluviales (ver Figuras 1B y 2)

La zona de estudio fue definida al S del poblado El Rosario, debido a la presencia de afloramientos de grandes dimensiones y con buena continuidad lateral que permiten estudiar depósitos aluviales antiguos que en la actualidad forman estructuras en mesa o terrazas aluviales y depósitos aluviales modernos a lo largo del río Yunganza (ver Tabla 1).

Esta investigación presenta la documentación de características litológicas, estructuras sedimentarias, arquitectura estratigráfica, tendencias en la variación del tamaño de estrato, con el fin de proponer ambientes de depósito. Esta investigación incluyó el levantamiento de datos topográficos con ayuda de GPS diferencial, con el fin de evaluar el espesor de estos depósitos. De esta manera, este estudio analiza la generación de detrito disponible y patrones de sedimentación en la cuenca confinada del río Yunganza, que alimenta al río Santiago

#### **METODOLOGÍA**

Esta investigación utiliza la identificación, descripción e interpretación de *facies* sedimentarias y considera el término *facie* definido por Walker (1990) como un cuerpo de roca caracterizado por una particular combinación de litologías, estructuras físicas y biológicas que le confieren un aspecto diferente a los cuerpos de rocas adyacentes dentro de una secuencia.

Este artículo se enfoca en la descripción de rocas sedimentarias clásticas: psefiticas, psamíticas y pelíticas, presentando criterios para la distinción petrológica, especificación de las características de textura e identificación de estructuras sedimentarias, incluyendo en la descripción conceptos de asociación

de *facies* y ambientes sedimentarios análogos descritos en James y Dalrymple (2010). En la documentación de litofacies considerada por Miall (2010), quien presenta las litofacies posibles en sistemas aluviales. Para la identificación de superficies de erosión se utilizó la discriminación presentada por Tedesco (2010).

La medición de paleocorrientes se la realizó a partir de la documentación de superficies de erosión y estructuras sedimentarias de transporte como son imbricación y *sets* con estratificación cruzada. Siguiendo a Tucker (2009), estos datos fueron analizados mediante una media geométrica estadística para definir la dirección de la paleocorriente. Medidas de GPS-diferencial se utilizaron para medir diferencias de alturas y estimar espesores.

En el levantamiento de datos en campo, se utilizó el GPS Trimble GeoXT 2008-Series, siguiendo los protocolos de recolección de datos reportados por Fontán *et al.*, 2007; y para el procesamiento de datos se utilizó software ArcPad 8. Datos de alturas obtenidos del GPS-diferencial han sido integrados en la elaboración de columnas estratigráficas.

#### **RESULTADOS**

Al W del área de estudio areniscas y cuarzo-areniscas de la Formación Hollín afloran extensamente. En este sector, una de las principales características morfológicas es la presencia de deslizamientos rotacionales y gravitacionales; estos deslizamientos proporcionan detrito a la cuenca del río Yunganza. Mientras que en el flanco oriental del río, se observan andesitas y brechas volcánicas de la formación Misahuallí, en este sector no se documentan movimientos en masa (ver Figura 2).

La tabla 2 indica el resumen de *facies* documentadas en esta investigación. En las márgenes del río Yunganza, se documentó depósitos de terrazas aluviales (TA-1 y TA-2) y depósitos aluviales (DA), estos depósitos son escritos a continuación (ver Tabla 2).

#### **TERRAZA ALUVIALES 1 (TA-1)**

Afloran en los flancos altos del río Yanganatza y se depositan cubriendo en discordancia a la Formación Hollín (ver Figura 2). El espesor máximo observado en campo alcanza los 62 m al W de la zona de estudio mientras que en el flanco SE del río Yunganza se observaron espesores máximos de 20 m (ver Figuras 3 y 4).

En la base de la secuencia, se observan apilaciones verticales, métricas, de tendencia estrato decreciente y grano decreciente, de estratos de morfología canalizada, lateralmente discontinua de conglomerados (LT-1: Fig. 4) oligomícticos, con clastos centimétricos, de 3 a 24 cm, de areniscas, lutitas, andesitas, polimodales,

**Tabla 1.** Coordenadas de afloramientos estudiados a detalle. Sistema de proyección WGS-84, 17S.

Afloramiento	UTM-X	UTM-Y
A	789517E	9678321N
B	789850E	9678236N
C	790268E	9678215N
D	790453E	9678580N
E	790485E	9677744N
F	789676E	9677786N
G	789480E	9677490N

**Tabla 2.** Resumen de litofacies

Facies	Litología	Estructuras sedimentarias	Interpretación
LT-1 Gmg, Gh, Gt	Conglomerados, oligomícticos, con clastos de areniscas, lutitas, andesitas, polimodales, matriz soportado, de matriz arenosa.	Gradación normal Estratificación cruzada transversal, Imbricación	Flujos de escombros plásticos
LT-2 Gmm,Gp	Conglomerados, polimígnicos, con clastos de areniscas, andesitas, dacitas, riolitas, cuarcitas, filitas, polimodales, clasto soportado, de matriz arenosa.	Masiva a ligeramente gradado, ocasionalmente estratificación cruzada planar	Flujos de escombros pseudo-plásticos
LT-3 Gci, Gcm, Gmm	Conglomerados, oligomícticos, con clastos de areniscas, y lutitas, polimodales, clasto soportado.	Gradación inversa	
LT-4 St, Sr	Arenisca gruesa a fina, con granulos volcánicos, mal sorteada	Estratificación cruzada planar, ripples de corriente	Barras fluviales
LT-5 Sl, Sm	Arenisca media a gruesa, con clastos metamórficos y volcánicos, moderadamente bien sorteada	Masiva, ocasionalmente laminación cruzada	
LT-6 Sp, St	Arenisca muy gruesa a media, con granulos de cuarzo	Estratificación cruzada transversal y planar. Gradación normal	
LT-7 Fl, Sm, C	Limolita arenosa, arenisca fina a muy fina, con esporádicos granulos volcánicos y carbón	Masiva, ocasionalmente Small ripples	Planicies de inundación

subangulosos, de esfericidad media, matriz soportado, de matriz areno-limosa, con gradación normal (Gmg: Fig. 5 y Fig. 6), estratificación cruzada transversal (Gt) e imbricación (Gci) con dirección NE-E (62°: Fig. 3).

Hacia la parte media, se observan intercalaciones centimétricas, de: conglomerados (LT-2; Fig. 4), polimígnicos, con clastos subredondeados de esfericidad media, de areniscas, andesitas, dacitas, riolitas, cuarcitas, filitas, polimodales, clasto soportado, de matriz arenosa, masivos a ligeramente gradados (Gmm: Fig.

5 y Fig. 6), y estratificación cruzada planar (Gp: Fig. 5 y Fig. 6), con areniscas (LT-3: Fig. 4) de grano medio a grueso, con granulos, subangulosos de esfericidad media, de cuarzo y fragmentos andesíticos, con estratificación cruzada transversal (St: Fig. 5 y Fig. 6) y estratificación cruzada planar (Sp; Fig. 5 y Fig. 6).

El tope de la secuencia es caracterizado por la presencia de niveles de limolitas arenosas (LT-3: Fig. 4), masivas (FL: Fig. 5 y Fig. 6) con fragmentos de carbón (C), distribuidos de manera periclinal entre estratos

centimétricos de microconglomerados de cuarzo, matriz soportada.

Al analizar la composición de los clastos presentes en TA-1, se observa que existe un dominio de clastos de cuarzo (50%), areniscas limosas (35%), lutitas (10%) y andesitas (5%).

*Interpretación.* Miall (1988) asocia a *facies* conglomeráticas gradadas a flujos de escombros. El grado de sorteo y la morfología de los clastos documentados indican que la fuente de detrito es distal. A partir de la medición de paleocorriente se observa que la fuente de detrito se ubica en el flanco W del río. Por otro lado, Brierley, Liu y Crook (1993) indican que niveles de areniscas gruesas con estratificación cruzada, distribuidas en *facies* de conglomerados se forman debido al imput periódico de detrito en abanicos aluviales desde bloques cercanos; por lo cual estas *facies* son interpretadas como flujos de escombros distales provenientes de bloques del W, asociados a la Formación Hollín, en función de la composición de clastos documentados.

#### **TERRAZA ALUVIALES 2 (TA-2)**

Cubren en discordancia a los depósitos TA-1 (ver Figura 2). El espesor máximo observado se aproxima a 80 m (ver Figuras 3 y 4). En la base de la secuencia se observan intercalaciones de paquetes métricos, canalizados, de conglomerados (LT-1; Fig. 4), oligomícticos con clastos redondeados de baja esfericidad, de cuarzo y andesitas, matriz soportado, de matriz arenosa, con gradación normal (Gmg: Fig. 5 y Fig. 6) y masivos (Gmm), entre abundantes niveles con estratificación cruzada transversal (Gt: Fig. 6). Paleocorrientes indican una dirección de transporte hacia el N (ver Figura 3).

La parte media de esta secuencia es caracterizada por la presencia de areniscas (LT-5: Fig. 4) de grano grueso a muy grueso con clastos, subredondeados de baja esfericidad, andesíticos, mal sorteados, con gránulos subredondeados de esfericidad media, con estratificación cruzada paralela (Sp: Fig. 5 y Fig. 6) y estratificación cruzada transversal (St: Fig. 5 y Fig. 6); es común observar la presencia de estratos planares, de arenisca finas a muy finas, masivas (Sm) con gránulos de cuarzo.

Hacia el tope de la secuencia, se observan esporádicos niveles conglomeráticos con abundantes fragmentos de areniscas y gránulos de cuarzo, imbricados en dirección NE-E. Niveles de areniscas (LT-6: Fig. 4) finas masivas (Sm: Fig. 5 y Fig. 6) con fragmentos de carbón (C) y limolitas arenosas con abundantes *ripples* (Sr).

El análisis modal de componentes clásticos en TA-2, indican un dominio de cuarzo (80%), fragmentos volcánicos, andesitas, dacitas y riolitas (10%). Se ob-

servan también bloques conglomeráticos asociados a TA-1 (7%) y en menor proporción fragmentos metamórficos (3%).

*Interpretación.* Delcaillau *et al.*, (2010) estudian depósitos estratificados de pie de talud en el alto de Marrakech y describe *facies* arenosas con estratificación cruzada entre *facies* de conglomerados masivos y gradación normal, con un clásico mal sorteo y patrones de baja esfericidad, esta descripción concuerda con características litológicas y morfológicas observadas en TA-2.

La dirección de paleocorrientes documentada en TA-2 cambia de N-NE a N con respecto a la dirección documentada en los depósitos de TA-1 (ver Figuras 3 y 4). Fontana, Mozzi y Marchetti, (2014) indican que en *facies* de conglomerados de baja esfericidad y mal sorteo son indicativos de retrabajamiento de flujos de escombros precedentes.

#### **DEPÓSITOS ALUVIALES (DA)**

Cubren en discordancia a los TA-1 y TA-2. Buenas exposiciones de esta secuencia se encuentran a orillas del río Yungantza. Corresponden a barras fluviales y planicies de inundación activas; las barras fluviales están formadas por conglomerados matriz soportados, polimícticos, estratificados, con gradación normal, hacia el tope se observan niveles de areniscas gruesas a medias, bien sorteadas, con estratificación cruzada transversal y paralela. Planicies de inundación están compuestas por horizontes de areniscas finas a medias, con niveles de limolitas arenosas con abundante materia orgánica. En la actualidad, la dirección de transporte del río indica una tendencia N.

La composición modal de DA es dominada por fragmentos volcánicos de composición andesítica (50%), dacítica (20%), fragmentos metamórficos de cuarcitas (10%), filitas (7%) y fragmentos sedimentarios de cuarzo (5%), caliza (5%) y lutitas (3%).

#### **DISCUSIÓN**

A escala regional, abanicos aluviales se desarrollan en los flancos de las cordilleras y se forman a partir del depósito de detrito que se generan por erosión de zonas altas de los cinturones montañosos (Platt y Keller, 1992). La forma cónica de los abanicos aluviales es el resultado de la interacción entre el cambio de pendiente y la pérdida de energía del flujo que arrastra sedimento (Brierley *et al.*, 1993).

La cantidad de detrito disponible para la sedimentación en abanicos aluviales depende directamente de los procesos erosivos y los patrones de sedimentación en las microcuencas alimentadoras del sistema fluvial que forma el abanico aluvial (Reitz y Jerolmack, 2012).

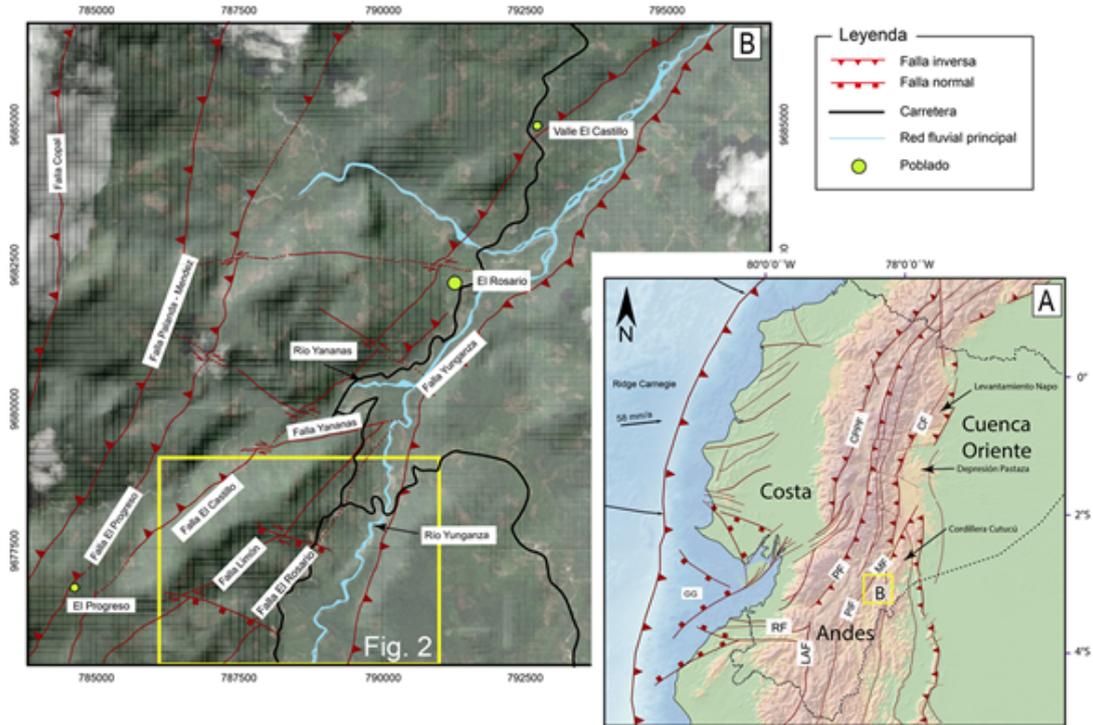


Figura 1. Esquema tectónico regional  
 A. Marco tectónico del Ecuador; B. Esquema estructural regional de la zona de estudio, modificado de IIGE, (2019).

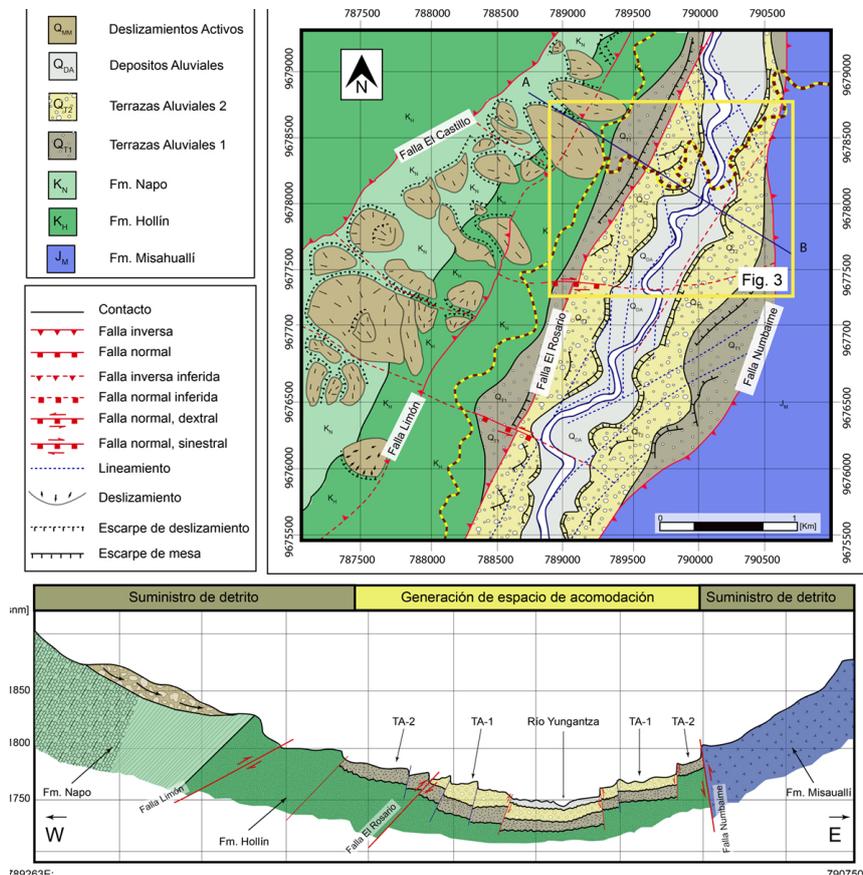
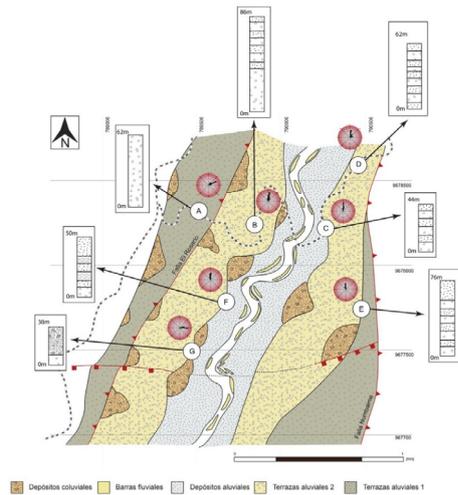
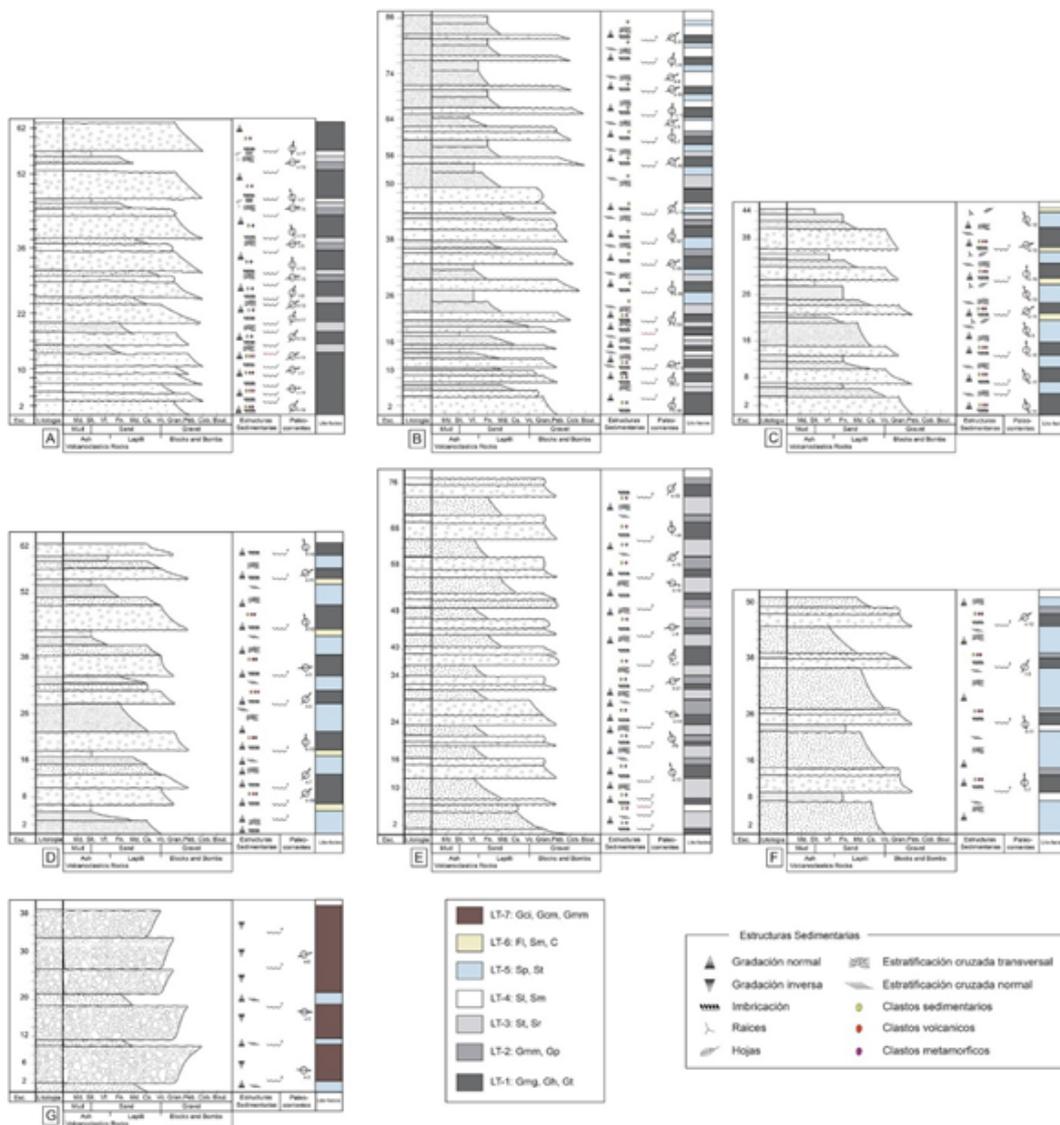


Figura 2. Mapa geológico de la zona de estudio  
 Fuente: Modificado de IIGE, (2019).

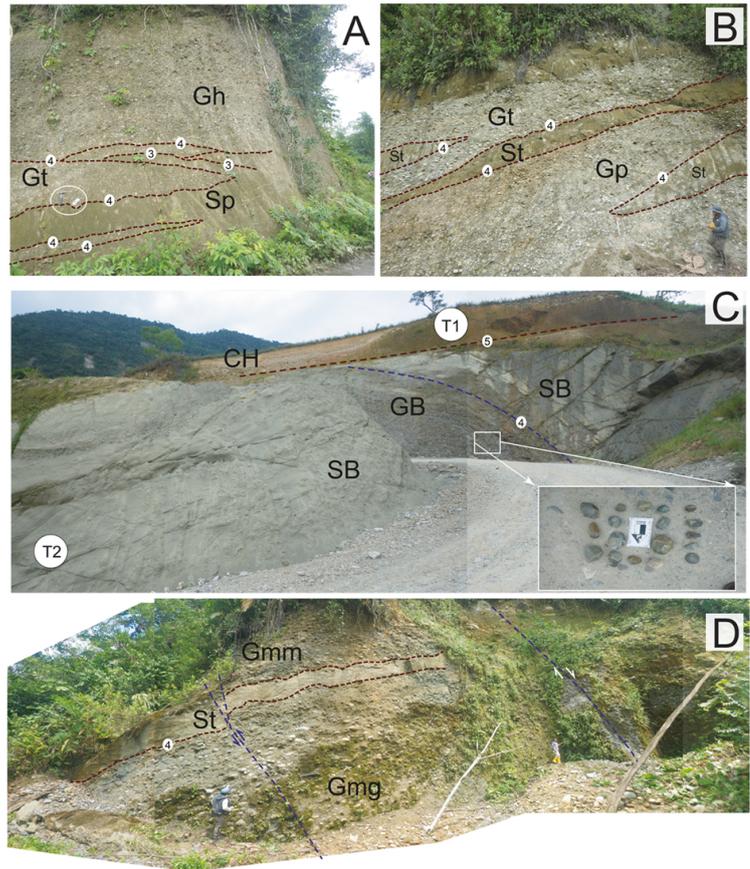


**Figura 3.** Mapa de terrazas aluviales y depósitos aluviales del río Yunganza al sur del sector Rosario.

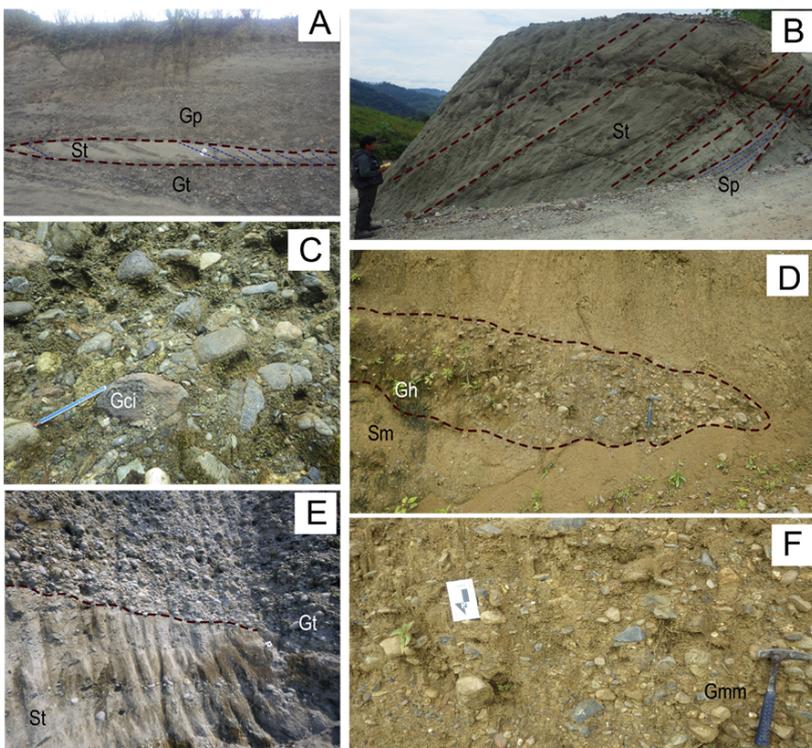
En la figura, se observan los afloramientos estudiados a detalle y señalados en la tabla 1, dirección media de paleocorrientes y espesor estimado de cada secuencia.



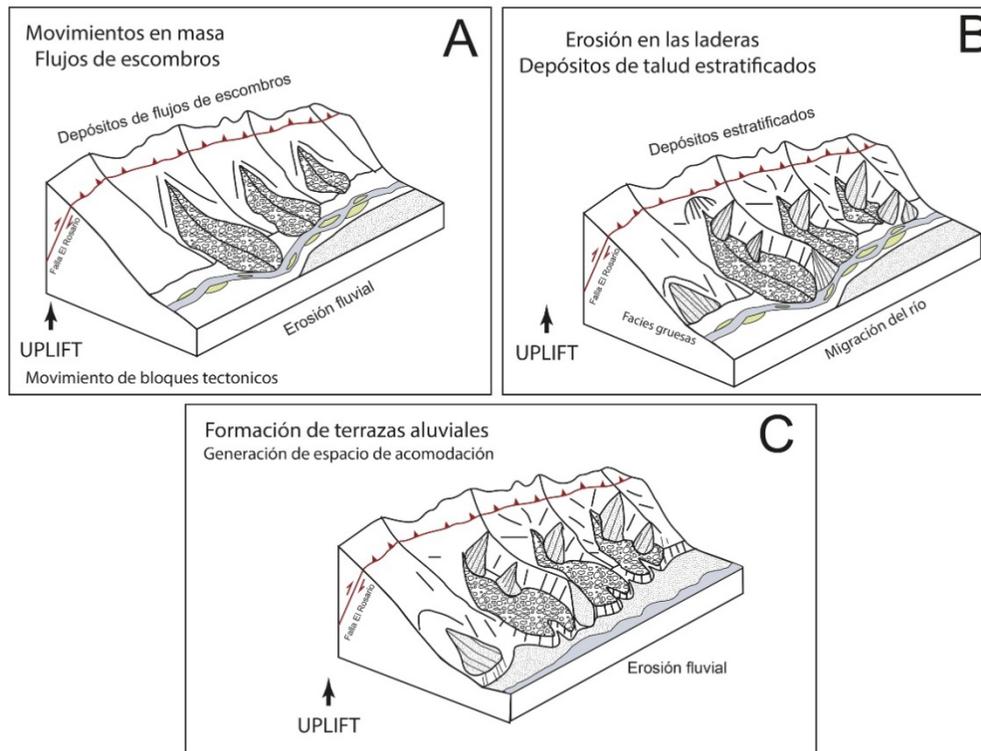
**Figura 4.** Columnas estratigráficas de terrazas aluviales. En la figura, se observan las columnas estratigráficas de los afloramientos estudiados a detalle señalados en la tabla 1 y en la figura 3.



**Figura 5.** Afloramientos tipo de terrazas en el río Yunganza. A. Canales conglomeráticos con imbricación, estratificación cruzada transversal (Gt) y gradación normal, entre niveles de areniscas medias a gruesas con estratificación cruzada paralela (Sp) de T-A-1 (A-UTM X: 789 517E; Y: 9678321N); B. Barras de arenisca media a fina con estratificación cruzada transversal (ST), entre canales conglomeráticos, TA-1 (B-UTM X: 789 850E; Y: 9 678 236N); C. Macroformas de barras de arena (SB) y barras de graba en TA-2 (E-UTM X: 790 485E; Y: 9 677744N); D. Litofacies de areniscas gruesas con estratificación cruzada transversal, entre conglomerados masivos y gradación normal TA-2 (D-UTM X: 790 453E; Y: 9 678580N).



**Figura 6.** Litofacies tipo de terrazas aluviales del río Yunganza. A. Barras de arena (St) entre canales conglomeráticos (Gp-Gt), TA-2. B. Planicies de arena (St-Sp), TA-2. C. Facies conglomeráticas (Gci), TA-1. D. Canales conglomeráticos aislados (Gh) entre planicies de arena (Sm), TA-1. E. Facies conglomeráticas imbricadas (Gt) cubriendo a barras de arena (St), TA-1; F. Flujos de escombros masivos (Gmm), DA.



**Figura 7.** Modelo de generación de detrito y formación de terrazas aluviales en el río Yunganza. Elaborado a partir de la interpretación de ambientes de depósito, considerado a Decaillau, et al. (2010) y Ventra y Clarke (2018).

Los procesos de erosión están vinculados a la denudación física por factores climáticos de la roca fuente; sin embargo, la erosión implica patrones de sedimentación iniciales que permiten que el sedimento pueda ser transportado por los sistemas fluviales de una determinada región a otra (Latrubesse, 2015).

En la región subandina ecuatoriana, los patrones de sedimentación de sistemas fluviales no han sido descritos en trabajos anteriores. El río Yunganza es un río subandino, de dirección NE, alimentador del río Santiago, que transporta grandes cantidades de detrito desde la región subandina a la planicie amazónica.

En el flanco o del río Yunganza, movimientos de bloques tectónicos deforman principalmente a rocas de la Formación Hollín, factores climáticos ocasionan la degradación de estas rocas y generan movimientos en masa, cuando un movimiento en masa es activado se generan flujos de escombros (TA-1) que rellenan los flancos occidentales del río (ver Figura 7A).

Depósitos estratificados de pie de talud (TA-2) se forman por erosión de flujos de escombros y laderas próximas (ver Figura 7B). La documentación de paleocorrientes en TA-1 y TA-2 permite indicar la migración del río desde el flanco o hacia su posición actual. La erosión generada por el río a través de su historia reciente se produce en TA-1 y TA-2; el grado de incisión en TA-1 corresponde a 54 m, mientras que en la TA-2 se

midieron tasas de erosión de 10 m; lo que indica un intenso reciclaje de detrito en TA-1.

La migración del canal activo del río Yunganza erosiona flujos de escombros y genera de detrito disponible para la sedimentación. En las márgenes del río, el suministro de detrito es caracterizado por deslizamientos gravitacionales, mientras que en los flancos altos del río el suministro de sedimento es caracterizado por deslizamientos compuestos. De esta manera, los patrones de sedimentación en el río Yunganza implica la formación de terrazas aluviales a partir del retrabajamiento de flujos de escombros y depósitos aluviales (ver Figura 7C).

Según Sass y Krautblatter (2007), depósitos estratificados de talud indican la interacción entre factores climáticos y material no consolidado, sobre una pendiente de alto ángulo. Delcaillau *et al.*, (2010) indican que una característica genética de estos depósitos es la intercalación de periodos de exhumación de bloques entre periodos de relativa tranquilidad tectónica, los cuales permiten el transporte de flujos sobresaturados en sedimento. En el flanco occidental del río Yunganza, depósitos estratificados de talud, alcanzan espesores de 20 m en TA-2.

## CONCLUSIONES

- Se identificaron 14 litofacies: Gcm, Gci, Gmg, Gmm,

Gt, Gp, Gh, Sp, St, Sr, Sl, Sm, Fl, C agrupadas en 7 macroformas descritas en 7 facies.

- Las facies LF-1 y LF-2 son utilizadas para describir facies de flujos de escombros distales, que presentan grados variables de sorteo y permitieron el desarrollo de estructuras sedimentarias de transporte de detrito como son: imbricación, gradación y estratificación cruzada; mientras que la litofacies LF-3 es utilizada para describir flujos de escombros proximales, característicamente masivos, no sorteados.
- Las facies LF-4, LF-5 y LF-6 son utilizadas para describir macroformas de origen fluvial como son canales y barras —longitudinales y transversales— que caracterizan a depósitos de canal activo en sistemas fluviales confinados. Mientras que la facie LF-7 es utilizada para describir macroformas de planicies de inundación.
- En el río Yunganza, los procesos de sedimentación responden a la generación de flujos de escombros desde el flanco occidental del río en donde aflora extensamente la Formación Hollín. En lo posterior, estos flujos de escombros son erosionados tanto por acción de la gravedad como por erosión fluvial. De esta manera, la formación de terrazas aluviales responde a movimientos de bloques tectónicos a lo largo del flanco oriental de la cordillera Real.
- Los procesos de erosión en el río Yunganza están relacionados al transporte de sedimento, esto incluye: la generación de flujo de escombros, depósitos estratificados de talud, en lo posterior la erosión de flujos de escombros y construcción de terrazas aluviales que son a su vez, retrabajadas en periodos de migración del río relacionados a tasas de exhumación del bloque occidental del río Yunganza.

## REFERENCIAS

- Aspden, J. A. and Litherland, M. 1992. The geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador. *Tectonophysics*, 205(1-3), 187-204. Doi.org/10.1016/0040-1951(92)90426-7
- Baby, P., Rivadeneira, M., Barragán, R. and Christophoul, F. 2013. Thick-skinned tectonics in the Oriente foreland basin of Ecuador. *Geological Society, London, Special Publications*, 377(1), 59-76. Doi.org/10.1144/SP377.1
- Benito, G., Gutiérrez, F., Pérez-González, A. and Machado, M. J. 2000. Geomorphological and sedimentological features in Quaternary fluvial systems affected by solution-induced subsidence (Ebro Basin, NE-Spain). *Geomorphology*, 33(3-4), 209-224. Doi.org/10.1016/S0169-555X(99)00124-5
- Brierley, G. J., Liu, K. and Crook, K. A. 1993. Sedimentology of coarse-grained alluvial fans in the Markham Valley, Papua New Guinea. *Sedimentary Geology*, 86(3-4), 297-324. Doi.org/10.1016/0037-0738(93)90027-3
- Bull, W.B., 1977. The alluvial fan environments. *Prog. Phys. Geogr.* 1, 222e270
- Delcaillau, B., Laville, E., Amhrar, M., Namous, M., Dugué, O. and Pedoja, K. 2010. Quaternary evolution of the Marrakech High Atlas and morphotectonic evidence of activity along the Tizi N'Test Fault, Morocco. *Geomorphology*, 118(3-4), 262-279. Doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.01.006
- Fontán, A., Alcántara-Carrió, J., Poveda, J. M., & Peña, M. A. 2007. Aplicación de técnicas de GPS diferencial, fotogrametría y geofísica a la cuantificación de procesos erosivos y balances sedimentarios en playas y dunas costeras. *Teledetección-Herramienta para la gestión sostenible. Proc XII Congr Asociación Española de Teledetección*, 19-21. ISBN: 975-987-543-127-0
- Fontana, A., Mozzi, P. and Marchetti, M. 2014. Alluvial fans and megafans along the southern side of the Alps. *Sedimentary Geology*, 301, 150-171. Doi.org/10.1016/j.sedgeo.2013.09.003
- IGGE, 2019. Memoria Técnica de la HG-Mendez, esc. 1:100.000. Informe no publicado.
- James, N.P. and Dalrymple R., W. 2010. *Facies Models 4. GEotext 6*. Geological Association of Canada.
- Jolley, E. J., Turner, P., Williams, G. D., Hartley, A. J. and Flint, S. 1990. Sedimentological response of an alluvial system to Neogene thrust tectonics, Atacama Desert, northern Chile. *Journal of the Geological Society*, 147(5), 769-784. Doi.org/10.1144/gsjgs.147.5.0769
- Latrubesse, E. M. 2015. Large rivers, megafans and other Quaternary avulsive fluvial systems: A potential «who's who» in the geological record. *Earth-Science Reviews*, 146, 1-30.
- Lewin, J., Macklin, M. G. and Johnstone, E. 2005. Interpreting alluvial archives: sedimentological factors in the British Holocene fluvial record. *Quaternary Science Reviews*, 24(16-17), 1873-1889. Doi.org/10.1016/j.quascirev.2005.01.009
- Litherland, M. 1994. The metamorphic belts of Ecuador. *British Geological Survey, Overseas Memoir.*, 11.
- Miall, A. D. 1988. Facies architecture in clastic sedimentary basins. In *New perspectives in basin analysis* (pp. 67-81). Springer, New York, NY. Doi.org/10.1007/978-1-4612-3788-4\_4
- Miall, A. D. Alluvial deposits 2010 *Facies Models, 4. Geological Association of Canada, St. John's, Newfoundland*, 105-137.
- Platt, N. H. and Keller, B. 1992. Distal alluvial deposits in a foreland basin setting—the Lower Freshwater Miocene), Switzerland: sedimentology, architecture and palaeosols. *Sedimentology*, 39(4), 545-565. Doi.org/10.1111/j.1365-3091.1992.tb02136.x
- Pratt, W. T., Duque, P. and Ponce, M. 2005. An autochthonous geological model for the eastern Andes of Ecu-

- dor. *Tectonophysics*, 399(1-4), 251-278. Doi.org/10.1016/j.tecto.2004.12.025
- Reitz, M. D. and Jerolmack, D. J. 2012. Experimental alluvial fan evolution: Channel dynamics, slope controls, and shoreline growth. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 117(F2). Doi.org/10.1029/2011JF002261
- Riel, N., Guillot, S., Jaillard, E., Martelat, J. E., Paquette, J. L., Schwartz, S., Goncalves P., Ducaux, N., Thebaud N., Lanari P., Janots E. and Yuquilema J. 2013. Metamorphic and geochronological study of the Triassic El Oro metamorphic complex, Ecuador: Implications for high-temperature metamorphism in a forearc zone. *Lithos*, 156, 41-68. Doi.org/10.1016/j.lithos.2012.10.005
- Sage, F., Collot, J. Y. and Ranero, C. R. 2006. Interplate patchiness and subduction-erosion mechanisms: Evidence from depth-migrated seismic images at the central Ecuador convergent margin. *Geology*, 34(12), 997-1000. Doi.org/10.1130/G22790A.1
- Sass, O. and Krautblatter, M. 2007. Debris flow-dominated and rockfall-dominated talus slopes: Genetic models derived from GPR measurements. *Geomorphology*, 86(1-2), 176-192. Doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.08.012
- Tedesco, A., Ciccio, P., Suriano, J. and Limarino, C. O. 2010. Changes in the architecture of fluvial deposits in the Paganzo Basin (Upper Paleozoic of San Juan province): an example of sea level and climatic controls on the development of coastal fluvial environments. *Geologica acta*, 8(4), 0463-482. DOI: 10.1344/105.000001583
- Tucker, M. E. (Ed.). 2009. *Sedimentary petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks*. John Wiley & Sons.
- Ventra, D. and Clarke, L. E. 2018. Geology and geomorphology of alluvial and fluvial fans: current progress and research perspectives. *Geological Society, London, Special Publications*, 440(1), 1-21. Doi.org/10.1144/SP440.16
- Walker, R. G. 1990. Facies modeling and sequence stratigraphy. *Journal of Sedimentary Research*, 60(5), 777-786.
- Weissmann, G. S., Hartley, A. J., Nichols, G. J., Scuderi, L. A., Olson, M., Buehler, H. and Banteah, R. 2010. Fluvial form in modern continental sedimentary basins: distributive fluvial systems. *Geology*, 38(1), 39-42. Doi.org/10.1130/G30242.1



ISSN-i 1390-7042 | ISSN-e 2602-8484

---

**ANÁLISIS DE FACTORES DE RIESGO AMBIENTAL EN LA RELAVERA COMUNITARIA EL TABLÓN,  
CANTÓN PORTOVELO, PROVINCIA DE EL ORO**

---

**Analysis of environmental risk factors at El Tablón tailings dams,  
canton Portovelo, province of El Oro**

---

Alexandra Acurio Rivera  
Universidad Internacional del Ecuador  
apame23@gmail.com  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9986-4025>

Carolina del Rocío Montero Calderón  
Universidad Central del Ecuador  
cdmontero@uce.edu.ec  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3683-8628>

---

---

Recibido: septiembre de 2020

Aprobado: diciembre de 2020

ARTÍCULO ORIGINAL

doi: [10.29166/revfig.v1i2.2574](https://doi.org/10.29166/revfig.v1i2.2574)

---

**RESUMEN**

En este trabajo se presenta el análisis de los factores de riesgo ambiental en la fase de operación de la Relavera Comunitaria El Tablón ubicada en el cantón Portovelo. Este depósito alberga los relaves de la Plantas de Beneficio del Distrito Minero Zaruma Portovelo en el cual hasta julio del 2019 se han confinado 1.626.853 m<sup>3</sup> de relaves. Se ha aplicado una metodología de investigación analítica-sintética fundamentada en la interacción causa-efecto para definir los impactos ambientales positivos o negativos en los procesos de la relavera con la aplicación de la metodología de opción binaria de incidencia y uso de matriz de doble entrada (matriz Leopold). Se concluye que en este proceso el 32,70 % son impactos positivos y el 67,3% son impactos negativos, siendo la calidad de aire y suelo los factores afectados negativamente en mayor porcentaje; mientras que el componente socioeconómico se verá beneficiado debido a la generación de empleo.

**ABSTRACT**

The present research work presents the analysis of the environmental risk factors of Relavera Comunitaria El Tablón in the operation phase located in the Portovelo canton, a deposit that stocks the tailings of the Zaruma Portovelo Mining District Benefit Plants. The historic tailings until July 2019 express that 1'626,853 m<sup>3</sup> of tailings have been confined. The method used is an analytical-synthetic investigation based on the cause-effect interaction to define environmental impact positive or negative in the project processes, applying the binary option incidence methodology using double-entry matrices (Leopold matrix). It is concluded that 32.70% are positive impacts, and 67.3% are negative impacts. The most negatively affected factors are air and soil quality, and the social-economic component has benefited.

---

**PALABRAS CLAVE** Relavera, El Tablón, depósito de relaves, matriz de Leopold, impacto ambiental.

---

**KEYWORDS** Tailing, El Tablón, tailings deposit, Leopold, environmental impact.

---



Figura 1. Derrame de relaves

## INTRODUCCIÓN

Los cantones Zaruma, Portovelo, Atahualpa y Piñas fueron catalogados como zona minera desde el año 1992, denominándose Distrito Minero Zaruma Portovelo. La explotación inicia en la época colonial a partir del año 1549 con la fundación de la ciudad de Zaruma (Vikentyev y Banda, 2005). La extracción y beneficio de mineral aurífero se realizó con métodos rudimentarios. El surgimiento de la pequeña minería se registra cuando se funda la empresa británica Zaruma Gold Mining Company (año 1878), la cual se enfocó en exploración subterránea trabajando durante el periodo 1880-1896 (Prodeminca, 2000). Posteriormente ingresa la compañía South American Development Company (SADCO), que operó entre 1896 y 1950, con esta compañía surgió la instalación de molinos y plantas de beneficio para recuperar oro como mineral principal y plata como secundario. En 1970 opera la compañía CIMA, una vez que la producción se redujo y la empresa cerró sus operaciones, los extrabajadores empezaron a laborar de forma no regulada. Las instalaciones de SADCO quedaron relegadas y los mineros improvisaron depósitos para almacenar sus relaves, muchos de éstos se evacuaban a los recursos hídricos (Paredes, 2013).

Los relaves son lodos, efluentes y roca molida, producto de los procesos mecánicos y químicos que se realizan en una planta de procesamiento para extraer el mineral (Valderrama *et al.*, 2019). Además, el volumen de material de desecho es normalmente mayor al volumen de metal extraído, estos relaves contienen contaminantes potencialmente peligrosos, porque son mezclas de roca triturada y fluidos de procesamiento de diferentes equipos (Barcelos *et al.*, 2020). Las investigaciones *in situ* de los múltiples indicadores

indican que los efectos sinérgicos de la hidrogeología, la meteorología, la ingeniería y los factores humanos pueden prevenir desastres técnicos y ambientales en las relaveras (Glotov *et al.*, 2018)

En 2011, el Estado ecuatoriano inicia la regularización de las plantas de beneficio; para lo cual estas instalaciones requieren la licencia ambiental para operar, y que en una de sus obligaciones establece que los relaves deben ser transportados a la Relavera Comunitaria El Tablón (Sánchez, 2015).

Por los antecedentes indicados, el presente estudio analiza los impactos ambientales generados en este proceso de transporte de relaves.

## METODOLOGÍA

Para este trabajo, se recopilaron y analizaron los resultados de los monitoreos del año 2019 de caracterización de relaves, agua, aire, ruido, suelo, efectuados por laboratorios acreditados; además de reportes de humedad, y observación *in situ*. Con esta información se aplicaron los lineamientos de la Matriz de Leopold para la evaluación de impactos ambientales (Acurio, 2020), ya que ha demostrado ser una herramienta para toma de decisiones que incluye multicriterios (Sobczyk *et al.*, 2017).

## DISPOSICIÓN DE RELAVES

La Relavera Comunitaria El Tablón recibe los residuos mineros de las plantas de beneficio ubicadas en los cantones Portovelo, Zaruma, Piñas y Atahualpa. El transporte de relaves se lo realiza por medio de volquetas de 8,12 y 16 m<sup>3</sup>, los relaves ingresan a la relavera comunitaria pasando por una báscula, y registro de la procedencia del relave.

La disposición de relaves se realiza actualmente desde plataformas ubicadas en el flanco sur, el tractor

**Tabla 1.** Registro histórico relaves junio 2014- julio 2019 depositados en la relavera comunitaria

Año	Metros cúbicos	Nº de volquetas
2014	46532	4163
2015	217692	18607
2016	357656	29518
2017	333465	28082
2018	448604	37395
2019	222904	18573
Total	1626853	136338

Fuente: Prefectura de El Oro.

**Tabla 2.** Caracterización de relaves

Parámetro	Unidad	Resultado	Criterios de remediación			
			Residencial	Comercial	Industrial	Agrícola
Arsénico	mg/kg	957	12	12	12	12
Cadmio	mg/kg	25	4	10	10	2
Cobre	mg/kg	984	63	91	91	63
Plomo	mg/kg	1339	140	150	150	60
Selenio	mg/kg	9	5	10	10	2
Zinc	mg/kg	3808	200	380	360	200

Fuente: Prefectura de El Oro.

**Tabla 3.** Consistencia de relave muestreo marzo 2019

Consistencia de relave	Humedad (%)	Transporte por volquetas
Espesado	>25-35	10%
Pasta	15-25	76%
Filtrado	<15	14%

Fuente: Prefectura de El Oro.

de orugas realiza el empuje de relaves que, por gravedad, desciende hacia el interior del vaso. El acceso al interior del vaso está restringido por vía inhabilitada, el depósito desde el vaso en ascenso de cotas requiere que el contenido de humedad sea del 20% que corresponde a la humedad óptima que permite el manejo con equipos de movimiento de tierra para efectuar la compactación (Lara, 2013).

Según el registro histórico, desde junio 2014 hasta julio 2019, en la relavera comunitaria se ha depositado 1.626.853 m<sup>3</sup> de relaves (ver Tabla 1).

#### CARACTERIZACIÓN DE RELAVES

Según el Reglamento Ambiental para actividades

mineras (Ministerio de Ambiente, 2014), se prohíbe la disposición de desechos generados en plantas de beneficio tales como relaves, soluciones, aguas de procesos, químicos y otros, directamente a los cursos de agua y suelo que eviten derrame de relaves en la vía (ver Figura 1).

Se puede observar (ver Tabla 2) que los parámetros: arsénico, cadmio, cobre, plomo, selenio y zinc superan los criterios de remediación (Ministerio del Ambiente, 2015). Los valores son superiores a los reportados en estudios realizados en una relavera de la zona de Serra de Santa Cruz, Brasil (De Andrade Lima *et al.*, 2008) principalmente para metales

**Tabla 4.** Datos de campo del monitoreo de calidad de aire

Empresa	GAD Provincial de El Oro		Hora inicial	11H00			
Fecha de inicio	13 de febrero 2013		Hora final	11H00			
Fecha final	12 de febrero 2019		Presión atm	708 mmHg			
Punto de Monitoreo:		Relavera Comunitaria Sector Puente Negro					
CO	NO	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	Temp.	Hora
ppm	ppm	ppm	ppm	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	°C	hh:mm
			0,001	176	51	27,4	12:00
0,59			0,007	26	41	29,9	13:00
0,65			0,001	230	107	31,6	14:00
0,62			0,011	193	79	30,5	15:00
0,68	0,021	0,012	0,003	180	25	26,4	16:00
0,62			0,005	43	2	26,6	17:00
			0,005	85	3	25,9	18:00
			0,003	27	12	24,9	19:00
			0,005	11	14	24,1	20:00
			0,001	22	13	24,4	21:00
			0,001	22	0	23,9	22:00
			0,005	8	7	23,7	23:00
			0,007	5	15	23,6	0:00
			0,003	76	12	23,3	1:00
			0,001	5	2	23,2	2:00
			0,005	90	7	23,1	3:00
			0,003	5	0	23,1	4:00
			0,003	14	12		5:00
			0,001	9	4	23,1	6:00
			0,001	22	6	23,1	7:00
			0,003	100	46	23,1	8:00
			0,003	302	107	24,9	9:00
			0,004	243	89	23,7	10:00
			0,003	106	151	24,6	11:00
<b>0,73</b>	<b>0,021</b>	<b>0,012</b>	<b>0,004</b>	<b>83</b>	<b>34</b>	<b>25,1</b>	<b>Promedio</b>

Fuente: Prefectura de El Oro.

recuperables como el Cu (87 mg/kg). Sin embargo, los relaves de la relavera El Tablón tienen menor concentración de As comparado con los relaves de la mina de oro de Barramiya, Egipto (Redwan y Bamoussa, 2019) donde se reporta concentración de 2936 mg/kg.

#### **HUMEDAD DE RELAVES**

Las mediciones de humedad de los relaves transportados por volquetas reflejan la variación de la consistencia de relave; esta consistencia se determina en función porcentaje de sólidos mientras que el contenido de agua está representado por el porcentaje de humedad (Lara, 2013). La tabla 3 presenta el porcentaje de volquetas que transportan el relave según la consistencia (ver Tabla 3).

El factor principal en el comportamiento de depósito de relaves es el contenido de humedad (Salas Moscoso, 2019), además, está comprobado que cuando el grado de saturación supera el 85% implica menor estabilidad geotécnica en el almacenamiento de relaves (Rodríguez y Oldecop, 2011). Cuando se compara mediante el Análisis de Ciclo de Vida, el espesado con otras opciones de consistencia de relaves se reflejan ventajas (Alvarez Cabal *et al.*, 2013): menor uso de materiales para las presas, se evade el riesgo de licuefacción, aumento de estabilidad sísmica, reducción de pérdidas de agua por infiltración.

#### **CALIDAD DE AIRE**

En la tabla 4 se muestran los resultados para el punto de monitoreo denominado Puente Negro. Se observa que los valores de material particulado  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  sobrepasan los límites máximos permisibles (Ministerio del Ambiente, 2015). El clima es un parámetro importante que afecta a los relaves de las minas, ya que controla la mayor parte de la dirección de la movilidad de los fluidos, las fluctuaciones de la capa freática (Redwan y Bamoussa, 2019); por lo tanto, la cantidad de material particulado afectará también al desenvolvimiento de la actividad de la relavera y la seguridad de las personas que habitan en los alrededores (ver Tabla 4).

#### **CALIDAD DE AGUA**

El costo de manejar los residuos líquidos y sólidos es elevado; las empresas mineras intentan localizar las presas de relaves lo más cerca posible a la planta de procesamiento (Rodríguez Córdova, 2002), minimizando coste de transporte y reutilizando el agua contenida en ellos mediante procesos de decantación y acumulación en lagunas de decantación o depósito aledaño. El agua de la laguna puede ser bombeada o evacuada mediante sistema de drenes

y el cual es evacuado hacia una poza o laguna de donde es enviado nuevamente a la planta de tratamiento de mineral.

En las observaciones *in situ* de la operación de la Relavera Comunitaria El Tablón, no se visualizaron descargas líquidas a la quebrada El Salado. Sin embargo, en relaveras de Ghana (Bansah *et al.*, 2018) sí se observan presencia de lixiviados que son arrastrados a corrientes de agua, se reporta que se debe a que los desechos se desbordan causando daños al ecosistema circundante.

La tabla 5 presenta los resultados del monitoreo de agua del año 2019, los valores en rojo indican que sobrepasan los límites permisibles (Ministerio del Ambiente, 2015), se evidencia principalmente que los parámetros que superan los metales que en caso de que sean eliminados a cauces de agua pueden asentarse en organismos acuáticos y terrestres, matándolos en esas condiciones; los metales pesados tóxicos pueden llegar a la cadena alimentaria a través de la absorción por las plantas y pueden ser un problema de salud para los consumidores y la población local (ver Tabla 5).

#### **RUIDO**

Los resultados del monitoreo de ruido realizados en horario diurno se muestran en la tabla 6, el límite permisible es 65 dB (Ministerio del Ambiente, 2015); en este caso, el ruido podría ser mitigado con barreras naturales como la siembra de árboles nativos lo cual además permitirá mejorar la calidad del aire (ver Tabla 6).

#### **IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS**

La matriz de Leopold para la identificación de los impactos ambientales en la fase de operación de la Relavera Comunitaria El Tablón se presenta en la tabla 7; en este caso, se realizó la identificación y evaluación de las actividades relacionadas al transporte de los relaves que involucran principalmente la carga de relaves en la planta de beneficio, movimiento de relaves en volquetas, pesaje de relaves, descarga en las plataformas, distribución de los relaves con maquinaria pesada, la presencia de lixiviados producto del almacenamiento, y finalmente el monitoreo de la infraestructura (ver Tabla 7).

La identificación de estos factores es indispensable para fallas como la presentada en la relavera Karamkem, Rusia, en el 2009 (Glotova *et al.*, 2018), en la cual la falta de control técnico, junto con las desviaciones del proyecto original, contribuyeron a los riesgos de inestabilidad de la presa tras 16 años de operación.

**Tabla 5.** Monitoreo de calidad de agua

Parámetros	Unidad	Laguna interior vaso	Agua desarena- dor	Aguas arriba	Aguas abajo
Aluminio	mg/l	<LOQ	0,3	0,05	<LOQ
Antimonio	mg/l	0,015	<LOQ	0,05	<LOQ
Boro	mg/l	1,6	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Cobalto	mg/l	0,025	0,028	<LOQ	<LOQ
Cromo	mg/l	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Sodio	mg/l	72,93	64,45	<LOQ	40,6
Arsénico	mg/l	0,024	0,018	0,007	0,00739
Cadmio	mg/l	0,013	0,033	0,002	0,001549
Cobre	mg/l	<LOQ	0,781	<LOQ	<LOQ
Estaño	mg/l	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Hierro	mg/l	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Manganeso	mg/l	0,113	0,112	0,157	0,1583
Mercurio	mg/l	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Niquel	mg/l	<LOQ	0,049	<LOQ	<LOQ
Plata	mg/l	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Plomo	mg/l	<LOQ	0,010	0,009	<LOQ
Zinc	mg/l	0,45	8,67	<LOQ	0,43
Tensoactivos	mg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Cianuro	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cloro libre residual	mg/l	0,5	0,06	0	0
Fluoruros	mg/l	<0,01	0,59	<0,1	<0,1
Magnesio	mg/l	0,113	0,112		
Sólidos Sedimentables	mg/l	<1	<1	<1	<1
Sulfuros	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Aceites y grasas	mg/l	0,6	0,2	1,2	1,4
DBO5	mg/l	7	2	2	4
DQO	mg/l	<25	<25	26	<25
Nitritos	mg/l	6,8	0,12	0,12	0,12
pH	N/A	6,78	6,79	7,49	7,51
Sólidos totales	mg/l	1930	1690	260	1150

Fuente: Prefectura de El Oro

**Tabla 6.** Monitoreo de ruido ambiental

Punto	Lugar de monitoreo	Coordenadas Datum WG S84		Nivel de presión sonora equivalente corregido Lkeq (dB A)
		Este	Norte	
P1	Área desarenador	651942	9587157	80
P2	Hito Plataforma 2	652236	9586835	62
P3	Frente al tractor	652436	9586650	65
P4	Área de campamento	652488	9586639	48
P5	Puente negro	621763	9588048	66

Fuente: Prefectura de El Oro.

Tabla 7. Matriz Leopold-identificación de impactos ambientales

factores ambientales	Carguío de relaves			Transporte de relave			Pesaje de volquetas			Descarga de relaves			Esparcido de relaves			Tratamiento de líquidos			Monitoreo			Evaluación			
	Ingreso de volqueta a planta	Cargado de volquetas con	Salidas de volquetas de	Colocación de ganchos	Incorporación de carpa	Circular a velocidad de 40	Derrames de relaves en la vía	Ingreso a báscula	Pesaje volquetas	Retiro de ganchos manuales	Retiro de carpa	Salida de báscula	Volteo	Retorno de volquetas	Empuje de relave	Resanado de plataformas	Almacenamiento de líquidos en	Bombeo de líquidos	Descarga de líquidos	Medición de puntos	Monitoreo de agua, suelo, aire, Ruido	Impactos negativos	Impactos positivos	Agregación de impactos	% de impactos negativos
Calidad de aire	-1	-1	-1	2	2		-35	-4	1	-2	-2	-2	-12	-6	-18	-18				8	12	4	-91	11,5%	3,8%
Ruido	-1	-1	-1			-1		-1	1											8	11	2	-9	10,6%	1,9%
Calidad de suelo	-6	-6	-6	2	2		-36	-4	1	-1	-1	-1	-1	-6	-18	-18				8	12	4	-91	11,5%	3,8%
Calidad de aguas superficiales		-5		2	2		-36									2	-1	-20		8	4	4	-48	3,8%	3,8%
Calidad de aguas subterráneas		-5		2	2		-36									2	-1	-20		8	4	4	-48	3,8%	3,8%
Patrón de drenajes							-36									2	-1	-20		8	3	2	-47	2,9%	1,9%
Inundaciones																							0	0,0%	0,0%
Sismología																			15			1	15	0,0%	1,0%
Vegetación terrestre							-1															2	-8	1,9%	0,0%
Mastofauna							-1															2	-8	1,9%	0,0%
Omitofauna							-1															2	-8	1,9%	0,0%
Herpetofauna							-1															2	-8	1,9%	0,0%
Ictiofauna							-1															2	-8	1,9%	0,0%



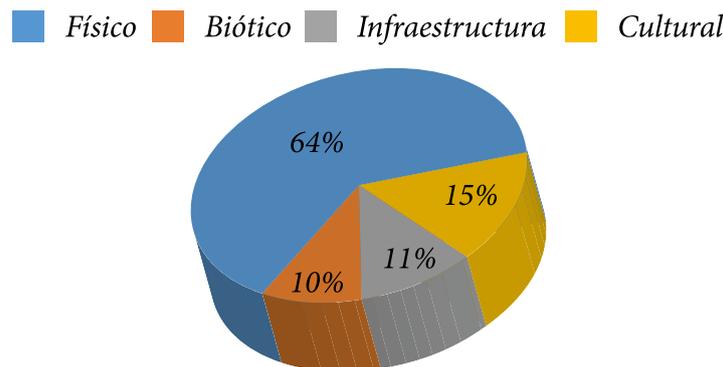


Figura 2. Interacción por componente

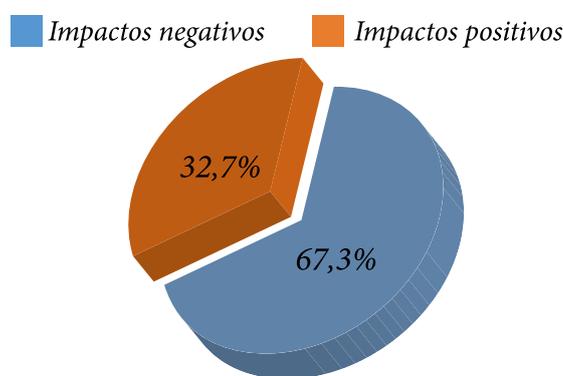


Figura 3. Porcentaje de impactos positivos y negativos

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con el método matriz de Leopold se identificaron las actividades del proyecto, evaluando las interacciones entre las acciones y los factores ambientales, proporcionando valores para ponderar los factores afectados. En la figura 2 se representa el porcentaje de interacciones por componente ambiental, el componente físico presenta mayor porcentaje de incidencia (64%) debido a que la calidad del aire y suelo tienen mayor incidencia en este componente, con un porcentaje de impactos negativos 11,5% cada uno. El componente biótico tendría menor implicación en la cual cada uno de sus factores tendría solo un impacto negativo de 1,9% (ver Figura 2).

El análisis de impactos positivos y negativos con la matriz de Leopold se demuestra en la figura 3, donde predominan los impactos negativos; siendo el componente socioeconómico cultural el que se vería beneficiado con la operación de la relavera debido principalmente a la generación de empleo (ver Figura 3).

La evaluación de impactos establece que el impacto negativo de mayor relevancia corresponde a la actividad carguío de relaves representado por el 27%,

seguido por transporte de relaves que corresponde al 19% y el 17% asignado a la actividad de tratamiento de líquidos (ver Figura 4).

Con los resultados obtenidos, se pueden plantear alternativas para la mitigación de impactos negativos entre los cuales se puede señalar: (a) implantar un sistema de gestión de relaves para que, de manera transversal, se actúe en todas las fases de la vida útil del depósito e incorporar estándares internacionales para la vigilancia activa del depósito; (b) iniciar los estudios de diseño y elección del área para construcción de la planta de tratamiento de lixiviados; y (c) instalar instrumentación geotécnica para obtener una oportuna detección de anomalías que se desarrollen durante la vida útil del depósito.

### CONCLUSIONES

Este trabajo ha permitido establecer las características medioambientales de la operación de la Relavera Comunitaria El Tablón; el estudio evidencia impactos negativos asociados como la presencia de material particulado que afecta la calidad del aire, parámetros químicos del agua fuera de la norma y derrames de relaves en suelo.

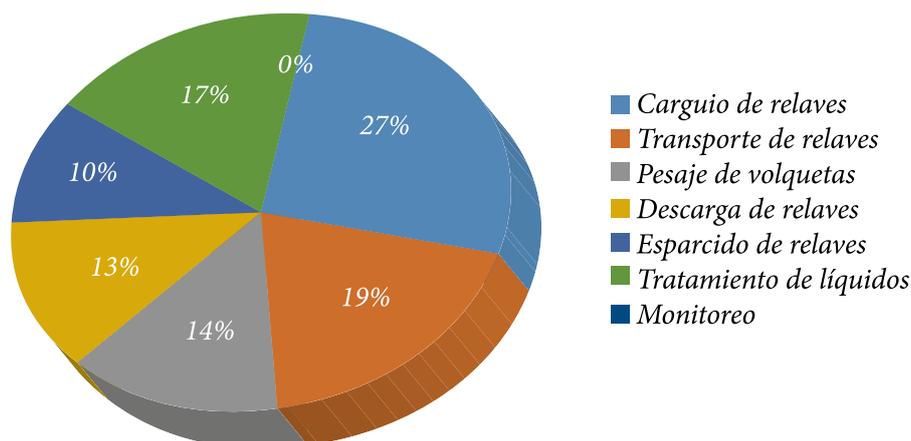


Figura 4. Porcentaje de impactos negativos por actividades

Los factores de riesgos identificados con metodología matricial Leopold permitieron un análisis selectivo basado en la caracterización ambiental para cada actividad del proceso, concluyendo que las actividades de carga y transporte de relaves, así como la presencia líquidos, ocasionan el mayor impacto negativo; mientras que se ve beneficiado el factor socioeconómico debido a la generación de empleo.

Para la toma de decisiones apropiada con sostenibilidad ambiental, es imperativo considerar todo el ciclo de vida desde la construcción hasta el postcierre de la relavera El Tablón, por lo cual este trabajo permite tener herramienta de base para plantear alternativas de mitigación de impactos ambientales.

#### REFERENCIAS

Acurio, A. 2020. Análisis de factores de riesgo ambiental en la relavera comunitaria El Tablón, cantón Portovelo, provincia de El Oro. Quito: Universidad Internacional del Ecuador.

Alvarez Cabal, J. V., Luiña Fernández, R. & Pecharroman Clemente, D. 2013. Environmental indicators for impact assessment in mining. Logroño, 17th International Congress on Project Management and Engineering.

Bansah, K., Dumakor-Dupey, N., Stemnc, E. & Galeckia, G. 2018. Mutualism, commensalism or parasitism? Perspectives on tailings trade between large-scale and artisanal and small-scale gold mining in Ghana. Resources Policy, 57(1), pp. 246-254.

Barcelos, D. et al. 2020. Gold mining tailing: Environmental availability of metals and human health risk assessment. Journal of Hazardous Materials, p. 122721.

de Andrade Lima, L., Bernardez, L. & Barbosa, L. 2008. Characterization and treatment of artisanal gold mine tailings. Journal of Hazardous Materials, 150(1), pp. 747-753.

Glotova, V. E., Chlachula, J., Glotova, L. P. & Little, E. 2018. Causes and environmental impact of the gold-tailings

dam failure at Karamken, the Russian Far East. Engineering Geology, 245(1), pp. 236-247.

Lara, J. 2013. Experiencia de operación de depósito de relaves espesados y filtrados, Perú: Golder Associates.

Ministerio de Ambiente 2014. Reglamento ambiental de actividades mineras. Quito: Acuerdo Ministerial 37.

Ministerio del Ambiente 2015. Reforma del libro VI del texto unificado de legislación ambiental secundaria, Ecuador: s.n.

Paredes, D. 2013. ¿Después de la minería que? : análisis del impacto socioeconómico y ambiental de la minería : caso South American Development Company (SADCO-CIMA), Portovelo y Zaruma-El Oro-Ecuador. Quito: Flacso, sede Ecuador.

Prodeminca 2000. Evaluación de distritos mineros del Ecuador. Sulfuros masivos alojados en volcanitas, Quito: s.n.

Redwan, M. & Bamousa, A. 2019. Characterization and environmental impact assessment of gold mine tailings in arid regions: A case study of Barramiya gold mine area, Eastern Desert, Egypt. Journal of African Earth Sciences, 160(1), p. 103644.

Rodríguez Córdova, R. 2002. Economía y recursos naturales una visión ambiental en Cuba : apuntes para un libro de texto. s.l.:Universitat Autònoma de Barcelona.

Rodríguez, R. & Oldecop, L. 2011. Humedad y estabilidad geotécnica de presas de relaves. Quito, Conference: Universidad Central del Ecuador. Curso de capacitación profesional teórico-práctico en Aspectos relacionados a la hidrogeología e hidroquímica en zonas mineras del sur del Ecuador.

Salas Moscoso, D. J. 2019. Optimización del proceso de construcción de diques de relave mediante el método en tándem. Perú: Universidad Tecnológica del Perú.

Sánchez, A. 2015. El impacto de la minería en el distrito minero Zaruma-Portovelo, y el manejo de los relaves producidos en las plantas de beneficio, ubicadas a lo largo de los ríos Calera y Amarillo de la cuenca binacional

- Puyango-Tumbes. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- Sobczyk, E. J., Kickia, J., Sobczyk, W. & Szuwarzyński, M. 2017. Support of mining investment choice decisions with the use of multi-criteria method. *Resources Policy*, 51(1), pp. 94-99.
- Valderrama, J., Campusano, R. & Espindola, C. 2019. Minería Chilena: Captura, Transporte, y Almacenamiento de Dióxido de Carbono en Relaves mediante Líquidos Iónicos y Carbonatación Mineral. *Información tecnológica*, 30(5), pp. 357-372.
- Vikentyev, I. & Banda, R. 2005. Mineralogy and formation conditions of Portovelo-Zaruma goldsulphide vein deposit, Ecuador. *Geochemistry, mineralogy and petrology*, Volumen 43, pp. 148-154.

## GUÍA PARA LA PRESENTACIÓN Y APROBACIÓN DE ARTÍCULOS

1

**DE LAS INSTRUCCIONES SOBRE PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS**

El autor o los autores que deseen que se publique un artículo de su autoría deben seguir el siguiente procedimiento:

- La convocatoria para la presentación de artículos es abierta.
- El proceso de registro y envío se realiza en la plataforma de la revista.
- En un archivo, remitir el artículo en formato .doc o .pdf
- En otro archivo, poner los datos descritos en el apartado 4.2, que debe estar firmado por sus autores con nombres y apellidos o la declaración de autor institucional
- Para subir los archivos, se debe realizar lo siguiente:
  - i. ingresar a <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/RevFIG>
  - ii. luego ir a la opción REGISTRARSE,
  - iii. llenar los datos que le solicitan (en letra minúscula),
  - iv. ingresar con el usuario que le llegará al correo electrónico ingresado, y
  - v. seleccionar la opción NUEVO ENVÍO y llenar los datos solicitados.
- Toda la información subsiguiente la recibirá al correo electrónico registrado.

2

**DE LA SELECCIÓN DE ARTÍCULOS**

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 *Investigación y desarrollo*.

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. Esta verificación 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, cumplimiento de políticas y del formato para la publicación —que no exceda de 8000 palabras, fotografías, tablas, gráficos, ecuaciones y presentación adecuada de referencias—. La realiza una subcomisión del consejo editorial que informa a éste de los resultados para que se traslade a conocimiento de los autores.

EVALUACIÓN ETAPA 3. Es una evaluación técnico-científica que considera:

- (a) El Consejo Editorial dispone de una base de datos con nombres de profesores, investigadores y colaboradores técnicos internos y externos a la FIGEMPA para que actúen como revisores y evaluadores para todas las áreas en que ha sido calificada por Latindex.
- (b) Cada artículo será remitido a un par académico revisor conjuntamente con un formulario para la evaluación donde constan los indicadores técnicos que deben cumplir para su aprobación, quien mediante una evaluación objetiva informará si cumple con los criterios requeridos y proporcionará retroalimentación constructiva sobre cómo podría mejorarlo. Ésta es una evaluación conocida como doble ciego, ya que el revisor no conoce los nombres de los autores ni los autores conocen los nombres de sus evaluadores.
- (c) En caso de que existan observaciones, la dirección de la revista las remite a los autores para que las incorporen de considerarlas pertinente, y una nueva versión se recibe y se vuelve a enviar al revisor.
- (d) El consejo editorial de la revista conocerá y a través de la dirección notificará a los autores los resultados de la evaluación.
- (e) Los artículos que sean aprobados pasarán a las fases de edición técnica y gráfica y publicación.
- (f) Los artículos seleccionados deberán presentarse en un congreso.

3

**DEL 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 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 éstos 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.

## 4

### DE LAS NORMAS DE PRESENTACIÓN

- ORIGINALIDAD. Los artículos presentados deben ser originales e inéditos y no estar postulados para su publicación en ninguna otra revista o publicación científica; se excluye también las presentaciones simultáneas. Si se trata un artículo basado un trabajo de titulación, éste debe constar en las referencias.
- USO ÉTICO DE LA INFORMACIÓN: (a) *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; y (b) *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; si está basado en un trabajo de titulación, éste debe constar en las referencias.
- 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; evítense hacer afirmaciones que no estén claramente apoyadas por resultados de otras investigaciones o que han sido validados con estudios rigurosos. El idioma de la revista es el español.

#### 4.1. TÍTULO PRINCIPAL

El título principal debe contener no más de 15 palabras y deberá también estar en inglés.

#### 4.2. NOMBRES DE LOS AUTORES Y SUS E-MAILS

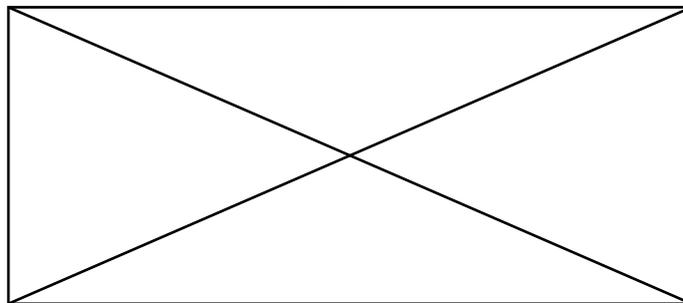
- Los nombres de los autores,
- ORCID (*Open Researcher and Contributor ID*),

- título más importante que ha obtenido,
- nombre de la institución a la que pertenece o trabaja,
- correos electrónicos, y
- estos datos deben subirse en un archivo aparte del artículo.

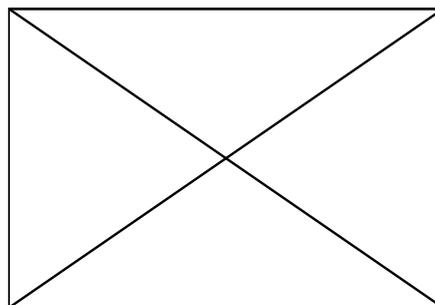
#### 4.3. GRÁFICOS, FOTOGRAFÍAS Y TABLAS

- Todos los gráficos, fotografías y tablas se deben centrar. Todo debe de incluirse en el artículo. Recuerde que la calidad de los gráficos, fotografías y tablas deben tener una buena resolución.
- No colocar figuras antes de su primera mención en el texto. Los ejes de las figuras deberán tener nombres y no símbolos.
- Está permitido, si es necesario, que sus figuras, diagramas y tablas sean de página completa.
- Use mayúsculas solo en la primera palabra de cada título de las figuras y de las tablas. Las figuras y las tablas se deben numerar separadamente, así: Figura 1, Figura 2, etc.; Tabla 1, Tabla 2, etc.).
- Los títulos de la figura deberán estar centrados debajo de las figuras; los títulos de las tablas deberán estar centrados arriba de las tablas.
- Se permite el uso de imágenes a color.

**Tabla 1.** Lorem ipsum dolor sit amet



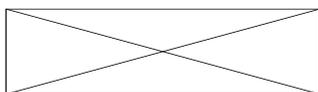
**Fuente:** Lorem ipsum suspendisse potenti.



**Figura 1.** Lorem ipsum dolor sit amet  
**Fuente:** Lorem ipsum suspendisse potenti.

#### 4.4. ECUACIONES

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.



Ec. (1)

Para su mención, utilice la abreviatura: Ec. (1). Utilice explícitamente la notación exponencial, es decir,  $5.6 \times 10^{-3}$

#### 4.5. ESTILO DE CITACIÓN

Emplear el sistema de citación Harvard de autor-fecha y siempre se privilegia la señalización del número de página, para las citas textuales y para la paráfrasis.

##### 4.5.1. LAS CITAS TEXTUALES O DIRECTAS

Una cita reproduce 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 entre paréntesis se señalan los datos de la referencia.

*Ejemplo (a):*

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua: «Lorem ipsum dolor sit amet...» (Pérez, 2010, p. 74)

*Ejemplo (b):*

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua Pérez (2010): «Lorem ipsum dolor sit amet...» (p. 74)

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

*Ejemplo (a):*

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua Pérez (2010):

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum. (p. 74)

*Ejemplo (b):*

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua:

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum. (Pérez, 2010, p. 74)

##### 4.5.2. 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 (a):*

Lorem ipsum Pérez (2010) dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua Proin non diam ut est suscipit accumsan imperdiet a odio et ultrices posuere cubilia curae; phasellus vitae mattis tortor.

*Ejemplo (b):*

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua Proin non diam ut est suscipit accumsan imperdiet a odio et ultrices posuere cubilia curae; phasellus vitae mattis tortor (Pérez, 2010, p. 74).

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.

#### 4.5.3. OTRAS NORMAS DE CITADO

##### LIBROS EN PAPEL

Orden de elementos en las referencias:

Autor/Editor; año de publicación; título (en cursiva); edición (se debe incluir en el caso de que no sea la primera edición; la edición se abrevia como «ed.», por ejemplo: 3.<sup>a</sup> ed); lugar de publicación: editor; y series y número de la serie (si es importante).

##### LIBRO CON 1 AUTOR

*Cita en el texto*

As we know (Bell 2010, p. 23) the most important part of the research process...

*Referencia*

Bell, J., 2010. Doing your research project. 5.<sup>a</sup> ed. Maidenhead: Open University Press.

##### LIBRO CON 2 O 3 AUTORES

*Cita en el texto*

Goddard and Barrett (2007) suggested...

*Referencia*

Goddard, J. and Barrett, S., 2007. The health needs of young people leaving care. Norwich: University of East Anglia, School of Social Work and Psychosocial Studies

##### LIBRO CON MÁS DE 3 AUTORES

*Cita en el texto*

This was proved by Young et al. (2000)

*Referencia*

Young, H. D., Freedman R., Sandin, T. and Ford, A., 2000. Sears and Zemansky's university physics. 10.<sup>a</sup> ed. San Francisco: Addison-Wesley

##### LIBRO CON EDITOR

*Cita en el texto*

The formation of professions was examined frequently (Prest 1987)

*Referencia*

Prest, W. (ed.), 1987. The professions in early modern England. London: Croom Helm

##### LIBRO SIN AUTOR

*Cita en el texto*

The Percy tomb has been described as «one of the master-pieces of medieval European art» (Treasures of Britain, 1990, p. 84).

*Referencia*

Treasures of Britain and treasures of Ireland, 1990. London: Reader's Digest Association Ltd.

##### LIBROS ELECTRÓNICOS (E-BOOKS)

Cuando un e-book es igual que un libro impreso en cuanto a páginas y detalles de publicación, habrá que referenciarlo como un libro en papel.

· UN LIBRO IMPRESO ACCESIBLE ONLINE: hay que referenciarlo como la edición impresa.

*Cita en el texto*

The process of adaptation is difficult to detect (Levin 2007, p. 19)

*Referencia*

Rose, M. R., 2007. Adaptation. In: S.A. Levin, ed. Encyclopedia of biodiversity. San Diego: Academic

Press, pp. 17-23

· UNA OBRA DE REFERENCIA QUE SE PUBLICA EN PAPEL Y ONLINE. La versión online se actualiza regularmente; sin embargo, la edición impresa no se actualiza hasta que se publica una nueva edición.

*Cita en el texto para la versión online*

Rutherford's contribution (Badash 2008)

*Referencia para la versión online*

Badash, L., 2008. Rutherford, Ernest, Baron Rutherford of Nelson (1871-1937). In: Oxford dictionary of national biography, 2004. Available at: <http://www.oxforddnb.com/view/article/35891> (Accessed: 25 January 2013)

#### **CAPÍTULOS DE LIBROS**

Orden de elementos en las referencias:

Autor del capítulo (apellido seguido de las iniciales); año de publicación; título del capítulo; «En:» más autor/editor del libro; título del libro (en cursiva); lugar de publicación: editor; páginas del capítulo.

*Cita en el texto*

The view proposed by Franklin (2012 p. 88)...

*Referencia*

Franklin, A. W., 2012. Management of the problem. In: S.M. Smith, ed. The maltreatment of children. Lancaster: MTP, pp. 83-95.

#### **ARTÍCULOS DE REVISTAS**

Se simplifican los datos incluidos en las referencias bibliográficas, ya sean artículos en papel o electrónico. El orden de elementos en las referencias es:

Autor; año de publicación; título del artículo; título de la revista (en cursiva); volumen, número y mes (entre paréntesis); páginas; DOI.

#### **ARTÍCULO DE REVISTA EN PAPEL O ELECTRÓNICO**

*Cita en el texto*

...[T]he customer player the part of a partial employee (Dawes and Rowley 1998, p. 353).

*Referencia*

Dawes, J. and Rowley, J., 1998. Enhancing the customer experience, *Management Decision*, 36(5), pp. 350-357

#### **ARTÍCULO DE REVISTA ELECTRÓNICA CON DOI**

*Cita en el texto*

Shirazi's review article (2010)...

*Referencia*

Shirazi, T., 2010. Successful teaching placements in secondary schools: achieving QTS practical handbooks, *European Journal of Teacher Education*, 33(3), pp. 323-326. doi: 10.1080/02619761003602246

#### **TESIS**

Orden de elementos en la referencia:

Autor; fecha de presentación; título de la tesis (en cursiva); tipo documental (Ph. D. tesis); entidad que otorga el título.

O si está disponible online:

Disponible en: URL; (Accedido: fecha)

*Cita en el texto*

Research by Tregear (2001) and Parsons (2011)...

*Referencia*

Parsons, J. D., 2011. Black holes with a twist. Ph. D. tesis. Durham University. Disponible en: <http://etheses.dur.ac.uk/846> (Accedido: 14 agosto 2012)

Tregear, A. E. J., 2001. Speciality regional foods in the UK: an investigation from the perspectives of marketing and social history. Ph. D. tesis inédita. Newcastle University.

### **TRABAJOS DE FIN DE GRADO (TFG)**

Orden de elementos en las referencias:

Apellidos del Estudiante; fecha de presentación; título del TFG (en cursiva); Trabajo de Fin de Grado inédito en... (p. ej. Cc. Ambientales...) o Proyecto Fin de Carrera inédito en...; entidad donde se presenta

O si está disponible online:

Disponible en: URL; (Accedido: fecha)

*Cita*

The topic of the essay (Labanda Paredes, 2012)...

*Referencia*

Labanda Paredes, A., 2012. Tratamiento de aguas residuales de la industria cosmética mediante biorreactores de membrana. Proyecto Fin de Carrera inédito en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de Madrid, Facultad de Ciencias.

### **REPOSITARIOS DIGITALES**

Si el libro o artículo de revista está publicado referenciarlo de la misma manera que la publicación impresa.

Orden de elementos en las referencias:

Autor; año; título del artículo; publicado en (si conocemos este dato); título de la revista (en cursiva); volumen y número; [Preimpreso]; Disponible en: URL; (Accedido: fecha)

*Cita en el texto*

New research by Jeon, Lee and Park (2012)...

*Referencia*

Jeon, I., Lee, K. and Park, J.-H., 2012. Ramond-Ramond cohomology and  $O(D, D)$  T-duality. Publicado en Journal of High Energy Physics [Preimpreso]. Disponible en: <http://arxiv.org/abs/1206.3478> (Accedido: 24 agosto 2012)

### **PÁGINAS WEB**

Orden de elementos en las referencias:

Autor; año de publicación del sitio web/fecha de última actualización; título de la página; web (en cursiva); Disponible en: URL; (Accedido: fecha).

#### **AUTOR INDIVIDUAL**

*Cita en el texto*

Yau (2001) provided information about the Chinese community.

*Referencia*

Yau, T., 2001. Dragon project. Disponible en: <http://www.geocities.com/dragonproject2000/> (Accedido: 14 marzo 2010)

#### **ENTIDADES COMO AUTORES**

*Cita en el texto*

The Open gardens cheme (British Red Cross, 2008)...

*Referencia*

British Red Cross, 2008. Open gardens. Disponible en: <https://www.redcross.org.uk/index.asp?id=39992> (Accedido: 17 Junio 2010)

#### **PÁGINAS WEB SIN AUTOR (USAR EL TÍTULO DE LA PÁGINA WEB)**

*Cita en el texto*

Illustrations of the houses can be found online (Palladio's Italian villas, 2005)

*Referencia*

Palladio's Italian villas, 2005. Disponible en: <https://www.boglewood.com/palladio/> (Accedido: 23 julio 2012)

Universidad Autónoma de Madrid, 2015. *Citas y referencias bibliográficas. Harvard British Standard (Sistema de Autor-año de publicación)*, Biblioteca y Archivo, pp. 1-18. Disponible en: <https://biblioteca.uam.es/ciencias/documentos/HarvardStandardRefworksEspanol.pdf>.

#### **4.6. ESTILO DE REFERENCIAS**

Se organiza alfabéticamente y se coloca sangría francesa.

#### **4.7. GENERALIDADES**

##### **4.7.1. 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.

##### **4.7.2. CONCLUSIONES**

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.

##### **4.7.3. RECOMENDACIONES**

De ser necesarias y conforme al artículo.

##### **4.7.4. AGRADECIMIENTOS (OPCIONAL)**

Exponga reconocimientos a instituciones y grupo de apoyo.



CiteFactor  
Academic Scientific Journals



DIRECTORY OF  
OPEN ACCESS  
JOURNALS

