



# REVISTA POLITÉCNICA



ESCUELA  
POLITÉCNICA  
NACIONAL

ISSN: 1390-0129  
eISSN: 2477-8990

Volumen 47, No. 2, Mayo · Julio 2021





# REVISTA POLITÉCNICA



ESCUELA  
POLITÉCNICA  
NACIONAL

ISSN: 1390-0129  
eISSN: 2477-8990

Volumen 47, No. 2, Mayo · Julio 2021

## TEMÁTICA Y ALCANCE

La Revista Politécnica es una publicación periódica trimestral, editada por la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador, cuyo objetivo es contribuir al conocimiento científico y tecnológico, mediante la publicación de estudios científicos relacionados a las áreas de ciencias básicas (Física, Química, Biología y Matemática) e ingenierías (Química y Agroindustria, Civil y Ambiental, Eléctrica y Electrónica, Geología y Petróleos, Mecánica, y Sistemas). La Revista Politécnica está dirigida a profesionales e investigadores que trabajan en estos campos del conocimiento.

### EDITOR

Oscar Eduardo Camacho, Ph.D.  
*Escuela Politécnica Nacional*  
editor.rp@epn.edu.ec

### CO-EDITORA

Jenny Gabriela Torres, Ph.D.  
*Escuela Politécnica Nacional*  
coeditor.rp@epn.edu.ec

### CONSEJO EDITORIAL

Ph.D. José Aguilar  
*Universidad de los Andes, Venezuela*

Ph.D. Edinzo Iglesias  
*Universidad de los Andes, Venezuela*

Ph.D. Gabriel Salazar  
*Organización Latinoamericana de Energía, Ecuador*

Ph.D. Santiago Arellano  
*Chalmers University of Technology, Suecia*

Ph.D. Francisco León  
*Universidad de los Andes, Venezuela*

Ph.D. Pablo Samaniego  
*Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD), Francia*

Ph.D. Carlos Avila  
*Escuela Politécnica Nacional, Ecuador*

Ph.D. Orestes Llanes  
*Universidad Tecnológica de la Habana, Cuba*

Ph.D. Gustavo Scaglia  
*Universidad Nacional de San Juan, Argentina*

Ph.D. Leonardo Basile  
*Escuela Politécnica Nacional, Ecuador*

Ph.D. Diego Ordoñez  
*Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador*

Ph.D. Hebertt Sira-Ramirez  
*Center for Research and Advanced Studies of the National Polytechnic Institute, México*

Ph.D. Silvia Calderón  
*Universidad de los Andes, Venezuela*

Ph.D. Rui Pedro Paiva  
*University of Coimbra, Portugal*

Ph.D. Carlos Smith  
*University of South Florida, Estados Unidos*

Ph.D. Jean François Dulhoste  
*Universidad de los Andes, Venezuela*

Ph.D. José Luis Paz  
*Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú*

Ph.D. Sebastian Taco  
*Escuela Politécnica Nacional, Ecuador*

Dr. Pamela Flores  
*Escuela Politécnica Nacional, Ecuador*

Ph.D. Nelson Pérez  
*Universidad de los Andes, Venezuela*

Ph.D. Cristian Vallejo  
*Escuela Politécnica Nacional, Ecuador*

Ph.D. Carlos Gallardo  
*Escuela Politécnica Nacional, Ecuador*

Ph.D. Franklin Rivas  
*Universidad Técnica Federico Santamaría, Chile*

Ph.D. Marcos Villacis  
*Escuela Politécnica Nacional, Ecuador*

Ph.D. Victor Hugo Hidalgo  
*Escuela Politécnica Nacional, Ecuador*

Ph.D. Andrés Rosales  
*Escuela Politécnica Nacional, Ecuador*

Ph.D. Cesar Witt  
*Université des Sciences et Technologies de Lille, Francia*

La Revista Politécnica está incluida en Scientific Electronic Library Online (SciELO), Catálogo 2.0 de Latindex, Directory of Open Access Journals (DOAJ), Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico (REDIB), Matriz de Información para el Análisis de Revistas (MIAR), Bielefeld Academic Search Engine (BASE), CiteFactor, PKP Index, Google Scholar, ResearchBib, International Institute of Organized Research (I2OR), ICI World of Journals.

Se autoriza la reproducción total o parcial de su contenido siempre y cuando se cite la fuente. Los conceptos expresados son de responsabilidad exclusiva de sus autores.

#### **Coordinador Técnico Operativo**

Ing. Ricardo Villarroel  
ricardo.villarroel@epn.edu.ec

Ing. Katherine Aro  
katherine.aro@epn.edu.ec

#### **Proofreader**

MSc. María Eufemia Torres

#### **Diseño de Portada**

Cristian Basurto  
Diseñador Gráfico

## AUTORIDADES

### ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**Vicerrectora de Investigación,  
Innovación y Vinculación**  
Alexandra Alvarado, Ph.D.

**Rectora**  
Florinella Muñoz, Ph.D.

**Vicerrector de Docencia**  
Iván Bernal, Ph.D.

## Palabras del Editor

La Revista Politécnica, en su permanente afán de contribuir a la divulgación de resultados del conocimiento científico y tecnológico, se complace en presentar el segundo volumen del año 2021, el cual incluye seis artículos asociados a distintas áreas del saber con temas de actualidad y de relevancia para el país, esperamos logren cautivar a investigadores, docentes y estudiantes en sus actividades propias. A continuación, se muestra un resumen de cada uno de estos temas:

El primer artículo fue realizado por Pezantes y coautores, en el presente estudio los autores demuestran que la integración de sistemas fotovoltaicos de generación solar puede satisfacer parcialmente la demanda eléctrica de los cultivos intensivos y extensivos de camarones de la provincia de El Oro. El estudio se lo realiza en Puerto Pitahaya perteneciente al cantón Arenillas, donde se comprueba la existencia de un excepcional recurso solar en promedio 133.02 kWh/m<sup>2</sup>-mes, el costo de inversión por cada kW de esta tecnología es de \$415,8 lo cual representa un precio competitivo, así mismo la madurez de la tecnología solar garantizan una rápida recuperación de la inversión, un suministro eléctrico de elevada fiabilidad y una sustancial mejora de la eficiencia energética de la producción de las empresas del sector camaronero del Ecuador.

El segundo manuscrito fue realizado por Escola y colaboradores. Esta publicación propone el Método de Coeficientes Ponderados de Entropía para analizar de forma objetiva el peso de cada uno de los indicadores, dentro del sistema total y los subsistemas, mediante el grado de diversidad de la información. De esta forma, el análisis de los subsistemas económico, social y ambiental, durante el periodo 2008 - 2015 muestra que el subsistema económico es el que más aporta al Desarrollo Sostenible, y sus indicadores son los de mayor peso en el sistema total. Sin embargo, la evolución de los subsistemas social y ambiental muestra un crecimiento paulatino. Y, en general, un progreso en términos de Desarrollo Sostenible.

El tercer trabajo fue elaborado por Celi y colaboradores. En este trabajo, se examinan las tensiones interfaciales y superficiales con el uso de cuatro surfactantes comerciales en diferentes concentraciones. Generando curvas para analizar la tensión interfacial entre dos fluidos inmiscibles (agua de inyección con surfactante y petróleo). La investigación se desarrolló en tres fases. En la primera, se analizaron las propiedades del agua (salinidad y concentración de sólidos disueltos), surfactante (pH y el análisis de espectrometría infrarroja) y petróleo (BSW y API). En la segunda fase se midieron las tensiones superficiales (TS) en una mezcla de agua de formación y surfactante a diferentes concentraciones para obtener la concentración micelar crítica (CMC), y en la tercera fase la medición de tensiones interfaciales (IFT) en los dos fluidos inmiscibles. Es decir, una mezcla de agua de inyección, surfactante y petróleo del campo Pindo. Las muestras de fluidos fueron proporcionadas por Petrosud Petroriva. Con los resultados, se procedió a generar curvas de Tensión superficial e interfacial Vs Concentración. El surfactante HALMX152805-2 de tipo no iónico con grupos funcionales de Alquil e Hidróxilo a una concentración del 0.3% en peso, tuvo la mayor reducción tanto en la CMC e IFT.

El cuarto artículo fue escrito por Guamán y colaboradores. En este documento se muestran los resultados de la evaluación de la actividad puzolánica de tobas ubicadas en Barrial Blanco al sur del Ecuador. La metodología incluye ensayos físicos (módulo de finura, índice de puzolanidad, densidad de roca), químicos (pérdida por ignición, fluorescencia de rayos x y difracción de rayos x) y geofísicos (tomografía eléctrica vertical), La actividad puzolánica se determinó a partir de la resistencia a la compresión, según la norma ASTM C311 y C618. Dicho depósito tiene como recurso un total de 323 680 030 Tm de material aglomerante con un índice de puzolanidad promedio de 83,91%, determinado a partir de una resistencia media de 11,74 MPa de resistencia al corte tomando en cuenta la dosificación especificada para el desarrollo del ensayo. A su vez

cuenta con una gran ventaja al poseer un 0,00109 m<sup>3</sup>/Ton de coeficiente de destape, ya que las rocas afloran en superficie. Finalmente, se categoriza el depósito a nivel de recurso indicado dentro de los márgenes de la clasificación JORC (1999) de recursos y reservas, ya que cuenta con un nivel de confianza razonable, pero no con un alto grado de certidumbre.

La quinta investigación fue elaborada por Medina, y coautores. Los autores hacen un estudio que tiene por objetivo analizar las características y el desempeño de los estudiantes de una facultad de una universidad pública ecuatoriana. Para esto, se aplicó una encuesta a un grupo de estudiantes y se estimó un modelo de regresión lineal múltiple. Los resultados sugieren, entre otras cosas, que aún existen sectores sociales con representación casi nula y que el desempeño académico universitario depende significativamente de variables asociadas a factores personales, familiares e institucionales.

El sexto artículo fue escrito por Viracucha y Manosalvas. El objetivo de este estudio es replicar un dispositivo de modelamiento topográfico de realidad aumentada (AR) sobre una caja de arena. Esta será una herramienta interactiva para concientizar a estudiantes de escuelas, colegios, comunidad y entidades gubernamentales acerca de los peligros de los fenómenos naturales, principalmente los que están relacionados con las erupciones volcánicas en el Ecuador. La realidad aumentada se produce al superponer elementos virtuales sobre elementos reales y al utilizar la tecnología informática puede ser visualizado en una pantalla o proyectado al mundo real.

Finalmente, un agradecimiento a nuestros autores por la calidad de sus trabajos, a los revisores por su desinteresado apoyo e invaluable comentarios para mejorar los artículos, a todo el equipo de la Revista Politécnica por su mística de trabajo y sentido de pertenencia y sobre todo deseamos agradecer la confianza de nuestros lectores.

Oscar Eduardo Camacho Quintero, Ph.D.

EDITOR

**Contenido**  
**Vol. 47, No. 2**  
**Mayo – Julio 2021**

7

Pesantez, Juan-Pablo; Ríos-Villacorta, Alberto; González-Redrován, Javier

**Integración de Sistemas Solares Fotovoltaicos en el Sector Camaronero Intensivo y Extensivo del Ecuador: Caso de Estudio en la Provincia de El Oro**

*Integration of Photovoltaic Solar Systems in the Intensive and Extensive Shrimp Sector of Ecuador: El Oro Province Study Case*

17

Escola, Belén; Palma, María-José; González, Silvia; Ávalos, Eduardo

**La Sostenibilidad en el Ecuador a Través de un Análisis Multicriterio Basado en Entropía, Durante el Período 2008 – 2015**

*Sustainability in Ecuador by Means of a Multicriteria Analysis Based on Entropy, Period 2008 – 2015*

27

Celi, Jonathan; Gómez, Franklin; Enríquez, Bolívar

**Análisis de la Tensión Interfacial Entre Dos Fluidos Inmiscibles con el Uso de Cuatro Surfactantes (Catiónico, No-Iónico), de la Arena Productora U Inferior del Campo Pindo**

*Analysis of the Interfacial Tension Between Two Immiscible Fluids with the Use of Four Surfactants (Cationic, Non-Ionic), From the "Ui" Producing Sand of the Pindo Field*

41

Guamán, Galo; Ubidia, Carlos; Gualpa, Wilman

**Caracterización y Evaluación de Tobas Puzolánicas en el Sur del Ecuador, Caso de Estudio “Yamana” Cantón Paltas, Provincia de Loja**

*Characterization and Evaluation of Pozzolanic Tuffs in Southern Ecuador, Case Study "Yamana" Paltas Canton, Province of Loja*

53

Medina, Julio; Pinzón, Kathia; Salazar-Méndez, Yasmín

**Determinantes del Rendimiento Académico de los Estudiantes de una Universidad Pública Ecuatoriana**

*Determinants of Academic Performance of the Students of an Ecuadorian Public University*

63

Viracucha Quinga, Edwin Guillermo; Manosalvas Granja, Samy Patricio

**Prototipo Caja de Arena de Realidad Aumentada GS-Sandbox**

*GS-Sandbox Augmented Reality Prototype*

# Integración de Sistemas Solares Fotovoltaicos en el Sector Camaronero Intensivo y Extensivo del Ecuador: Caso de Estudio en la Provincia de El Oro

Pesantez, Juan-Pablo <sup>1</sup> ; Ríos-Villacorta, Alberto <sup>2</sup> ; González-Redrován, Javier <sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Universidad Católica de Cuenca, Facultad de Ingeniería de Sistemas, Eléctrica y Electrónica, Cuenca - Ecuador

<sup>2</sup>Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, Ambato – Ecuador

**Resumen:** Actualmente, la integración de sistemas solares fotovoltaicos en las redes de distribución para el suministro eléctrico directo a usuarios industriales permite reducir significativamente los costos de operación e incrementar la competitividad de los sectores productivos. En este sentido, los sistemas solares fotovoltaicos podrían suministrar un importante porcentaje de las necesidades eléctricas de las empresas camaroneras de forma económica y fiable. Las fincas camaroneras se localizan generalmente en sitios remotos, cerca de las costas e incluso en islas, sin conexión al sistema eléctrico nacional. La construcción de redes eléctricas de suministro eléctrico resultaría excesivamente costosa. Así, los motores diésel de combustión interna se encargan de garantizar el suministro de la demanda energética en esta industria. Los resultados del presente estudio demuestran que la integración de sistemas fotovoltaicos de generación solar puede satisfacer parcialmente la demanda eléctrica de los cultivos intensivos y extensivos de camarones de la provincia de El Oro. El estudio se lo realiza en Puerto Pitahaya perteneciente al cantón Arenillas, donde se comprueba la existencia de un excepcional recurso solar en promedio 133.02 kWh/m<sup>2</sup>- mes, el costo de inversión por cada kW de esta tecnología es de \$415,8 lo cual representa un precio competitivo, así mismo la madurez de la tecnología solar garantizan una rápida recuperación de la inversión, un suministro eléctrico de elevada fiabilidad y una sustancial mejora de la eficiencia energética de la producción de las empresas del sector camaronero del Ecuador.

**Palabras clave:** Energía, panel, fotovoltaico, eficiencia, acuicultura.

## Integration of Photovoltaic Solar Systems in the Intensive and Extensive Shrimp Sector of Ecuador: El Oro Province Study Case

**Abstract:** At present, the integration of solar photovoltaic systems into electricity distribution networks that supply energy to industrial users, allows to significantly reduce operating costs and increase competitiveness in productive sectors. In this context, solar photovoltaic systems could satisfy a significant percentage of the electricity needs of shrimp companies in a cost-effective and reliable way. Shrimp farms are generally located in remote places, near the coast and even on islands, without access to the national electrical grid. The construction of electricity supply networks would be excessively expensive. Thus, diesel internal combustion engines are responsible for meeting shrimp companies energy demands. The results of this study demonstrate that the integration of solar photovoltaic systems can partially satisfy the energy demands of intensive and extensive shrimp farming in El Oro province. The study is carried out in Puerto Pitahaya belonging to the Arenillas city, where the existence of an exceptional solar resource is verified on average 133.02 kWh /m<sup>2</sup>- month, the investment cost for each kW of this technology is \$ 415.8, which represents a competitive price, as well as the maturity of solar technology guarantee a quick return on investment, a highly reliable electricity supply and a substantial improvement in the energy efficiency of the production of companies in the shrimp sector of Ecuador.

**Keywords:** Photovoltaic, Solar, Energy, energy efficiency, aquaculture.

### 1. INTRODUCCIÓN

En la década de los años 60 se inició la producción camaronera del Ecuador, en el cantón Santa Rosa, provincia de El Oro. La producción de camarón en cautiverio, en piscinas junto a esteros, fue un emprendimiento de los agricultores de la zona. En la provincia de El Oro, en el año 1974, se dedicaban al

cultivo de este crustáceo alrededor de 600 hectáreas. La actividad de producción de camarón se extendió a la provincia del Guayas, en la que se convirtió en un negocio muy rentable gracias a la abundancia de esteros y salitrales (Intriago, 2016).

En la actualidad, el sector camaronero representa un rubro muy importante para el crecimiento económico del Ecuador. En el

\*a.rios@uta.edu.ec  
Recibido: 08/08/2020  
Aceptado: 23/03/2021  
Publicado: 31/05/2021  
10.33333/rp.vol47n2.01  
CC BY 4.0

tercer trimestre del año 2018, la economía del país experimentó un crecimiento del 1,4% en relación al segundo trimestre del mismo año según cifras del Banco Central del Ecuador, BCE. En tanto que, sólo en el sector acuícola, se constató un crecimiento interanual de 7,4%. El importante crecimiento del sector camaronero se sustentó por las innovaciones tecnológicas introducidas en la producción de tipo intensivo y extensivo. En el año 2018, las exportaciones del sector camaronero alcanzaron un volumen superior a 130 mil toneladas, que representó un incremento interanual del 18% (Haz, 2019a).

La rentabilidad del sector acuícola camaronero depende directamente del nivel de tecnificación de los procesos de producción y de la dependencia de los precios de combustibles fósiles, además del constante peligro de contaminación por el uso de derivados de petróleo. El principal negocio del sector camaronero es la producción de camarón, sin embargo, es necesario considerar la energía como un recurso gestionable de forma inteligente mediante la introducción de acciones de eficiencia energética, con la aplicación de la norma ISO 50001. Una administración responsable de los recursos energéticos implica una significativa mejora de la productividad. Asimismo, es importante que las prácticas de ahorro y eficiencia energética se acompañen con la expansión de la infraestructura en las industrias, configurando una oportunidad potencial para el crecimiento de las industrias (McKane, 2009).

El Plan Nacional de Eficiencia Energética del Ecuador en el horizonte 2016 – 2035, PLANEE, fomenta la instalación de sistemas renovables de generación eléctrica, la integración de programas de eficiencia energética, así como la implementación de la certificación de la norma de eficiencia energética, ISO 50001; sin embargo, no considera impulsar el sector acuícola (Gaudry, Godoy-Vaca, Espinoza, Fernández, & Lobato-Cordero, 2019). Adicionalmente, la inminente eliminación del subsidio a los combustibles fósiles para el sector camaronero, establecido por el gobierno del Ecuador en enero de 2019, que garantiza un precio diferenciado para pequeños medianos y grandes productores, desencadenará un aumento significativo en los costos de producción del sector. En este sentido, es de especial interés para el sector camaronero el desarrollo de propuestas de integración de nuevas fuentes renovables de energía y de optimización de recursos energéticos en los procesos de producción, que permitan desacoplar el suministro energético de los combustibles fósiles (Haz, 2019b).

## 2. SUSTENTABILIDAD DEL SECTOR ACUÍCOLA

En el contexto económico la acuicultura es una actividad que genera grandes ganancias a nivel mundial, los retornos de las inversiones son relativamente rápidos lo cual hace atractivo el negocio; sin embargo, casi nunca se toma en cuenta las pérdidas ecológicas y económicas resultantes de la degradación del ambiente, en este sentido el gobierno debe jugar un papel fundamental para regular las prácticas de esta actividad de tal forma que se pueda garantizar buenas condiciones de vida para las generaciones futuras (Assad & Bursztyn, 2000).

En las últimas décadas en Ecuador se ha experimentado un rápido crecimiento del sector acuícola, que no ha sido debidamente reglamentado, regulado y controlado, dando como resultado la aparición de cultivos de camarones de tipo intensivo sin planificación técnica y ambiental adecuada provocando un significativo número de proyectos que pierden rentabilidad e incrementan alarmante las cifras de desocupación en las provincias camaroneras (Assad & Bursztyn, 2000); (Vieira<sup>1</sup>, de Oliveira, Crispim, & Cunha, 2016).

La actividad económica de producción de camarones en el contexto social es muy importante, ya que representa un segmento grande de la ocupación nacional. La generación de puestos de trabajo y el gran volumen de exportación de alimentos altos en proteína generan un impacto socio-económico muy positivo (Assad & Bursztyn, 2000). En el contexto político, el Estado ecuatoriano debería ser capaz de promover el desarrollo sostenible del sector camaronero con la elaboración e implementación de regulaciones gubernamentales y políticas dirigidas al establecimiento de normas e instrumentos técnicos de ahorro y eficiencia energética (Assad & Bursztyn, 2000).

### 2.1 Producción de camarón

La producción de camarones se inicia con la preparación del terreno y realización de obras civiles para la construcción de piscinas y estabilización de muros. Se requiere un suelo limo-arcilloso de mínima filtración o cubierto por membrana. La preparación de las piscinas para la siembra incluye, además, el uso de fertilizantes y desinfectantes. La larva de camarón recibe un tratamiento de maduración por medio de un proceso de raceways o precriaderos, que consiste en la adaptación en estanques de menor tamaño con control de parámetros como PH, salinidad, temperatura, oxígeno, bacterias, etc. Posteriormente, se realiza el cultivo de la post-larva para la cría y engorde en las piscinas, durante 90 y 120 días, según el tamaño de camarón que se desee. El cultivo de la post-larva exige un recambio de agua y el empleo de sistemas de aireación de 24 horas, en función de la densidad de la siembra, que garantice niveles adecuados de oxígeno para la supervivencia del camarón. Finalmente, se realiza la cosecha de forma manual o con cosechadoras, que deberá, recoger los camarones sin causarles daño ya sea por manipulación o estrés, véase Figura 1 (Aguilar & Parrales, 2015); (Ochoa, 2016).



Figura 1. Fases de la producción de camarón en el Ecuador

### 3. ENERGÍAS RENOVABLES APLICADAS AL SECTOR ACUÍCOLA

Las energías renovables son recursos energéticos que se encuentran disponibles de forma abundante en la naturaleza. El mayor potencial renovable corresponde a la energía solar, sin embargo, el comportamiento de la radiación en las diferentes horas del día, tiene una naturaleza intermitente y en la noche es nulo. Para superar la intermitencia de la generación solar se han desarrollado sistemas híbridos eólico-solar, integrados con sistemas de almacenamiento, que aseguran un suministro fiable y continuo de energía eléctrica a las diferentes cargas durante un periodo de tiempo requerido. Los sistemas de almacenamiento proporcionan a las instalaciones fotovoltaicas de un elevado nivel de confiabilidad. El diseño y dimensionado de una instalación fotovoltaica depende principalmente de la demanda requerida y del recurso solar existente en una localización dada según Bajpai & Dash (2012); Iverson, Achuthan, Marzocca, & Aidun (2013).

Algunos casos de estudio de integración de energía solar y eólica para sistemas de bombeo en áreas remotas, en Argelia, o para la evaluación del potencial de uso de la energía solar y eólica en el sector acuícola, en Tailandia, demuestran resultados favorables. Por ejemplo, en el caso de Tailandia, la generación de energía solar se integra en la producción de camarón. La energía solar fotovoltaica proporciona mayor fiabilidad de suministro en comparación con los sistemas eólicos. Asimismo, la fiabilidad del suministro eléctrico se incrementa significativamente al incluir baterías de almacenamiento, que permiten suministrar energía eléctrica durante la noche, cubriendo incluso casi el 100% del total de la demanda, en comparación con el 54%, obtenido con un sistema sin baterías (Saidi, Harrouz, Colak, Kayisli, & Bayindir, 2019); (Nookuea, Campana, & Yan, 2016).

#### 3.1 Uso de los recursos energéticos en el sector acuícola

La acuicultura es una actividad intensiva, que debe obtener la mayor cantidad de producción con el menor uso de recursos y un elevado nivel de tecnificación de procesos y control de parámetros como: temperatura, nivel de oxígeno disuelto, PH, turbidez del agua, etc. La variable de mayor importancia es el nivel de oxígeno (Pringle, Handler, & Pearce, 2017).

El oxígeno puede ser suministrado por difusión directa o por fotosíntesis. En el primer caso, el oxígeno se libera en el agua mediante procesos de aireación (Figura 2), cambio o recirculación de agua. El segundo caso, consiste en un proceso fotosintético de forma natural, generado por el uso de fitoplancton y algas (Goelzer, Avila, & de Oliveira, 2017); (Romero, Ponce, & Marcillo).

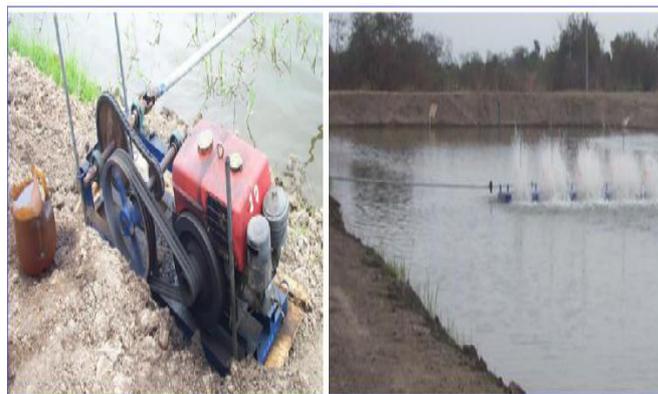


Figura 2. Sistema de aireación con motor diésel

El consumo de recursos energéticos depende en gran medida del tamaño y tipo de cultivo empleado en la camaronera. Por ejemplo, el tipo intensivo se caracteriza por tener piscinas pequeñas, pero con altas densidades de camarones, haciendo imprescindible la instalación de equipos de aireación para mantener los niveles de oxígeno adecuados. En los cultivos de tipo extensivo, caracterizado por tener grandes extensiones, el sistema de bombeo es prioritario para el llenado y recirculación de agua en las piscinas (Figura 3) (Fajardo & Quevedo, 2018).



Figura 3. Estación de bombeo diésel de una camaronera

El reemplazo de equipos diésel por eléctricos para los sistemas de aireación presenta varias ventajas, entre las que destacan:

- Se reduce riesgo de contaminación por derrames.
- Reducción de emisión de gases contaminantes.
- No requiere mantenimiento ni cambio de repuestos periódicos.
- Puede ser operado a distancia.
- Menores gastos operativos.

En el caso de los cultivos extensivos, una de las dificultades del manejo y control de parámetros, como el oxígeno, es la gran extensión de las camaroneras. Los trabajadores deben recorrer grandes distancias para encender los equipos de aireación. En los meses de invierno, algunas tareas ya no se realizan por la dificultad de acceso a determinados lugares. Un elevado nivel de tecnificación y el uso de energía eléctrica permiten que estas tareas sean fácilmente automatizadas y monitoreadas en tiempo real, con ayuda de controladores lógicos programables para la gestión a distancia o de forma autónoma.

### 3.2 Tarifas eléctricas para el sector camaronero del Ecuador

Una ventaja de tener conexión a una red eléctrica pública cercana es el acceso a una tarifa eléctrica diferenciada de menor precio, denominada tarifa de bombeo de agua. Esta tarifa fue publicada en el pliego tarifario del año 2020 por la Agencia de Regulación y Control de Electricidad, ARCONEL. Los rubros de pago que esta tarifa contempla son: comercialización, demanda, y energía horaria diferenciada. La tarifa indica que se deberá aplicar para el uso agrícola y acuícola, siempre y cuando se utilicen elementos eléctricos que formen parte del proceso productivo como oficinas administrativas y guardianía; y siempre y cuando no involucre procesos industriales (Agencia de Regulación y Control de Electricidad [ARCONEL], 2020).

Para clientes de CNEL El Oro, Los Ríos, Guayas-Los Ríos, Manabí, Milagro, Santa Elena, Santo Domingo y Sucumbíos, la tarifa bombeo de agua posee los valores presentados en la Tabla 1 (ARCONEL, 2020). Las tarifas para clientes en bajo voltaje aplican únicamente cuando la capacidad requerida es menor a 10 kW, en media tensión hasta 1000 kW y en alta tensión aplica para instalaciones de capacidad superior a 1000 kW (ARCONEL, 2020).

**Tabla 1.** Tarifa Eléctrica categoría bombeo de agua (ARCONEL, 2020)

Rubros	Costo por nivel de voltaje		
	Bajo	Medio	Alto
Comercialización	1,414 USD	1,414 USD	1,41 USD
Demanda	4,79 USD x Demanda	4,576 USD x Demanda	4,40 USD x Demanda
Energía	0,07	0,061 USD	0,055 USD
08-22 horas	USD.kWh	USD.kWh	USD.kWh
Energía	0,056	0,049 USD	0,049 USD
22-08 horas	USD.kWh	USD.kWh	USD.kWh

### 3.3 Eficiencia energética

La ISO 50001 es una normativa de gestión energética para sistematizar los procesos en una organización o empresa con el fin de promover criterios de gestión de ahorro y eficiencia energética (Fiedler & Mircea, 2012).

Los programas de eficiencia energética son una pieza fundamental para lucha contra el cambio climático, con el objetivo de reducir las emisiones de dióxido de carbono a escala global. La norma proporciona una herramienta para lograr la reducción de (Fiedler & Mircea, 2012).

- Consumo de energía
- Costos de operación
- Emisiones y contaminantes

La gestión energética puede ser aplicada a cualquier tipo de organización que requiera energía para cumplir con sus actividades. Permite además aplicar medidas y actividades que se planifican o ejecutan con el fin de minimizar el consumo energético, considerando incluso patrones de comportamiento de los trabajadores que implique una reducción del consumo

de energía y un incremento de la eficiencia energética de la empresa (Fiedler & Mircea, 2012; Correa, 2016).

El sector acuícola requiere una gran cantidad de energía para realizar sus actividades de producción. La aplicación de mecanismos de eficiencia energética en esta actividad presenta varios beneficios citados a continuación:

- Mejora la eficiencia energética de los procesos.
- Facilita la comunicación y crea transparencia en la gestión de los recursos energéticos.
- Promueve y refuerza los comportamientos y hábitos en cuanto a la gestión de la energía.
- Ayuda a priorizar y evaluar la implementación de nuevas tecnologías energéticamente eficientes.
- Permite integrar otros sistemas de gestión como medio ambiente, salud y seguridad.
- Incrementa el aprovechamiento de energías renovables.
- Asegura la conformidad con una política energética de ahorro y eficiencia energética.

## 4. METODOLOGÍA

Para realizar un estudio de diseño y dimensionado de una instalación solar fotovoltaica en la provincia de El Oro, destinada al suministro eléctrico de una empresa camaronera, es necesario definir el tamaño promedio en hectáreas y tipo de la explotación camaronera. Además, es necesario determinar los valores de radiación solar en los cantones de El Oro.

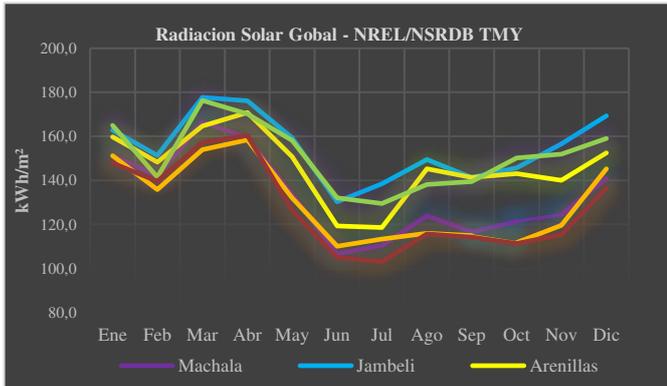
La información sobre el sector camaronero de la provincia de El Oro se obtiene de la base de datos proporcionada por el Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca, MPCEIP. En la provincia de El Oro, existe un total de 996 camaroneras registradas, la mayor cantidad de las cuales se encuentra en el Archipiélago de Jambelí con un total de 498 camaroneras, que representa un 50% del total del registro existente.

Con la información obtenida del MPCEIP es posible definir las dimensiones promedio de una explotación camaronera tipo extensivo e intensivo, que corresponden a una extensión de 50 Ha y 12 Ha, respectivamente.

Se obtiene información de la radiación solar, temperatura, velocidad del viento de 5 cantones, donde se desarrolla la actividad acuícola en la provincia de El Oro. La evaluación del potencial solar de los sitios estudiados se obtiene a partir de la base meteorológica NREL/NSRDB TMY y de los modelos de radiación del atlas solar del Ecuador, y las estaciones meteorológicas cercanas a los sitios según el anuario del INAMHI, Tabla 2.

**Tabla 2.** Sectores Acuícolas de la provincia de El Oro

Lugar	Coordenadas UTM	Altitud
Machala	17 M 615768.55 m E, 9639641.44 m S	12 m
Jambelí	17M 595027.67 m E, 9630938.88 m S	7 m
<b>Arenillas</b>	<b>17M 601672.82 m E, 9620574.55 m S</b>	<b>10 m</b>
Huaquillas	17 M 586473.96 m E, 9618255.51 m S	11 m
El Guabo	17 M 620333.10 m E, 9647939.19 m S	7 m
Sta. Rosa	17 M 615145.95 m E, 9618327.65 m S	16 m



**Figura 4.** Radiación Solar Global varios sectores Provincia de El Oro

El Cantón Santa Rosa registra niveles de radiación menor en comparación con otros cantones, el mayor potencial solar corresponde al archipiélago de Jambelí. Para efectos del diseño y dimensionado de una instalación fotovoltaica se considerará al cantón de Arenillas, específicamente a Puerto Pitahaya el cual tiene latitud  $-3.4323^\circ$ , puesto que registra un nivel de radiación intermedio (Figura 4).

#### 4.1 Radiación solar sobre una superficie inclinada

La potencia fotovoltaica depende de la cantidad de radiación solar incidente sobre los paneles fotovoltaicos. El parámetro más importante para medir la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos es el performance ratio, PR, que es la relación entre la energía producida en la salida de alterna del sistema solar y la energía generada por los paneles fotovoltaicos bajo condiciones estándar de ensayo, STC, a un valor de radiación de  $1000 \text{ W/m}^2$  y  $25^\circ\text{C}$ . Existen muchos factores que afectan el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos como la inclinación, orientación, temperatura, polvo, etc. (Tur, Colak, & Bayindir, 2018).

Los métodos para el cálculo de irradiaciones sobre superficies inclinadas a partir de datos de irradiación sobre una superficie horizontal son varios, la metodología aplicada se describe a continuación:

Cálculo del ángulo de inclinación: el ángulo óptimo de inclinación se calcula a partir de la latitud del sitio de estudio como se muestra en la Ec. 1 (Lorenzo, 2002).

$$\beta_{(opt)} = 3.7 + 0.69\phi \quad (1)$$

$\beta_{(opt)}$  : Ángulo óptimo de inclinación.

$\phi$  : Latitud del emplazamiento.

Orientación o azimut: si el emplazamiento se encuentra en el hemisferio norte se recomienda que el panel se encuentre orientado hacia el sur, y viceversa, de tal forma que se pueda masificar el aprovechamiento radiación solar.

El ángulo de inclinación óptimo teórico para una latitud de  $-3.4323^\circ$  es  $6,068^\circ$  y  $0^\circ$  de azimut orientado hacia el norte. Sin embargo, el ángulo práctico de inclinación será  $10^\circ$ , para aprovechar de mejor manera la pendiente por motivos de limpieza de los paneles (Lorenzo, 2002)

La irradiación anual efectiva incidente sobre la superficie del generador  $G_a(\beta, \alpha)$  se calcula mediante la Ec. (2) (Lorenzo, 2002)

$$G_a\beta_{(opt)} = G_a(0) / \left[ 1 - 4.46 \times 10^{-4} \beta_{(opt)} - 1.19 \times 10^{-4} \beta_{(opt)}^2 \right] \quad (2)$$

$G_a\beta_{(opt)}$  : Irradiación incidente - superficie inclinada

$G_a(0)$  : Irradiación incidente - superficie horizontal.

Considerando una orientación de  $0^\circ$  y una inclinación de  $10^\circ$  en Arenillas provincia de El Oro se obtienen los resultados de la irradiación anual efectiva sobre los paneles (Tabla 3). El mes con menor radiación solar es noviembre con  $90,78 \text{ kWh/m}^2\text{-mes}$ , equivalente a  $3,03 \text{ kWh/m}^2\text{-día}$ . Por otro lado, el mes con mayor radiación solar es abril con  $179,59 \text{ kWh/m}^2\text{-mes}$ , equivalente a  $5,98 \text{ kWh/m}^2\text{-día}$ . La radiación promedio mensual es  $136,29 \text{ kWh/m}^2\text{-mes}$ , igual a una radiación diaria de  $4,54 \text{ kWh/m}^2\text{-día}$ .

**Tabla 3.** Irradiación anual efectiva incidente sobre un panel solar

Mes	NREL [kWh/m <sup>2</sup> mes]	Atlas Solar [kWh/m <sup>2</sup> mes]	Irradiación ( $\beta, \alpha$ ) [kWh/m <sup>2</sup> mes]
Enero	159,8	149,83	146,25
Febrero	148,3	135,80	132,55
Marzo	164,7	177,90	173,65
Abril	170,8	183,99	179,59
Mayo	150,7	158,63	154,83
Junio	119,3	125,14	122,15
Julio	118,6	136,30	133,04
Agosto	145,3	131,06	127,92
Septiembre	141,3	109,75	107,13
Octubre	143,1	99,94	97,55
Noviembre	140,1	93,01	90,78
Diciembre	152,5	134,10	130,89
<b>Anual</b>	<b>1754,50</b>	<b>1635,46</b>	<b>1596,32</b>

#### 4.2 Demanda eléctrica

La demanda energética requerida para las camaroneras es utilizada para los sistemas de bombeo, los sistemas de aireación y las instalaciones de los campamentos. Generalmente, las fincas camaroneras se encuentran en sitios alejados, por tanto, no disponen de conexión con la red eléctrica pública y satisfacen su demanda de energía mediante el uso de motores diésel para bombeo o aireación y generadores diésel para suministro eléctrico de las instalaciones eléctricas. El empleo de motores de combustión implica un elevado riesgo de contaminación medioambiental,

que causar graves daños a la evolución del cultivo de los camarones (Fajardo & Quevedo, 2018; Navia, 2018).

La demanda eléctrica para la estación de bombeo se calcula a partir de la potencia hidráulica necesaria para abastecer las piscinas de cultivo de larvas y crecimiento de camarones y el recambio de agua diario. Para una camaronera de tipo intensivo, el recambio de agua a considerar será del 5% del volumen de la piscina. En tanto, que para una camaronera de tipo extensiva se considerará un recambio de agua del 15% del volumen total de la piscina (Calderón & Sonnenholzner, 2003); (Sánchez & Torres, 2011).

La potencia necesaria para las estaciones de bombeo se calcula en función el caudal requerido (Ec. 3), que depende directamente del volumen de agua en las piscinas de la camaronera. Una vez se ha calculado el caudal de las bombas, es posible determinar el valor de la potencia hidráulica (Ec. 4) (Fajardo & Quevedo, 2018)

$$Q = \frac{A \cdot h \cdot R}{t} \tag{3}$$

Donde:

$Q$ : Caudal [m<sup>3</sup>/s]

$A$ : área [m<sup>2</sup>]

$h$ : Altura requerida del espejo de agua

$R$ : porcentaje de recambio de agua

$t$ : tiempo [s]

$$PH = \frac{Q \cdot ADTMB \cdot 60}{4560 \cdot \eta} \tag{4}$$

Donde:

$PH$ : Potencia hidráulica [HP]

$Q$ : Caudal [m<sup>3</sup>/s]

$ADTMB$ : Altura dinámica de marea baja [m]

$\eta$ : eficiencia

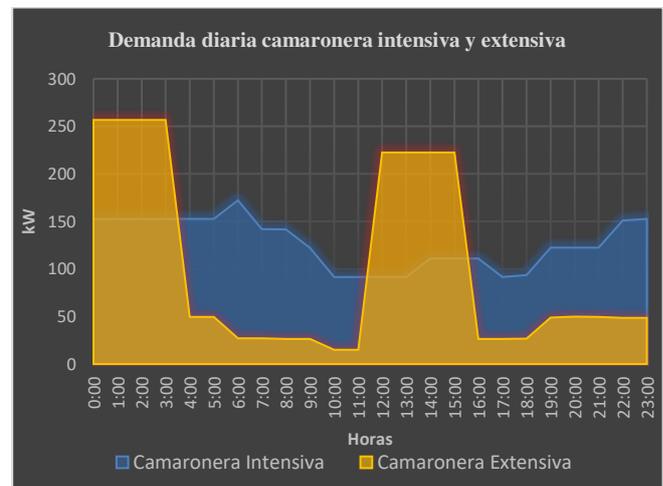
Para un sistema de aireación de piscinas intensivas se considera un valor entre 32 y 40 HP por hectárea. En tanto, que para cultivos extensivos se estiman un valor de 2 HP por hectárea. Se asume que son equipos de aireación con un rendimiento estándar, en término anglosajones se conoce como *standart aeration efficiency*, SAE, con un valor que suele oscilar entre 1.5 – 2.2 kg O<sub>2</sub>/kW-h (Calderón & Sonnenholzner, 2003).

La Tabla 4 muestra los valores de demanda eléctrica requerida para los diferentes procesos de la producción de camarones en función del tipo de producción ya sea esta intensiva o extensiva. El consumo eléctrico del sistema de aireación representa la carga más importante de la instalación en cultivos intensivos, en tanto que, en cultivos extensivos lo son los sistemas de bombeo, ya que en camaroneras extensivas será necesario bombear mucha más agua para llenar las piscinas, mientras que en los sistemas intensivos debido a la densidad de siembra es indispensable mantener los niveles de oxígeno adecuados mediante aireadores.

**Tabla 4.** Eficiencia y Costos de Inversión en Centrales

Sistema	Intensivo		Extensivo	
	[kW]	[kWh-día]	[kW]	[kWh-día]
Bombeo	19,40	58,20	259,00	1657,60
Aireación	286,46	2750,02	74,60	716,16
Pre-cría	14,92	179,04	7,46	89,52
Campamento	0,98	4,90	2,80	14,00
<b>Total</b>	<b>321,76</b>	<b>2992,16</b>	<b>343,86</b>	<b>2477,28</b>

La Figura 5 muestra la curva de demanda eléctrica diaria para los casos de cultivo intensivo y extensivo, en el caso de las camaroneras intensivas la curva de consumo es mucho más plana en comparación con la curva del sistema extensivo, debido a que los sistemas de aireación que representan su carga más alta funcionan de forma prácticamente continua durante toda la producción, mientras que el sistema de bombeo en las camaroneras extensivas opera únicamente cuando existe marea alta o si se requiere recirculación del agua.



**Figura 5.** Demanda diaria camaroneras intensivas y extensivas

### 4.3 Diseño y dimensionamiento de la instalación fotovoltaica

El diseño de un sistema solar fotovoltaico aislado se realiza en función la demanda energética requerida, las características técnicas de paneles, baterías e inversor.

El número de paneles a instalar es directamente proporcional a la energía eléctrica requerida durante un día e inversamente proporcional a la potencia pico del panel fotovoltaico, la radiación promedio diaria del lugar, en el peor día del año y la eficiencia de la instalación solar fotovoltaica aislada (Departamento de Energía Solar del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía [IDEA] & CENSOLAR, 2009).

$$M = \frac{Ec}{P_m \cdot hsp \cdot \eta} \tag{5}$$

Donde:

$M$ : Numero de módulos FV

$Ec$ : Energía consumida diaria, [Wh].

$p_m$ : Potencia del módulo, [W].

$hsp$ : Horas sol pico promedio [h].

$\eta$ : eficiencia de la instalación fotovoltaica.

La radiación promedio diaria se define en función del registro promedio anual, considerando el correspondiente ajuste debido a las pérdidas por inclinación y orientación para evitar sobredimensionar o subdimensionar el sistema solar (Tabla 3).

La potencia máxima del módulo se calcula a partir de las condiciones de trabajo, en particular la temperatura ya que de esta depende el desempeño del módulo fotovoltaico, este registro corresponde a la base de datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). El rango de temperatura anual oscila en el lugar seleccionado entre 19,2°C y 33,8°C.

El arreglo del número de paneles solares fotovoltaicos por string y número de strings en paralelo no deberá superar los valores máximos y mínimos del rango de operación de tensión y corriente del inversor.

El diseño propuesto de la instalación solar consiste en un inversor central, que se encargará de suministrar la energía eléctrica generada a la red interna de la instalación de producción de camarones (Tabla 5).

El sistema de acumulación, conformada por baterías estacionarias, se calcula con la Ec. 6 (Fotovoltaica, 2009).

$$C_{24} = \frac{A \cdot L_D}{PD_{max} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{bat}} \quad (6)$$

$C_{24}$  : Capacidad del acumulador [Ah].

A: Autonomía del sistema en días.

$L_D$  : Consumo diario de la carga [Ah].

$PD_{max}$  : Profundidad de descarga.

$\eta_{inv}$  : Eficiencia del inversor.

$\eta_{bat}$  : Eficiencia de las baterías.

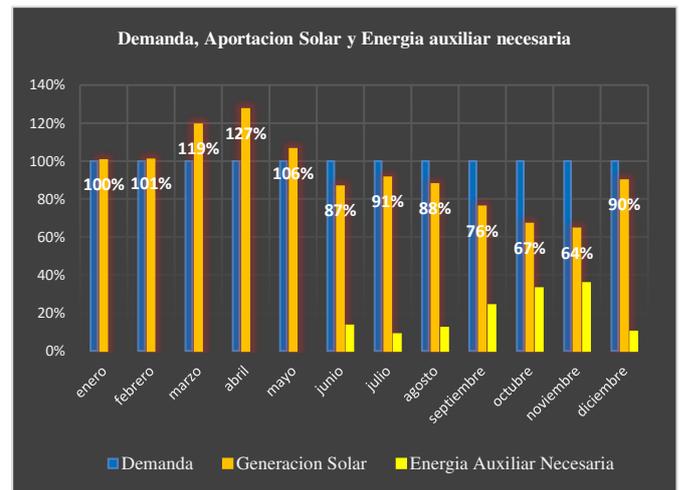
La capacidad del sistema de acumulación se calcula considerando una autonomía de 1 día, debido a que el sistema va a ser utilizado durante las horas de la noche como se muestra en la curva de carga en la Figura 4.

Las características de los elementos de la instalación solar fotovoltaica aislada se muestran en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Especificaciones para las instalaciones fotovoltaicas

Tipo	Intensiva	Extensiva
Inversores	SMA SC560HE	SMA SC500HE
Potencia	560[kW]	500[kW]
Rango de voltaje	480 – 820 [V]	480 – 820 [V]
Módulos PV	EGE 72 Cells	EGE 72 Cells
Potencia	350[W]	350[W]
Dimensiones	1956 x 992 x 40 mm	1956 x 992 x 40 mm
Módulos/strings	14	14
Strings	137	114
Número de paneles	1918	1596
Área de los módulos	3739.86 [m <sup>2</sup> ]	3112.00 [m <sup>2</sup> ]
Acumuladores	HOPPECKE OPsZ 30 x 48V 4004 Ah	HOPPECKE OPsZ 24 x 48V 4004 Ah
Energía Efectiva	919,24 [MWh-año]	750,59 [MWh-año]
Performance R.	0,8373	0,8216

En la Figura 5 se compara mensualmente la demanda eléctrica, aportación solar y energía auxiliar necesaria para satisfacer el consumo eléctrico de una finca camaronera de tipo intensivo, considerando las características técnicas de la instalación solar aislada propuesta (Tabla 4). En los meses de junio a diciembre se requerirá energía auxiliar. El mes más crítico es noviembre, ya que existe un déficit de generación del 36%, que deberá ser cubierto por los equipos diésel. Durante los meses de marzo, abril y mayo, se prevé que la generación solar sea superior a la demanda. En abril se estima una generación solar mayor en un 27% a la demanda, un exceso que se empleará en otros usos.

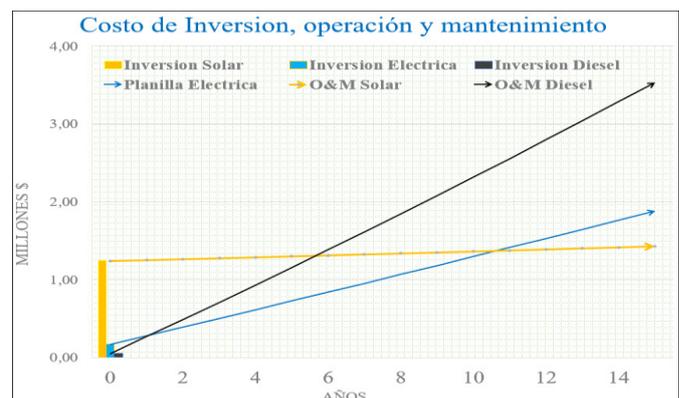


**Figura 6.** Aportación Solar, demanda y energía auxiliar

Si bien es cierto se ha considerado una demanda mensual constante durante todo el año (Figura 6), en la práctica, la demanda no es constante, ya que el proceso de producción es cíclico se realizan entre 3 y 4 cosechas al año, en este sentido la información del recurso solar es de gran importancia para una correcta planificación del consumo eléctrico y la producción.

#### 4.4 Análisis Económico

La Figura 6 muestra los costos de inversión y mantenimiento de las tecnologías solar, red eléctrica y diésel. En el año 0, se presentan los costos de inversión en forma de bloques, mientras que mediante líneas se representa la proyección de los gastos mensuales por operación y mantenimiento de las diferentes tecnologías. El costo de la inversión, así como la operación y mantenimiento de la planta solar se calculan en base a los costos nivelados.



**Figura 7.** Costos de inversión, operación y mantenimiento

El periodo de recuperación de la inversión es menor si se compara la tecnología Solar PV vs diésel (Tabla 6). La recuperación de la inversión solar se realiza en un periodo entre 4 y 5 años, mientras que en el caso de la comparación entre Solar PV vs red eléctrica, el periodo de recuperación es más largo, entre 8 y 10 años (Figura 7). Las variables que han sido consideradas son el costo de inversión, mantenimiento, además en el caso del sistema eléctrico dependiente de la red pública se incluye el costo de la planilla eléctrica, para el sistema con motores de combustión interna se considera también el combustible, repuestos, transporte; ya que son rubros considerables en cada tecnología.

**Tabla 6.** Periodo de recuperación de la inversión

Tecnología Actual	C. Intensiva Solar PV	C. Extensiva Solar PV
Eléctrico	10 años 299 días	8 años 142 días
Diésel	5 años 247 días	4 años 232 días

El cálculo del valor actual neto (VAN) resulta de la comparación del flujo costo anual de la tecnología diésel actual versus los costos de la tecnología solar, que implica una inversión inicial elevada, pero con gastos de operación mínimos en comparación con el diésel.

**Tabla 7.** Tasa de interés, VAN, TIR

Tipo de Camaronera	Intensiva	Extensiva
Tasa de interés	11,58%	11,58%
VAN	\$531.613,97	\$762.447,08
TIR	17,05%	20,85%

En la Tabla 7, se muestran los resultados del análisis económico financiero de la instalación solar. El análisis se ha realizado para un periodo de 25 años, en función de la vida técnica para proyectos solares fotovoltaicos (Cisterna et al., 2020). Los resultados más satisfactorios se presentan en el caso de la camaronera extensiva ya que el VAN es mayor, en comparación con el VAN de la camaronera intensiva. Asimismo, en los dos casos evaluados, los proyectos son factibles económicamente puesto que el TIR es mayor a la tasa de interés.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos de la integración de sistemas solares fotovoltaicos aislados en la producción camaronera indican que es técnicamente viable el suministro de un importante porcentaje de volumen de energía eléctrica anual para satisfacer la demanda de los equipos de bombeo y aireadores de las fincas camaroneras. La provincia de El Oro, además, presenta excelentes recursos solares que viabilizan la instalación de sistemas solares fotovoltaicos en el sector camaronero del Ecuador.

Los resultados económicos muestran que los proyectos de energía solar fotovoltaica para el sector acuícola intensivo y extensivo son rentables. El VAN evaluado de una instalación fotovoltaica resulta positivo. Asimismo, el periodo de recuperación de la inversión es aproximadamente de 5 años. Por otra parte, los resultados muestran que el sistema tipo extensivo presenta un periodo de recuperación de la inversión más corto, en comparación con el sistema tipo extensivo,

debido a que la capacidad solar a instalar y, por tanto, la inversión esperada es menor.

Los sistemas de producción camaronera, poseen actividades multidisciplinarias, y contemplan un gran número de riesgos ya que la producción del crustáceo es altamente sensible a variaciones de parámetros como temperatura, oxígeno, calidad del agua, PH, etc. La tecnificación en estos procesos es crucial, puesto que mejoraría el monitoreo de la producción para la toma de decisiones y a la vez evita el uso de combustibles fósiles, mismos que podrían causar graves daños en la evolución de los animales.

El proceso de producción acuícola requiere gran control de los diferentes parámetros, es primordial evitar que existan contaminantes, puesto que la producción camaronera es muy susceptible, es necesario eliminar los focos potenciales de peligro para reducir el riesgo de daño ecológico y pérdida de la producción. Los equipos eléctricos como transformadores deben ser sumergidos en aceite vegetal dieléctrico biodegradable, utilizado habitualmente en industrias alimenticias, cerveceras, viñedos, etc.

La confiabilidad de los sistemas eléctricos en las instalaciones camaroneras es de gran importancia, puesto que estas fincas acuícolas están ubicadas generalmente a grandes distancias de los centros poblados. Por tanto, los tiempos de respuesta para atender las contingencias suelen ser relativamente largos, sumado al difícil acceso en tiempos invernales complica aún más el tiempo de las interrupciones.

Los proyectos de energías renovables, electrificación y tecnificación están calificados para acceder a certificaciones promovidas por el ministerio del ambiente, que otorgan beneficios a las empresas preocupadas por alcanzar el desarrollo sostenible y la reducción de contaminación ambiental. Estas certificaciones se aplican para las empresas que cumplan con actividades de producción limpia, en las cuales se considera varios puntos como: la innovación y el cambio de tecnología para reducir el riesgo de las personas y el ambiente.

Las plantas solares fotovoltaicas son una alternativa efectiva para la producción de energía en el sector camaronero y garantiza el desacoplamiento económico de este sector productivo de la dependencia del petróleo en el Ecuador.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores del artículo quieren agradecer de forma especial a la Universidad Católica de Cuenca, por su apoyo en la realización del presente estudio dentro del programa de Maestría en Energías Renovables.

## REFERENCIAS

- Aguilar, S. E., & Parrales, G. L. (2015). Estudio de factibilidad de la implementación del Método Raceways en la Camaronera Ipeca [Tesis de Pregrado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. Retrieved from <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/4758>
- Agencia de Regulación y Control de Electricidad [ARCONEL] (2020). Plieg Tarifario 2020. 35. Retrieved from [https://www.cnelep.gob.ec/wp-content/uploads/2020/01/pliego\\_tarifario\\_del\\_spee\\_2020\\_resolucion\\_nro\\_035\\_19.pdf](https://www.cnelep.gob.ec/wp-content/uploads/2020/01/pliego_tarifario_del_spee_2020_resolucion_nro_035_19.pdf)
- Assad, L. T., & Bursztyn, M. (2000). Aquicultura no Brasil: bases para um desenvolvimento sustentável. doi:<https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001300006>
- Bajpai, P., & Dash, V. (2012). Hybrid renewable energy systems for power generation in stand-alone applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 2926-2939. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.009>
- Calderón, J., & Sonnenholzner, S. (2003). Cultivo de camarón: Experiencia y desafíos en el uso de invernaderos. *El mundo acuícola*, 9, 4-8.
- Cisterna, L., Améstica-Rivas L., & Piderit, B. (2020). Proyectos Fotovoltaicos en Generación Distribuida¿ Rentabilidad Privada o Sustentabilidad Ambiental? *Revista Politécnica*, 45(2), 31-40. doi:<https://doi.org/10.33333/rp.vol45n2.03>
- Correa, A. E. (2016). Propuesta para la implementación de un sistema de gestión integral de la energía en la planta de Colombates SA. Maestría en Administración. Retrieved from <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/57585>
- Fajardo, R. C., & Quevedo, C. E. (2018). Análisis de factibilidad para la sustitución del uso de energía térmica a energía eléctrica en las camaroneras del cantón Machala. [Tesis de Pregrado, Universidad de Cuenca] <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/31319>
- Fiedler, T., & Mircea, P. M. (2012). Energy management systems according to the ISO 50001 standard—Challenges and benefits. Paper presented at the 2012 International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE) (pp. 1-4). IEEE.
- Departamento de Energía Solar del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía [IDEA] & CENSOLAR (2009). Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- Gaudry, K.-H., Godoy-Vaca, L., Espinoza, S., Fernández, G., & Lobato-Cordero, A. (2019). Normativas de energía en edificaciones ante el cambio climático. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 11(2). doi:<https://doi.org/10.18272/aci.v11i2.1285>
- Goelzer, R. C., Avila, L., & de Oliveira, V. M. (2017). Project and Trajectory Control of an Autonomous Aerator for Aquaculture. Paper presented at the Iberian Robotics conference.
- Intriago, L. (2016). Análisis del uso de la fuente de energía en la industria acuícola [Tesis de Maestría, Universidad de Guayaquil]. Retrieved from <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/15722>
- Iverson, Z., Achuthan, A., Marzocca, P., & Aidun, D. (2013). Optimal design of hybrid renewable energy systems (HRES) using hydrogen storage technology for data center applications. *Renewable energy*, 52, 79-87. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.10.038>
- Lorenzo, E. (2002). La energía que producen los sistemas fotovoltaicos conectados a la red: El mito del 1300 y el “cascabel del gato”. *Era Solar*, 107, 22-28. Retrieved from *La energía que producen los sistemas fotovoltaicos conectados a la red: El mito del 1300 y el “cascabel del gato”*
- McKane, A. (2009). Thinking Globally: How ISO 50001-Energy Management can make industrial energy efficiency standard practice.
- Navia, V. R. (2018). Análisis comparativo de la producción camaronera en agua dulce y salada en el cantón jama [Tesis de Pregrado, Universidad de Especialidades Espíritu Santo]. <https://www.bibliotecasdelecuador.com/Record/oai:localhost:123456789-2890/Description#holdings>.
- Nookuea, W., Campana, P. E., & Yan, J. (2016). Evaluation of solar PV and wind alternatives for self renewable energy supply: Case study of shrimp cultivation. *Energy Procedia*, 88, 462-469. doi: 10.1016/j.egypro.2016.06.026
- Ochoa, C. A. V. (2016). Programa de bioseguridad para la cría de camarón orgánico *Litopenaeus vannamei* en cautiverio. *Revista AquaTIC*(21).
- Pesca, M. d. P. C. E. I. y. (2020). Retrieved from <https://www.produccion.gob.ec/>
- Pringle, A. M., Handler, R., & Pearce, J. M. (2017). Aquavoltaics: Synergies for dual use of water area for solar photovoltaic electricity generation and aquaculture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 572-584. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.191>
- Romero, L., Ponce, W., & Marcillo, M. F. Caracterización y Propuesta Técnica de la Acuicultura en la Zona de El Cajas, Provincia del Azuay. In: Ecuador.
- Saidi, A., Harrouz, A., Colak, I., Kayisli, K., & Bayindir, R. (2019). Performance Enhancement of Hybrid Solar PV-Wind System Based on Fuzzy Power Management Strategy: A Case Study. Paper presented at the 2019 7th International Conference on Smart Grid (icSmartGrid).
- Sánchez, C. R., & Torres, E. (2011). Comparación de crecimiento de postlarvas de camarón *Litopenaeus vannamei* con recambio de agua del 15%

diario vs recambio de agua necesarios, en los primeros 30 días del cultivo [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/6509/1/237989.pdf>

Haz V. (02 de enero de 2019). Ecuador creció 1.4% en el tercer trimestre de 2018. El telegrafo. Retrieved from <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/4/ecuador-economia-2018>

Haz V. (12 de enero de 2019). Gobierno y camaroneros alcanzaron acuerdos sobre el precio del combustible. El telégrafo. <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/4/gobierno-camaroneros-acuerdo-diesel>

Tur, M. R., Colak, İ., & Bayindir, R. (2018). Effect of Faults in Solar Panels on Production Rate and Efficiency. Paper presented at the 2018 International Conference on Smart Grid (icSmartGrid).

Vieira<sup>1</sup>, D. M., de Oliveira, M. A., Crispim, M. C., & Cunha, B. (2016). Por uma aquicultura familiar sustentável: bases jurídicas e da política do setor no Brasil. doi:<http://dx.doi.org/10.21707/gv10.n04a41>



**Javier González Redrován.** - Nació en Azogues en 1980. Ingeniero electrónico por la Universidad Politécnica Salesiana en 2006. Magíster en Energías Renovables por la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE en 2015. Actualmente, se desempeña como Docente de Posgrado y Coordinador Académico de la Maestría en Energías Renovables en la Universidad Católica de Cuenca, y como Investigador en proyectos relacionados con energías renovables y generación distribuida.

## BIOGRAFÍAS



**Juan Pablo Pesantez.** - Nació en Toronto en 1989. Recibió su título de Ingeniero Eléctrico de la Universidad Politécnica Salesiana en 2016; Actualmente se desempeña como Ingeniero Eléctrico en libre ejercicio, y se encuentra cursando una maestría en Energías Renovables en la Universidad Católica de Cuenca. Sus campos de investigación están relacionados con el Desarrollo de

Energías renovables aplicados al sector agrícola y acuícola del Ecuador.



**Alberto Ríos Villacorta.** - Nació en Lima en el año 1969. Ingeniero Eléctrico, especializado en Sistemas y Redes Eléctricas, Facultad de Energía, Instituto Politécnico de Bielorrusia, Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas, URSS, 1993. Master en Energías Renovables, Universidad Europea de Madrid-Iberdrola, España, 2004. Doctor en Ingeniería Eléctrica, Departamento de Ingeniería Eléctrica,

Universidad Carlos III de Madrid, España, 2007. Desde el año 2017 es Profesor Titular Principal de la Universidad Técnica de Ambato. Director del Grupo de Investigación REWA-RD, Renewable Energy & Web Architecture - Research and Development, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.

# La Sostenibilidad en el Ecuador a Través de un Análisis Multicriterio Basado en Entropía, Durante el Período 2008 – 2015

Escola, Belén <sup>1</sup>  ; Palma, María-José <sup>1</sup>  ; González, Silvia <sup>1</sup>  ; Ávalos, Eduardo <sup>2,\*</sup> 

<sup>1</sup>Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ciencias, Quito, Ecuador

<sup>2</sup>Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Quito, Ecuador

**Resumen:** Los programas y políticas implementadas en Ecuador en la última década han permitido el mejoramiento de sus indicadores de Desarrollo Sostenible. Sin embargo, a nivel de país, no se cuenta con estudios que permitan evaluar y dar seguimiento a las 4 dimensiones del Desarrollo Sostenible: económica, social, ambiental e institucional, en conjunto. El Método de Coeficientes Ponderados de Entropía permite analizar de forma objetiva el peso de cada uno de los indicadores, dentro del sistema total y los subsistemas, mediante el grado de diversidad de la información. De esta forma, el análisis de los subsistemas económico, social y ambiental, durante el periodo 2008 - 2015 muestra que el subsistema económico es el que más aporta al Desarrollo Sostenible, y sus indicadores son los de mayor peso en el sistema total. Sin embargo, la evolución de los subsistemas social y ambiental muestra un crecimiento paulatino. Y, en general, un progreso en términos de Desarrollo Sostenible.

**Palabras clave:** sostenibilidad, entropía, análisis multicriterio, teoría de la información.

## Sustainability in Ecuador by Means of a Multicriteria Analysis Based on Entropy, Period 2008 – 2015

**Abstract:** Programs and policies implemented during the last decade in Ecuador have improved the sustainable development indicators of the country. However, at the country level, there is a lack of studies related to monitoring and evaluation of the four dimensions of Sustainable Development as a whole: economic, social, environmental and institutional dimension. The Entropy Weighted Coefficient Method enables the objective analysis of the weight of each indicator within the total system and subsystems, through the degree of diversity of information. Accordingly, the analysis of the economic, social and environmental subsystems during the 2008 - 2015 period shows that the economic subsystem is the one that contributes the most to the Sustainable Development, and its indicators have higher relevance within the total system. Nonetheless, the evolution of the social and environmental subsystems shows a gradual growth. In general, this research shows an improvement in terms of Sustainable Development.

**Keywords:** sustainability, entropy, multicriteria analysis, information theory.

### 1. INTRODUCCIÓN

El acuerdo en torno a la búsqueda del Desarrollo a través de la promulgación de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (2000 – 2015) y, posteriormente, de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (2015 – 2030) muestra la preocupación existente entre los países por alcanzar un desarrollo económico, social y ambiental que garantice el derecho de las futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades.

Para alcanzar un desarrollo sostenible, un país deberá cumplir con las cuatro dimensiones planteadas por Naciones Unidas: económica, social, ambiental e institucional. En el caso de no cumplir con alguna de estas dimensiones, solo se hablará de una sostenibilidad individual para cada uno de los ejes del

desarrollo sostenible. Es por esta razón que es fundamental la medición del desarrollo sostenible (Gallopín, 2006, p.9,10).

En virtud de que, a nivel de Ecuador, los estudios sobre el desarrollo sostenible son escasos, esta investigación presenta una medición de la sostenibilidad del Ecuador para el periodo 2008 - 2015, a través del Método de Coeficientes de Peso de la Entropía (EWCW).

El presente artículo se encuentra organizado de la siguiente forma: en la sección 2 se presentan algunos conceptos básicos sobre el Desarrollo Sostenible, la Termodinámica, la Entropía y los indicadores. La sección 3 describe los datos y la metodología empleados. La sección 4 muestra los resultados, totales y por sistema (económico, social, ambiental). Y, la sección 5 expone las conclusiones del estudio.

\*f.eduardo.avalos.c@gmail.com

Recibido: 27/03/2020

Aceptado: 23/03/2021

Publicado: 31/05/2021

10.33333/rp.vol47n2.02

CC BY 4.0

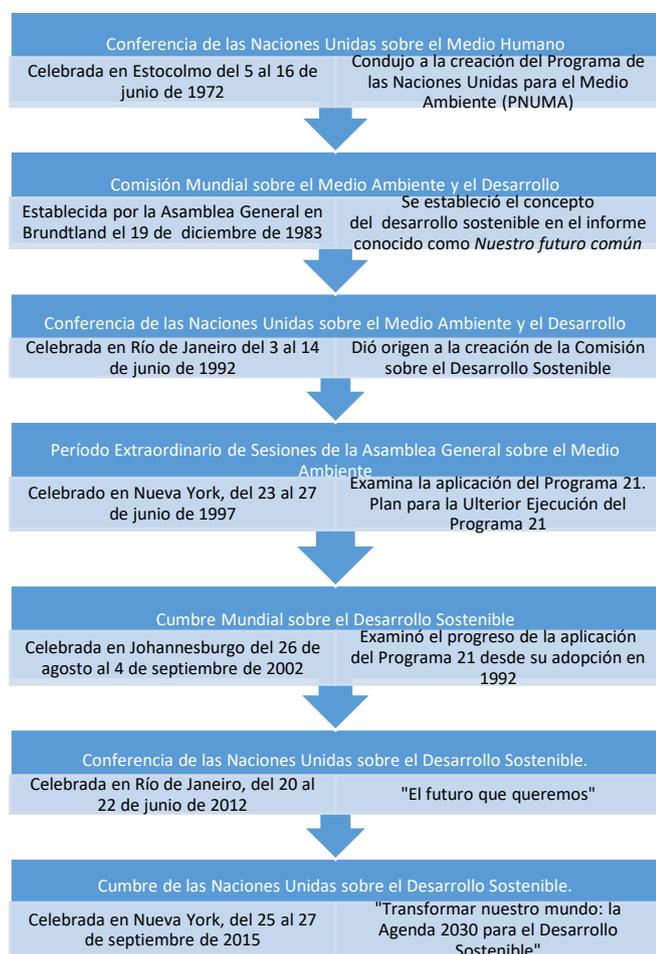
## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Desarrollo Sostenible

En el año 1983 se crea, dentro de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente, la misma que brinda un primer concepto de desarrollo sostenible dirigido a todas las naciones:

“Está en manos de la humanidad asegurar que el desarrollo sea sostenible, es decir, asegurar que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias” (Naciones Unidas, 1997, pág. 55).

A continuación, se presenta un resumen de las reuniones realizadas en el marco de las Naciones Unidas (ONU) con el propósito de que las naciones y la sociedad alcancen el Desarrollo Sostenible; y, el principal acuerdo alcanzado por los mandatarios y organizaciones participantes:



**Figura 1.** Línea del tiempo sobre el Desarrollo sostenible

Fuente: Naciones Unidas (Martínez, 2018)

Elaborado: Los autores

### 2.2 Principios de la Termodinámica

La termodinámica es la ciencia que estudia las distintas transformaciones energéticas (Müller, 2002). Esta ciencia permite describir matemáticamente los fenómenos que se

observan, conocer de mejor manera nuestra vida cotidiana y facilitar el entendimiento de la misma.

La termodinámica tiene dos principales principios: el primero, que establece que la energía no se destruye, pero se transforma. Y, el segundo que nos dice que la materia puede tener una calidad y cantidad dada. Esta segunda ley, conocida como entropía, niega la idea que exista algo espontáneo que transfiera calor de un cuerpo a otro.

### 2.3 Sistema

Un sistema es cualquier colección de materia en la que, en un momento dado, concentremos nuestra atención o se quiere estudiar (Césarman, 1974). Asimismo, se denomina sistema termodinámico a la porción de espacio y su contenido, objeto de nuestro estudio, estando el sistema situado en el interior de una superficie cerrada que lo separa del resto del universo o “medio exterior” (Beléndez, 2017). Es decir, cualquier porción de universo podría ser un sistema.

### 2.4 Entropía

El caos o grado de desorden que existe en la naturaleza se conoce como entropía. Esquemáticamente, la entropía es el progreso para el desorden inherente de un sistema o su destrucción. Según este principio, el Universo se hace más desordenado a cada instante, y existirá un deterioro inexorable y general hacia el caos (Césarman, 1974).

Por otra parte, el concepto de entropía, cercano al de información, y asociado con el caos, tuvo origen en la termodinámica, en cuanto al contenido de información es función del inverso de las probabilidades de los eventos del espacio muestral, y la entropía es el promedio o valor esperado de dicha información (Montenegro, 2011).

## 3. DATOS Y METODOLOGÍA

### 3.1 Datos

Este estudio analiza la información de los indicadores propuestos por la Comisión de Desarrollo Sostenible (CSD) en la guía metodológica de propuesta por Naciones Unidas (United Nations, 2007). Dicha propuesta presenta un conjunto de 96 indicadores que permiten una evaluación amplia del desarrollo sostenible. De éstos, 50 indicadores cumplen tres criterios específicos: 1) cubren temas relevantes para el desarrollo sostenible, 2) proporcionan información crítica; y, 3) son calculados con información disponible en cada país. Estos criterios permiten calificar a los indicadores manejables o base (United Nations, 2007). Los indicadores restantes se denominan indicadores relevantes mismos que son utilizados para ampliar los estudios de desarrollo sostenible.

En el caso de Ecuador se analiza la información de 35 indicadores manejables donde el 74,29% son indicadores base y el 25,71% son indicadores relevantes. Así, 6 indicadores corresponden al subsistema ambiental, 12 indicadores al subsistema social, y 17 indicadores son parte del subsistema económico. La información sobre los indicadores en el período 2008-2015 tiene una periodicidad anual y proviene de fuentes como la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), el Banco Mundial, el Ministerio del Ambiente, el

Ministerio de Turismo, el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), y el Banco Central del Ecuador (BCE).

### 3.2 Metodología

La toma de decisiones por criterios múltiples se ha incrementado en investigaciones relacionadas a la economía, en los últimos años. Particularmente, con énfasis en investigación operativa y desarrollo sostenible (Zavadskas & Turskis, 2011).

El principal objetivo de las decisiones multicriterio es el permitir la toma de decisiones a través de las interacciones entre varios factores. Esto permite acercar el análisis a la realidad (Aznar Bellver & Guijarro Martínez, 2012a).

Simon (1955), analiza la complejidad de las organizaciones actuales, en donde los individuos quieren una toma de decisiones múltiples e incluso incompatibles, buscando la satisfacción de sus necesidades. Moreno- Jiménez (1996, pág. 6) define esta toma de decisiones como:

“Se entiende por decisión multicriterio, el conjunto de aproximaciones, métodos, modelos, técnicas y herramientas dirigidas a mejorar la calidad integral de los procesos de decisión seguidos por los individuos y sistemas, esto es a mejorar la efectividad, eficacia y eficiencia de los procesos de decisión y a incrementar el conocimiento de los mismos (valor añadido del conocimiento)”.

El uso de un método polietápico en la ponderación de los factores de decisión sugiere que todos los sistemas; y, por tanto, todos los indicadores, tengan el mismo peso (Tamayo, 2007). Sin embargo, existen varios métodos basados en la teoría de decisión multicriterio. Éstos permiten tener en cuenta aspectos intangibles de los activos a valorar, e inclusive facilitan la incorporación de la experiencia en el proceso. Entre ellos están (Aznar Bellver & Guijarro Martínez, 2012a):

- Método CRITIC.
- Método de la Entropía.
- Método de la Ordenación simple.
- Programación por metas.
- Proceso Analítico Jerárquico, etc.

De esta forma, en lugar de que cada subsistema a analizar (económico, social y ambiental) tenga un peso de 0.33 (Tamayo, 2007); el análisis del peso de los indicadores en el Desarrollo Sostenible para el caso Ecuatoriano emplea el Método de Coeficientes de Peso de la Entropía (EWCM). Este método asigna pesos (ponderación) a los criterios empleados, de manera objetiva, mediante el grado de diversidad de la información.

La aplicación de dicho método requiere la normalización de los datos, puesto que los indicadores poseen diferentes unidades de medida, lo que puede afectar sensiblemente los datos; por lo que se recomienda tener una escala para la comparación (Vafaei et al., 2016).

#### 3.2.1 Normalización por suma

Se calcula la contribución del  $i$ -ésimo indicador en la  $j$ -ésima muestra (años). Así, la normalización por suma de la matriz  $X_{m \times n}^*$ , se define por la siguiente ecuación:

$$Y_{ij} = \frac{x_{ij}^*}{\sum_{i=1}^m x_{ij}^*} \quad (1)$$

La matriz  $Y_{ij}$  se presenta como:

$$Y_{m \times n} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{m1} & Y_{m2} & \dots & Y_{mn} \end{bmatrix}$$

#### 3.2.2 Método de la entropía

La entropía juega un papel importante en la teoría de la información, la cual muestra medidas de información, elección e incertidumbre (Shannon, 1948). La entropía ( $H$ ) es una formulación de la mecánica estadística. Su fórmula se presenta de la siguiente manera:

$$H_i = -K \sum_{j=1}^n a_{ij} \log(a_{ij})^2 \quad (2)$$

Donde  $K$  es una constante positiva y es afectada por el número de los objetos evaluados ( $n$ ). La constante se determina mediante la fórmula 3:

$$k = \frac{1}{\log(n)} \quad (3)$$

La entropía es una medida acotada entre 0 y 1, es decir  $0 \leq H_i \leq 1$ .

En la teoría de la información, en un sistema donde existe un desorden total, la entropía es máxima, es decir  $H_i = 1$  todos los estados posibles son equiprobables. Mientras que en un sistema con un orden total la entropía es igual a 0, por tanto existe 0 incertidumbre (Montenegro, 2011).

Para la obtención de  $a_{ij}$  se define la siguiente ecuación (4), que también es una normalización por suma, la cual indica la contribución del  $i$ -ésimo indicador en el  $j$ -ésimo año (Aznar Bellver & Guijarro Martínez, 2012c):

$$a_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sum_{i=1}^m d_{ij}} \quad (4)$$

Donde  $a_{ij}$  equivale a una proporción donde  $\sum a_{ij} = 1$  y  $0 \leq a_{ij} \leq 1$

Los valores para utilizar en el método de entropía se representan como se muestra en la siguiente matriz:

<sup>2</sup> (Aznar Bellver & Guijarro Martínez, 2012b)

$$[a_{ij}] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & \ddots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \dots & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

El verdadero valor del indicador denominado variación de la evaluación del indicador depende de la diferencia entre el coeficiente  $D_i$  y 1 (Wang et al., 2015), que se obtiene mediante la ecuación (5):

$$D_i = 1 - H_i \quad (5)$$

En el método de la entropía, si el valor de la ecuación (5) es baja (cercana a 0), significa que la variación de la evaluación del indicador es alta, es decir, el indicador es importante. Y, en el caso contrario, el indicador reflejará poca importancia (Zhao et al., 2017).

Finalmente, se normaliza  $D_i$  mediante normalización por la suma<sup>3</sup> y se obtienen las ponderaciones para cada criterio o indicador. Para determinar los pesos o ponderación de los indicadores se establece la ecuación (6).

$$w_i = \frac{D_i}{\sum_{i=1}^m D_i} \quad (6)$$

Donde  $w_j$  debe satisfacer la condición  $0 \leq w_i \leq 1$  y  $\sum_{i=1}^m w_i = 1$ .

De esta forma, el método aplicado permite evaluar en primera instancia la normalización de los datos. Seguido con el planteamiento de la entropía de la información, donde se determinan los pesos de cada indicador.

Para la evaluación del Desarrollo Sostenible, a nivel de sistema y subsistema, Wang (2015) plantea un indicador que este trabajo denomina Indicador de Desarrollo Sostenible (IDS) y se obtiene mediante la ecuación (7):

$$f_j = \sum_{i=1}^m f_{ij} \quad (7)$$

El aumento de este indicador muestra un mayor Desarrollo Sostenible, y viceversa. Definido como Índice Multicriterio mediante la ecuación (8):

$$f_{ij} = w_i * d_{ij} \quad (8)$$

Donde  $d_{ij}$  son los valores obtenidos por mínimos y máximos.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

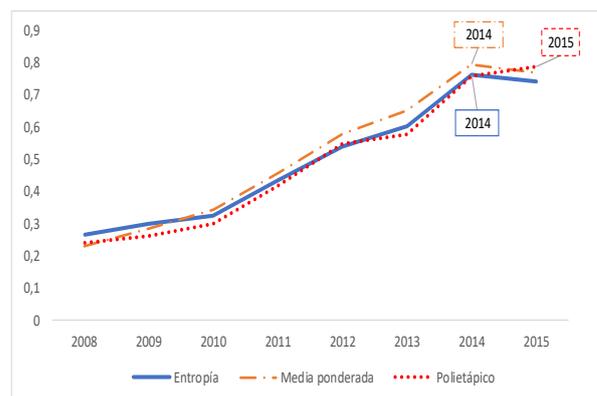
##### 4.1 Resultados del Sistema General

En la Tabla 1 se pueden apreciar los pesos de los indicadores de Desarrollo Sostenible del sistema general o total. Estos se encuentran entre 1,62% y 4,84%. De esta forma, se pueden comparar los resultados con los del método polietápico<sup>4</sup>.

**Tabla 1.** Pesos de los Indicadores de Desarrollo Sostenible en el Sistema

Indicador	Peso	Indicador	Peso
PIB per cápita	0,04	Pobreza extrema nacional	0,03
Formación bruta de capital	0,02	Saneamiento	0,02
Ahorro neto ajustado	0,02	Fuente de agua mejorada	0,03
Tasa de inflación	0,01	Hogares sin electricidad	0,02
Saldo de la deuda externa	0,03	Homicidios intencionales	0,05
Tasa de empleo bruta	0,04	Tasa de mortalidad de menores de cinco años	0,02
Empleo vulnerable	0,03	La esperanza de vida	0,03
Uso de Internet	0,02	Tasa neta de matrícula en educación primaria	0,02
Telefonía fija	0,02	Nivel de escolaridad secundaria de adultos	0,03
Telefonía celular móvil	0,03	Tasa de alfabetización de adultos	0,03
Turismo/PIB	0,03	Crecimiento de la población	0,03
Saldo en cuenta corriente	0,04	(CO2), per cápita	0,03
Inversión extranjera directa	0,03	Consumo (SAO)	0,03
Remesas de trabajadores	0,05	Tierra agrícola	0,03
Energía renovable del total de consumo final de energía	0,03	Área de tierra cubierta por bosques	0,03
Intensidad energética	0,02	Área marina protegida	0,03
Consumo de energía	0,02	Área terrestre protegida	0,02
Pobreza nacional	0,03		

Como se observa en la Figura 2, al aplicar el Método de Coeficientes de Peso de la Entropía (EWCM), ordenados de mayor a menor, los tres mejores años en cuanto a Desarrollo Sostenible ecuatoriano son 2014, 2015 y 2013. Los mismos resultados son válidos al emplear una media ponderada en los indicadores. Mientras que, al aplicar el método polietápico, el orden de los mejores años para el Desarrollo Sostenible en Ecuador son los años 2015, 2014 y 2013.



**Figura 2.** Evolución del sistema considerando los pesos de los indicadores

Según Gallopín (2006), un país tendrá un Desarrollo Sostenible cuando cumpla con todas las dimensiones que lo componen. En tal virtud, sería deseable que las tres dimensiones analizadas (económica, social y ambiental) posean un valor igual. Sin embargo, los resultados muestran que el Subsistema Ambiental demanda mayor intervención

<sup>3</sup> (Aznar Bellver & Guijarro Martínez, 2012b)

<sup>4</sup> Método que sugiere que todos los sistemas tengan el mismo peso.

para alcanzar el nivel de referencia, a pesar de los avances logrados.

#### 4.2 Sistema Económico

En la Tabla 2 se muestra que las cuestiones relacionadas con el Desarrollo Económico, a través del EWCM, superan el peso determinado por el Método polietápico. Al contrario de lo que ocurre con la asociación económica global y el patrón de consumo y producción.

Esto es el reflejo de una economía ecuatoriana sustentada en la producción de materias primarias, mayoritariamente. Por ejemplo, históricamente, la economía del país ha estado marcada por la exportación de productos como el cacao, el banano y el petróleo. Además, las medidas adoptadas por los Estados Unidos y Europa ante la crisis del año 2008 trajeron consecuencias para todos los países con los que tenían negocios (Acosta & Serrano, 2009), Ecuador entre ellos.

**Tabla 2.** Pesos de temas subtemas e indicadores del subsistema económico

Temas	Subtemas	Pesos	Indicadores	Pesos
Desarrollo Económico. 0,60 [0,33]	Desempeño Macroeconómico.	0,181 [0,667]	PIB per cápita.	0,759 [0,167]
			Formación bruta de capital.	0,413 [0,167]
			Ahorro neto ajustado.	0,336 [0,167]
			Tasa de inflación.	0,297 [0,167]
	Finanzas Públicas Sostenibles.	0,544 [0,667]	Saldo de la deuda externa.	0,544 [0,667]
			Tasa de empleo bruta.	0,799 [0,333]
	Empleo.	0,145 [0,667]	Empleo vulnerable.	0,651 [0,333]
			Personas que usan Internet.	0,501 [0,222]
	Información y tecnología de comunicación.	0,159 [0,667]	Suscripciones a telefonía fija.	0,474 [0,222]
			Suscripciones a telefonía celular móvil.	0,614 [0,222]
Contribución del turismo en el PIB.			0,599 [0,667]	
Saldo en cuenta corriente.			0,820 [0,1667]	
Asociación económica global. 0,24 [0,33]	Comercio.	0,820 [0,167]	Inversión extranjera directa.	0,577 [0,833]
	Financiamiento externo.	0,163 [0,167]	Remesas de trabajadores.	0,105 [0,833]
Patrón de consumo y producción. 0,16 [0,33]	Uso de la energía.	0,157 [0,33]	Porcentaje de energía renovable respecto al total de consumo final de energía.	0,664 [0,111]
			Intensidad energética.	0,426 [0,111]
			Consumo de energía.	0,476 [0,111]

[ ] Pesos obtenidos mediante el método Polietápico.

Hacia el año 2009, Ecuador implementó políticas económicas y sociales para atenuar la crisis. Entre ellas, el establecimiento de estímulos fiscales para la obtención de préstamos y el aumento del gasto en educación y salud (Ray & Kozameh, 2012).

Ese año se registra un decrecimiento debido a la baja de los ingresos nominales de las exportaciones petroleras en un 41%,

aproximadamente. Pero, se puede observar un ascenso en la exportación de productos no petroleros por lo que la economía total no tiene un declive notorio (Banco Central del Ecuador, 2012).

Al no ser una economía con moneda propia, Ecuador puso como medida de defensa, salvaguardias por balanzas de pagos. Éstas afectaron inclusive a los países con los que se tienen acuerdos comerciales (CEPAL-Naciones Unidas, 2009). De esta forma, adicional al arancel nacional, se aplicaron un recargo ad-valorem (entre el 30% y el 35%) a productos del tipo: azucarados, confitería, bebidas alcohólicas, artículos electrónicos, juguetes y otros. Además, un recargo específico (entre 10 y 12 dólares por unidad de medida) a productos correspondientes a los sectores: textil, calzado y cerámica. Y, se establecieron cuotas, limitando el valor de las importaciones de mercancías (a un cupo entre 65% y 70% de CIF<sup>5</sup>) en productos como galletas, preparados y congelados alimenticios varios, perfumes y aguas de tocador, entre otros (COMEXI, 2009).

Por su parte, las características de la formación bruta de capital, el consumo privado y las exportaciones en el año 2010, determinaron los pesos más bajos en el sistema económico. Además, ese mismo año, Ecuador registró una deflación relacionada con la política de promoción de precios de la oferta y la provisión de productos agrícolas; y, mayores tasas de empleo (Banco Central del Ecuador, 2010).

En el año 2011 existió un crecimiento determinado, en gran parte, por el aumento acelerado en el sector de construcción que abarcará alrededor del 40% del Producto Interno Bruto (PIB) total. Crecimiento relacionado con la existencia de programas de vivienda y préstamos hipotecarios (Ray & Kozameh, 2012).

Posteriormente, en el año 2012, el gasto público aumentó; y, también, la deuda externa. Esto puso en riesgo la Balanza de pagos con un saldo en cuenta corriente que permanecía negativo.

En 2013, Ecuador tuvo un crecimiento en PIB de 4,5%, logrando ubicarse entre los mejores resultados económicos de América del Sur. Este crecimiento estuvo determinado por las exportaciones de productos no petroleros, que representaron para dicho año el 85,4% de total del PIB (Banco Central del Ecuador, 2014).

La economía ecuatoriana en el año 2014 se posicionó entre las 4 mejores del sur del continente americano, con un crecimiento de 3,8% en el PIB; superando a Perú, México y Chile. Este crecimiento estuvo definido por el crecimiento del gasto de consumo final de los hogares, las exportaciones y las inversiones.

Para el año 2015, la economía ecuatoriana tuvo un crecimiento de 0,2% respecto al año anterior, esto gracias al gasto de consumo final del gobierno general, mientras que la formación bruta de capital tuvo una caída. Pero, la inversión privada creció, justificada por la adquisición de activos fijos. Sin

<sup>5</sup> CIF (acrónimo del término en inglés Cost, Insurance and Freight, «Coste, seguro y flete, puerto de destino convenido»)

olvidar que, a partir del año 2014, el dólar sufrió una depreciación, y el precio de petróleo bajó.

### 4.3 Subsistema Social

Dentro del subsistema social, los temas de pobreza y educación tienen un mayor aporte: 39,32% y 23,14%, respectivamente. Cuestiones como Gobernanza 14,19%, Salud 14,79% y Demografía 8,56%, también se pueden apreciar en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Pesos de temas subtemas e indicadores del subsistema Social

Temas	Subtemas	Pesos	Indicadores	Pesos
Pobreza. 0,393 [0,20]	Pobreza de ingresos.	0,179 [0,5]	Proporción de la población que vive por debajo del umbral de pobreza nacional.	0,888 [0,25]
			Proporción de la población que vive por debajo del umbral de pobreza extrema nacional.	0,906 [0,25]
	Saneamiento.	0,717 [0,5]	Proporción de la población que utiliza una instalación de saneamiento mejorada.	0,717 [0,5]
	Agua potable.	0,735 [0,5]	Proporción de la población que utiliza una fuente de agua mejorada.	0,735 [0,5]
Acceso a la energía.	0,687 [0,5]	0,687 [0,5]	Proporción de hogares sin electricidad u otros servicios modernos de energía.	0,687 [0,5]
			Número de homicidios intencionales.	0,1419 [0,20]
Gobernanza. 0,1419 [0,20]	Crimen.	0,142 [0,20]	Tasa de mortalidad de menores de cinco años.	0,664 [0,10]
Salud. 0,1479 [0,20]	Mortalidad.	0,1479 [0,20]	La esperanza de vida al nacer.	0,815 [0,10]
			Tasa neta de matrícula en educación primaria.	0,626 [0,5]
Educación. 0,231 [0,20]	Nivel de Educación.	0,1565 [0,10]	Nivel de escolaridad secundaria de adultos.	0,938 [0,5]
			Tasa de alfabetización de adultos.	0,749 [0,10]
Demografía. 0,856 [0,20]	Población.	0,856 [0,20]	Crecimiento de la población.	0,856 [0,20]

[ ] Pesos obtenidos mediante el método Polietápico.

A partir del año 2009, indicadores como la proporción de la población que vive por debajo del umbral de pobreza nacional y la proporción de la población que vive por debajo del umbral de pobreza extrema nacional, disminuyeron. Esto se ha atribuido, en parte, a programas como el Bono de Desarrollo Humano.

Otra de las medidas adoptadas fue el impulso a la revolución productiva, del trabajo y el empleo. Y, a través de los años, la planificación estuvo a cargo de instituciones como la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES), el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGAP), el Ministerio de Inclusión Económica y Social (MIESS), entre otras.

Entre las medidas para erradicar la pobreza, el proporcionar servicios básicos a la población es prioritario. Indicadores como la proporción de la población que utiliza una instalación de saneamiento mejorada y proporción de la población que

utiliza una fuente de agua mejorada han aumentado, mientras que el indicador proporción de hogares sin electricidad u otros servicios modernos de energía ha disminuido.

Para la sociedad, uno de los temas que genera mayor preocupación es el de criminalidad. Este se considera para el cálculo del peso del Subsistema Social. Así, el número de homicidios intencionales por cada 100.000 habitantes ha disminuido en un 11,5% en el periodo de estudio.

En lo relativo a la salud, la Constitución ecuatoriana especifica que ésta es rol y responsabilidad del Estado, el cual garantizará su universalidad y gratuidad. Este estudio emplea indicadores como tasa de mortalidad de menores de cinco años y la esperanza de vida al nacer en la medición de la salud.

En el año 2010, se aprobó la Ley Orgánica de Participación Ciudadana. Ésta tuvo repercusión en el reconocimiento de los derechos de la sociedad. A partir de ella, se dividieron las competencias en salud para un mejor control y cumplimiento, dando papeles a cada uno de los siguientes sistemas:

- Nivel central: políticas
- Gobiernos municipales: Planificación, construcción y mantenimiento infraestructural de las casas de salud.
- Distritos Metropolitanos Autónomos: Planificación, construcción y mantenimiento infraestructural de las casas de salud.

Con el pasar de los años se han implementado distintos programas de salud pública para la prevención de enfermedades y el cuidado de los más pequeños; y, la garantía del cuidado prenatal. Entre las iniciativas implementadas se encuentran:

- Desnutrición cero.
- Modelo de Atención Integral de Salud.
- Atención Primaria de Salud Renovada.
- “Ecuador saludable, Vuelvo a ti”, entre otros.

Además, el gobierno ecuatoriano se enfocó, en gran parte, en la educación. La mejora en este Subsistema se dio a través de la alfabetización de la población y la educación gratuita. Los indicadores: nivel de escolaridad secundaria de adultos (terciaria) y tasa de alfabetización de adultos aumentaron. Así, la tasa de alfabetización en adultos llegó al 99,1%, en 2015.

### 4.4 Sistema Ambiental

Ecuador fue parte de la primera reunión en la que se planteó el Desarrollo Sostenible en el año 1972. Este sería el punto de partida para la concepción de un desarrollo amigable con el Medio Ambiente. Sin embargo, al ser un país productor de materias primas, las medidas implementadas no podían ser muy efectivas, sobre todo, por la dependencia económica del país de las extracciones de petróleo, las minas y la explotación agrícola.

A partir del año 2000, el país se comprometió con el cumplimiento de las metas planteadas por los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), para lograr un desarrollo económico, social y ambiental, a la vez. Además, en el año

2008, Ecuador constitucionalizó al Medio Ambiente, lo que propició el crecimiento del Subsistema Ambiental.

**Tabla 4.** Pesos de temas subtemas e indicadores del subsistema Ambiental

Temas	Subtemas	Pesos	Indicadores	Pesos
Atmósfera. 0,3133 [0,25]	Cambio climático.	0,1705 [0,125]	Emisiones de dióxido de carbono.	0,1705 [0,125]
	Agotamiento de la capa de ozono.	0,1429 [0,125]	Consumo de sustancias que agotan la capa de ozono.	0,1429 [0,125]
Tierra. 0,354 [0,25]	Agricultura.	0,1838 [0,125]	Área cultivable y de cultivo permanente.	0,1838 [0,125]
	Bosques.	0,1698 [0,125]	Proporción del área de tierra cubierta por bosques.	0,1698 [0,125]
Océanos, mares y costas. 0,193 [0,25]	Ambiente marino.	0,1934 [0,25]	Proporción de área marina protegida.	0,1934 [0,25]
	Ecosistema.	0,1396 [0,25]	Proporción de área terrestre protegida, total y por región ecológica.	0,1396 [0,25]

[ ] Pesos obtenidos mediante el método Polietápico.

La Tabla 4 muestra los indicadores del subsistema ambiental. Uno de los principales indicadores para la evaluación de este Subsistema es la emisión de dióxido de carbono per cápita. No se evidencia una disminución notable de este valor durante el período de estudio.

Por su parte, el indicador sobre el consumo de sustancias agotadoras de la capa de ozono ha disminuido 59.7%. Entre las razones de esta reducción se encuentran programas como:

- Plan Nacional de Espumas.
- Restricción del uso de bromuro de metilo, sustancia agotadora de la Capa de Ozono, para fines agrícolas.
- Plan Renova Refrigeradora durante 2013 – 2016.
- Conservación del Yasuní.
- Cambio de cocinas de gas a inducción, entre otros.

Por otra parte, el indicador sobre la proporción de área marina protegida ha aumentado en el periodo de estudio en un 34%, esto gracias a las políticas tomadas para el cuidado de flora y fauna marina, sobre todo en la Región Insular.

El indicador relacionado con la tierra agrícola experimentó una disminución. Esto sería favorable para la conservación del Medio Ambiente ya que reflejaría una producción agrícola más consciente en un país de producción primaria.

Para poder disminuir el impacto de la deforestación y la expansión de la frontera agrícola, Ecuador implementó programas como: “Programa Socio – Bosque” y el “Programa Nacional de Forestación y Reforestación”; con el objetivo principal de reforestar 1 millón de hectáreas en 20 años (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2011).

Finalmente, los indicadores sobre la proporción del área de tierra cubierta por bosques y la proporción de área terrestre protegida no muestran cambios llamativos. Esto obedece, en gran parte, a que el país cuenta con protección a sus bosques y áreas protegidas desde mucho antes del periodo de estudio.

## 5. CONCLUSIONES

Este artículo muestra la situación de Ecuador en materia de Desarrollo Sostenible de una manera objetiva. Además, constituye una base informada para el fomento de cada dimensión del Desarrollo Sostenible.

La aplicación del Método de Coeficientes Ponderados de Entropía (EWCM) es una deducción de la teoría de la información. De esta forma, aquellos indicadores que muestran una alta variación, presentan mayor nivel de información implementada en un evento (política o programa) determinado. Caso contrario, cuando la información es deficitaria o inexistente, los eventos serán equiprobables.

Del análisis se desprende que, el peso que tiene el Subsistema Económico es mayor que el de los sistemas Social y Ambiental en la consecución de un Desarrollo Sostenible. Los logros del subsistema sistema económico se reducen hasta el año 2015, mientras mejoran los resultados de los subsistemas Social y Ambiental. Esto da una visión general de la búsqueda del Desarrollo Sostenible, brindando mayor importancia a la naturaleza y al ser humano.

Durante el periodo analizado, dentro del subsistema Social, Ecuador brindó mayor atención a áreas como: la educación, la salud, y la equidad y redistribución de la riqueza. Estos temas alcanzaron una mayor ponderación dentro de dicho Subsistema.

Por su parte, el Subsistema Ambiental refleja que gran parte de los bosques y páramos se encuentran amenazados por la minería industrial y la extracción de materias primas. Sin embargo, Ecuador eleva a interés público la preservación del ambiente y, por tanto, la preservación de la flora y fauna.

## REFERENCIAS

- Acosta, A., & Serrano, A. (2009). *Ecuador frente a la crisis económica*. 17.
- Aznar Bellver, J., & Guijarro Martínez, F. (2012a). *Nuevos métodos de valoración: Modelos multicriterio*. Universitat Politècnica de València.
- Banco Central del Ecuador. (2010, junio). *Evolución de la Economía Ecuatoriana*. [https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorReal/Previsiones/IndCoyuntura/EvolucionEconEcu\\_06-10.pdf](https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorReal/Previsiones/IndCoyuntura/EvolucionEconEcu_06-10.pdf)
- Banco Central del Ecuador. (2014, abril 19). *La economía ecuatoriana tuvo un crecimiento anual de 4.5% en 2013*. <https://www.bce.fin.ec/index.php/archivo/item/623-la-econom%C3%ADa-ecuatorial-tuvo-un-crecimiento-anual-de-45-en-2013>
- Banco Central del Ecuador, D. G. de E. (2012). *La Economía Ecuatoriana Luego de 10 años de Dolarización*. <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Publicacion>

- esNotas/Notas/Dolarizacion/Dolarizacion10anios.pdf
- Beléndez, A. (2017). Termodinámica. <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/95267/1/FFI-I-Termodinamica.pdf>
- CEPAL-Naciones Unidas. (2009). *Estudio económico de América Latina y el Caribe*.
- COMEXI (2009). Resolución 466. <http://intranet.comunidadandina.org/Documentos/DIinformativos/SGdi914.pdf>
- Césarman, E. (1974). *Hombre y entropía* (Editorial Pax-México).
- Gallopín, G. C. (2006). *Sostenibilidad del Desarrollo en América Latina y el Caribe: Cifras y tendencias Honduras*. 51.
- Martínez, M. (2018, diciembre). *Documentación de la ONU: Medio ambiente* [Guía de investigación]. [//research.un.org/es/docs/environment/conferences](http://research.un.org/es/docs/environment/conferences)
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2011). *Segundo informe nacional para el convenio sobre la diversidad biológica*. 177.
- Montenegro, Á. (2011). Información Y Entropía En Economía. *Revista de Economía Institucional*, 13(25), 23.
- Moreno-Jiménez. (1996). *Metodología Multicriterio en el Plan Nacional de Regadíos*.
- Müller, E. A. (2002). *Termodinámica básica*. Kemiteknik.
- Naciones Unidas. (1997, septiembre 19). *Resolución aprobada por la asamblea general*. <https://undocs.org/es/A/RES/S-19/2>
- Ray, R., & Kozameh, S. (2012). *La economía de Ecuador desde 2007*. <http://cepr.net/documents/publications/ecuador-espanol-2012-05.pdf>
- Shannon, C. E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*, 27(3), 379–423. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>
- SIMON H. (1955). *A Behavior Model of Rational Choice*. Quarterly Journal of Economics.
- Tamayo, G. (2007). *Diseños muestrales en la investigación*. 4(7), 14.
- United Nations (Ed.). (2007). *Indicators of sustainable development: Guidelines and methodologies* (3rd ed). United Nations.
- Vafaei, N., Ribeiro, R. A., & Camarinha-Matos, L. M. (2016). Normalization Techniques for Multi-Criteria Decision Making: Analytical Hierarchy Process Case Study. En L. M. Camarinha-Matos, A. J. Falcão, N. Vafaei, & S. Najdi (Eds.), *Technological Innovation for Cyber-Physical Systems* (Vol. 470, pp. 261–269). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-31165-4\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-319-31165-4_26)
- Wang, Q., Yuan, X., Zhang, J., Gao, Y., Hong, J., Zuo, J., & Liu, W. (2015). Assessment of the Sustainable Development Capacity with the Entropy Weight Coefficient Method. *Sustainability*, 7(10), 13542–13563. <https://doi.org/10.3390/su71013542>
- Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2011). Multiple Criteria Decision Making (Mcdm) Methods in Economics: An Overview / Daugiatiksliai Sprendimų Priėmimo Metodai Ekonomikoje: Apžvalga. *Technological and Economic Development of Economy*, 17(2), 397–427. <https://doi.org/10.3846/20294913.2011.593291>
- Zhao, X., Guo, H.-T., Huang, C.-L., & Zhong, J.-S. (2017). Teaching evaluation system research based on structure entropy weight method. *Journal of Discrete Mathematical Sciences and Cryptography*, 20(1), 179–191. <https://doi.org/10.1080/09720529.2016.1178915>

## BIOGRAFÍAS



**Margarita Belén Escola Brito** nació en Otavalo (Ecuador), el 5 de marzo de 1993. Es Ingeniera en Ciencias Económicas y Financieras de la Escuela Politécnica Nacional (Ecuador). Conocimientos en análisis de datos. Asistente administrativa y de investigación en proyectos de desarrollo y consultorías.



**María José Palma Almendáriz** nació en Quito (Ecuador), el 7 de mayo de 1993. Es Ingeniera en Ciencias Económicas y Financieras de la Escuela Politécnica Nacional (Ecuador). Conocimientos en análisis de datos. Asistente administrativa y de investigación en proyectos sobre desarrollo y consultorías.



**Silvia González** es Doctorando de la Universidad del País Vasco (España). Master of Science in Development Evaluation and Management de la University of Antwerp (Bélgica). Ingeniera en Ciencias Económicas y Financieras de la Escuela Politécnica Nacional (EPN). Profesora titular de la EPN desde 2014. Miembro del Departamento de Economía

Cuantitativa de la EPN. Ha realizado actividades de dirección y colaboración en proyectos de investigación sobre desarrollo, migración, y género; y, organización de congresos y seminarios.



**Eduardo Ávalos** es Doctor en Física de la Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro (PUC-EPN) (Brasil) e ingeniero de la Escuela Politécnica Nacional (EPN). Coordinador de la Red Fotónica Brasil – Ecuador. Premio EPN a la Mejor Investigación 2019, y reconocimiento a mejor profesor. Fue Director de Investigación de la EPN, Decano de la

Facultad de Ciencias, y Director de la Escuela de Ciencias de la Escuela Politécnica Nacional, profesor invitado en la Universidad Católica de Rio de Janeiro, ESP, UFSaoCar Sao Paulo Brasil, coordinador de la REDU. Actualmente es profesor de la Escuela Politécnica Nacional a tiempo completo y se encuentra a cargo del laboratorio de UAV's y Aplicaciones Ópticas.



# Análisis de la Tensión Interfacial Entre Dos Fluidos Inmiscibles con el Uso de Cuatro Surfactantes (Catiónico, No-Iónico), de la Arena Productora U Inferior del Campo Pindo

Celi, Jonathan <sup>1,\*</sup> ; Gómez, Franklin <sup>1</sup> ; Enríquez, Bolívar <sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería en Geología y Petróleos, Quito, Ecuador  
<sup>2</sup>Universidad Central del Ecuador, Facultad en Geología, Minas Petróleos y Ambiental, Quito, Ecuador

**Resumen:** La aplicación de recuperación mejorada puede incrementar el factor de recobro en más de un 20% después de aplicar recuperación primaria y secundaria. Para recuperar ese petróleo remanente de los reservorios se puede inyectar fluidos con surfactantes, lo cual está dentro de la recuperación terciaria. En este trabajo, se examina las tensiones interfaciales y superficiales con el uso de cuatro surfactantes comerciales en diferentes concentraciones. Generando curvas para analizar la tensión interfacial entre dos fluidos inmiscibles (agua de inyección con surfactante y petróleo). La investigación se desarrolló en tres fases. En la primera, se analizaron las propiedades del agua (salinidad y concentración de sólidos disueltos), surfactante (pH y el análisis de espectrometría infrarroja) y petróleo (BSW y API). En la segunda fase se midieron las tensiones superficiales (TS) en una mezcla de agua de formación y surfactante a diferentes concentraciones para obtener la concentración micelar crítica (CMC), y en la tercera fase la medición de tensiones interfaciales (IFT) en los dos fluidos inmiscibles. Es decir, una mezcla de agua de inyección, surfactante y petróleo del campo Pindo. Las muestras de fluidos fueron proporcionadas por Petrosud Petroriva. Con los resultados, se procedió a generar curvas de Tensión superficial e interfacial Vs Concentración. El surfactante HALMX152805-2 de tipo no iónico con grupos funcionales de Alquil e Hidróxilo a una concentración del 0.3% en peso, tuvo la mayor reducción tanto en la CMC e IFT.

**Palabras claves:** Concentración Micelar Crítica, Espectrometría Infrarroja, Inmiscibles, Surfactante, Tensión Interfacial

## Analysis of the Interfacial Tension Between Two Immiscible Fluids with the Use of Four Surfactants (Cationic, Non-Ionic), From the "Ui" Producing Sand of the Pindo Field

**Abstract:** The application of enhanced oil recovery can increase the recovery factor by more than 20%, after the use of primary and secondary recovery. For the recuperation of this remnant oil inside the reservoirs, it can inject fluids with a surfactant, which is inside of enhanced oil recovery. This research was conducted to examine the interfacial and superficial tensions with the use of four commercial surfactants in different concentrations. Generating curves to analyze the variation of interfacial tension between two immiscible fluids (injection water with surfactant and petroleum). This work was developed in three phases. In the first one, were analyzed the properties of water (salinity and concentration of dissolved solids), surfactant (pH and infrared spectrometry), and petroleum (API). In the second phase, the superficial tension (ST) was measured in a mixture of injection water and surfactant at different concentrations in order to obtain their critical micellar concentration (CMC). Finally, in the third phase, the measurement of interfacial tensions (IFT) in a mixture of the immiscible fluids. That is a mixture of injection water, surfactant, and oil from the Pindo field. Fluid samples were provided by Petrosud Petroriva company. With the results, it was proceeded to generate curves of superficial and interfacial tension Vs concentration. The surfactant HALMX152805-2, which is a nonionic type with functional groups of alkyl and hydroxyl with 0,3% of weight concentration, had the greatest reduction in both CMC and IFT.

**Keywords:** Immiscible, Infrared Spectroscopy, Interfacial Tension, Micelar Critical Concentration, Surfactant.

### 1. INTRODUCCIÓN

En Ecuador se han buscado soluciones para cubrir la demanda diaria de petróleo por falta de nuevos pozos o por el declive de la producción de los reservorios depletados (Morales, 2010). La extracción de petróleo de un yacimiento se realiza en tres

etapas de recuperación. Con la recuperación primaria se llega a extraer hasta un 24% de petróleo de un reservorio (Bolívar, et al., 2017). La recuperación secundaria mediante la inyección de agua o gas, permite aumentar el factor de recobro hasta un 15% adicional al de la recuperación primaria (Bolívar, et al., 2017). Finalmente, se pueden realizar trabajos de

\*jonathanceli@hotmail.com  
Recibido: 06/11/2019  
Aceptado: 23/03/2021  
Publicado: 31/05/2021  
10.33333/rp.vol47n2.03  
CC BY 4.0

recuperación terciaria, utilizando métodos como la inyección de químicos o trabajos térmicos. De esta manera se puede recuperar hasta un 20% adicional del hidrocarburo, reduciendo la viscosidad del fluido y mejorando el flujo dentro del yacimiento (Abubaker, et al., 2015).

La investigación se centra en la recuperación terciaria mediante el uso de surfactantes. Y se analizaron las tensiones interfaciales en una mezcla de petróleo y agua de inyección con surfactantes.

Los surfactantes son sustancias químicamente compuestas de moléculas anfifílicas con una parte polar positiva o negativa y la otra no polar (Salager, et al., 2007). El uso de surfactantes ha tenido éxito por su menor costo en comparación a la recuperación térmica, ya que al usar bajas concentraciones en rangos de 0,1% a 0,3% en peso se puede reducir la adsorción del surfactante adicionado y evitar la creación de emulsiones. El objetivo de los surfactantes es disminuir la acción de las fuerzas intermoleculares y aumentar la movilidad de los fluidos dentro del yacimiento (Chuck y Trombetta, 2007). Para inyectar estos químicos dentro del pozo es necesario analizar qué tipo de surfactante se utilizará, puesto que existen cuatro clases, que son: aniónicos, catiónicos, no iónicos y anfotéricos (Salager, 2002). Cada surfactante tiene diferentes tipos de grupos funcionales y para identificarlos es necesario realizar un análisis de espectro infrarrojo (IR). El IR consiste en la interacción entre la radiación infrarroja y las moléculas existentes dentro del fluido, determinando así las longitudes de onda que tiene cada molécula (Macho, 2002).

Inicialmente se analizaron propiedades como: los sólidos disueltos, la salinidad del agua de inyección y el porcentaje de agua y sedimentos BSW (por sus siglas en Inglés Basic Sedimental Water) contenidos en el hidrocarburo. Posteriormente, se realizaron ensayos de tensión superficial (TS) en una mezcla de agua de inyección con surfactante, con el objetivo de determinar la concentración micelar crítica (CMC), que es la mínima cantidad de surfactante para la formación de micelas (Novelo y Fadrique, 2005), y la CMC fue corroborada con la medición de la conductividad. A continuación, se llevó a cabo pruebas de Tensión Interfacial (IFT) con un tensiómetro de anillo Du Nouy, que mide la fuerza que ejerce entre las fases líquido – líquido o gas – líquido (Salager, 2005).

Finalmente, con las mediciones obtenidas se generaron diferentes curvas, mostrando así, que el surfactante comercial HALMX152805-2 (no iónico del grupo alquil) presenta una mayor reducción en la tensión interfacial. Los ensayos de laboratorio se realizaron a condiciones de presión de 0,708 atm y una temperatura de 68 °F. Para condiciones de yacimiento donde presiones y temperaturas pueden llegar a niveles extremos, los valores de la CMC van a variar debido a que la solubilidad tiende a aumentar y por consiguiente la IFT (Salager, 1993).

## 2. MARCO TEÓRICO

En la provincia de Orellana a una distancia de 150 Km de Lago Agrio y a 10 Km al oeste del campo Auca se encuentra ubicado el Campo Pindo, con un área de 6800 hectáreas (Villegas, 2013).

Los campos Pindo y Palanda Yuca Sur tienen un área aproximada de 64 Km<sup>2</sup> y 140 Km<sup>2</sup> estructuradas en: Pindo, Pindo Este, Yuca Sur, Palanda y Primavera (Rodríguez, 2015). Las arenas productoras del campo son Basal Tena, "U" superior e inferior, "T" inferior y Hollín superior e inferior.

Era	Período	Edad	Formación	Miembro	Litología	Descripción Litológica	Producción Petróleo	
MESOZOICO	CRETÁCICO	CENOM – CAMP – MAESTRICH.	TENA	Arenisca Basal Tena		Arcillas Rojas		
				Arenisca "M-1"		Areniscas Qz. Cem. calcáreo	●	
			NAPO	Arenisca M2		Arenisca Qz.	●	
				Lut. Napo Sup.	Caliza "M-1" Mansueto Caliza "M-2"	Lutitas grises oscuras y calizas micríticas		
				Caliza "A"		Arenisca Qz. glauconítica	●	
				Arenisca "U" Superior		Caliza Biomocricita Arenisca Qz. Glauconítica		
				Arenisca "U" Inferior		Arenisca Qz.		
				Caliza "B"		Calizas y lutitas gris oscuras	●	
				Arenisca T Superior		Arenisca Qz. glauconítica		
				Arenisca T Inferior		Arenisca Qz.	●	
			Lut. Napo Basal		Caliza y Lutitas grises oscuras			
			Caliza "C"					
			APT.	HOLLIN	Superior		Arenisca Qz. glauconítica	●
					Inferior (Principal)		Arenisca Qz.	●
PRE-CRETACICO								

Figura 1. Mapa estructural Campo Pindo (Fuente: Consorcio Petrosud – Petruriva, 2010)

Actualmente, el campo Pindo posee 17 pozos productores, 3 pozos reinyectores y 1 pozo inyector, con un factor de recobro del 28%, y un %BSW promedio del 0.51% (Consorcio Petrosud Petruriva, 2018-a). Las propiedades de sus fluidos están descritas en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades de los pozos Pindo 11, 13 y 17. De la arena Ui (Fuente: Consorcio Petrosud – Petruriva, 2018-b)

	Pozo		PIN 11	PIN 13	PIN-17
Agua de Formación	Na <sup>+</sup>	(mg/l)	28500	27400	25175
	Mg <sup>2+</sup>	(mg/l)	510	340	534
	Ca <sup>2+</sup>	(mg/l)	4,800	2,800	3,920
	Ba <sup>2+</sup>	(mg/l)	40	20	8
	Fe	(mg/l)	22	9	43
	Cl <sup>-</sup>	(mg/l)	53,833	48,000	47,000
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	(mg/l)	10	50	86
	Bicarbonatos (Alcalinidad)	(mg/l HCO <sub>3</sub> )	232	306	450
	Ácidos carboxílicos	(mg/l)	0.00	0.00	0.00
	TDS (Calculado)	(mg/l)	88058	79055	77253
	pH STD	---	6.21	6.25	7.00
Hidrocarburo	CO <sub>2</sub> Gas	(%)	6	3	8
	H <sub>2</sub> S Gas	(ppm)	7	10	7
	Gas/Día	(MSCFPD)	47	46	49
	CO <sub>2</sub> Agua	(mg/l)	352	352	352
	H <sub>2</sub> S Agua	(mg/l)	0.1	0.1	0.1
	Agua/Día	(BWPD)	1,862	276	608
	Oil/Día	(BOPD)	328	784	342
	Densidad API	° API	17.9	17.3	19.5

En el campo Pindo se realizan trabajos de recuperación secundaria como la inyección de agua, pero las producciones de los pozos están en declive; razón por lo que se investiga el uso de surfactantes y polímeros para su implementación esperando tener mejores resultados en el factor de recobro (Consortio Petrosud Petroriva, 2018). La producción promedio de los tres pozos se presenta en la Figura 2.

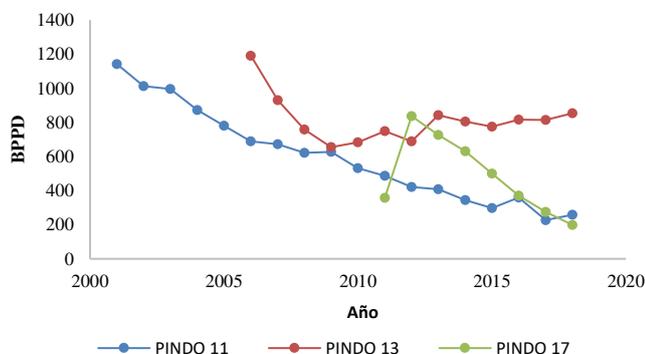


Figura 2. Promedio de producción de los pozos Pindo (Fuente: Consortio Petrosud Petroriva, 2018-d)

### 2.1 Tipos de recuperación

Un yacimiento petrolero almacena: agua, petróleo y en ciertos casos gas, estos deben estar en un medio poroso de una roca almacén, la cual puede tener un origen sedimentario de diferentes tipos como son areniscas o calizas, consolidadas o no. Llegando a alcanzar hasta un 40% en su proporción volumétrica (Salager, 2005).

Luego de la perforación, con la recuperación primaria se puede extraer hasta un 24% de petróleo (Bolívar, et al., 2017); el pozo produce a flujo natural impulsado por la diferencia de presiones, los mecanismos naturales de producción existentes son: empuje por agua, empuje por gas disuelto y la expansión del casquete de gas. Estos mecanismos se mantienen durante un tiempo hasta ver un declive en su producción causado por pérdida de presión en el yacimiento. (Schlumberger, 2018 a).

Al momento que la presión del yacimiento declina y la energía natural no es suficiente para mantener la producción, se procede a recurrir a métodos de bombeo artificial, que consiste en bajar diferentes tipos de mecanismos como el bombeo mecánico, bombeo hidráulico, gas – lift y bombeo electro sumergible (Hernández, 2008).

Terminada la recuperación primaria se procede con la secundaria que sirve para restablecer o mantener las presiones dentro del reservorio (Almeida, et al., 2015); trabajos que consisten en inyectar agua a través de un pozo inyector, aumentando la energía del yacimiento con un mecanismo de desplazamiento generando un barrido del petróleo residual y su salida es por un pozo productor; con este método se puede llegar a extraer hasta un 15% adicional en las reservas existentes dentro del yacimiento (Hernández, 2008).

Cuando los trabajos de recuperación secundaria ya no son factibles, puede existir hasta un 65% de petróleo remanente atrapado en los poros del reservorio (SNF FLOERGER, 2016). Por esta razón, se analiza la recuperación mejorada, con

propósitos, como: la restauración de la presión de la formación o mejorar el desplazamiento de fluidos dentro del yacimiento (Schlumberger, 2018 b).

La recuperación mejorada tiene dos tipos de trabajos: los métodos térmicos como la inyección cíclica o continua de vapor y la combustión in situ, y la inyección de agua con productos químicos como el método miscible (solventes, CO<sub>2</sub>, micro emulsiones), métodos de baja tensión (surfactantes), métodos alcalinos, inyección de agua viscosa (polímeros) y combinación de los tres anteriores (ASP) (Salager, 2005). Para la aplicación de cualquier método se debe realizar un estudio exhaustivo y considerar variables como el buzamiento, la profundidad, la continuidad y la cantidad de gas existente (Rondón, 2019). Otros factores que también se consideran son: temperatura, presión, permeabilidad (K), porosidad ( $\phi$ ), saturaciones de agua (Sw) y de petróleo (So), pH viscosidad y gravedad API. Estas propiedades son importantes para conocer el tipo de operación a realizar en el yacimiento (Schlumberger, 2018b).

### 2.2 Surfactantes

Los surfactantes son sustancias químicamente compuestas de moléculas anfífilas; es decir, moléculas de dos polaridades, una parte polar y la otra no polar o apolar (Salager, 2007). Cada una de estas partes actúa de diferente manera, la parte polar está compuesta de uno o varios grupos funcionales polares como el sulfato, sulfonato, ácido, fosfato, amina, alcohol, etc., y la parte apolar es una cadena de hidrocarbonada lineal o ramificada de tipo alquil o alquil benceno que en ciertos casos puede contener átomos de halógeno u oxígeno (Salager, 2002), el núcleo depende de la composición química del surfactante. Como los surfactantes poseen doble afinidad las moléculas deben satisfacer sus afinidades, la parte polar o hidrofílica debe estar en contacto con un solvente polar como el agua y la parte apolar o hidrofóbica debe estar en un solvente orgánico como el petróleo. Estas condiciones solo se las encuentra en la frontera de dos fases como pueden ser una fase condensada y una gaseosa (superficie) o en una interfase; es decir en la frontera compuesta por dos líquidos o un líquido y un sólido (Salager y Fernández, 2004).

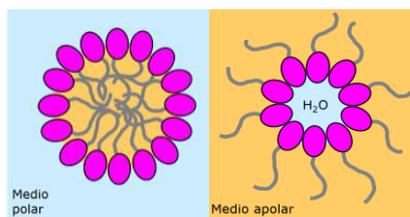
El efecto de los surfactantes es la reducción de la tensión interfacial y superficial; actuando como un detergente ya que al momento que se encuentra en la interfase o superficie disminuye la fuerza de atracción entre las moléculas que existen en un líquido sin desequilibrar el sistema (Antón, 2005).

Los surfactantes se clasifican de acuerdo a la estructura de su molécula, como son: aniónicos que en una solución acuosa se disociarán en un anión anfífilo y un catión que generalmente son metales alcalinos o un amino cuaternario (Salager, 2002). Los no iónicos en una solución acuosa no forman iones, porque su parte hidrofílica es formada por grupos polares que no estén ionizados, estos se solubilizan por un efecto mezclado de un grupo de solubilizantes débiles llamados hidrófilos como grupos funcionales que tienen en su molécula enlaces tipo éter o grupos hidroxilos (Espinoza, 2017). Los catiónicos se disocian en un catión anfífilo y un anión; se los utilizan en ciertas ocasiones cuando sea necesario que la carga positiva de

ventajas como en una emulsión asfáltica, la mayoría de estos son compuestos nitrogenados con amina grasa o sal de amonio cuaternario. La producción de estos agentes tensioactivos es más cara que los demás (Sanz, 2015). Los anfotéricos son combinados con un grupo aniónico y otro grupo catiónico, en estos surfactantes el pH determina el lado dominante una posible disociación es: Aniónico a pH alcalino, Catiónico a pH ácido. La mayoría de este tipo de surfactantes tienen grupos funcionales tipo amina o amonio, pero pueden ser bloqueado por una cuaternización (Salager y Fernández, A., 2004).

Los surfactantes afectan la tensión superficial entre un fluido y un gas porque sus moléculas debilitan las fuerzas existentes del fluido. Dentro del fluido, existen fuerzas de interacción molecular. En el interior del fluido la fuerza resultante entre moléculas es nula, y estas se encuentran en equilibrio, mientras que las moléculas en la cercanía de la superficie estarán sometidas a una fuerza resultante con dirección al interior. Finalmente, las moléculas situadas en la superficie del fluido, tendrán una fuerza dirigida hacia el interior, pero con mayor magnitud que en el caso de la cercanía a la superficie. (Franco, 2009).

Al momento que se añade surfactante a un fluido, este empieza a adsorberse a las interfaces disponibles, después su concentración en forma monomolecular aumenta hasta el punto que forman las primeras micelas (Salager, 1992). Las moléculas del surfactante van formando grupos que, en una disolución acuosa o polar, las moléculas anfifílicas forman micelas en los grupos polares que están en la superficie y las partes apolares quedan inmersas en el interior de la micela, de esta manera se eliminan los contactos entre el agua y las zonas hidrófobas, permitiendo así la solvatación de los grupos polares. Pero en un medio apolar, las moléculas anfifílicas forman micelas en los grupos apolares, que se encuentran en la superficie y las partes polares quedan inmersas en el interior de la micela, eliminando el contacto entre el medio apolar y la zona hidrofílica (Carrero y Herráez, 2012), como se muestra en la Figura 3.



**Figura 3.** Formación de Micelas medio Polar y apolar (Fuente: Carrero, I., Herráez, A., 2012)

La unión de una cantidad mínima de moléculas de un surfactante se la conoce como la concentración micelar crítica (CMC), esta concentración mínima es requerida para la formación de micelas en una disolución como se observa en la Figura 3. Esta CMC puede ser medida de diferentes maneras, como: resonancia magnética, medición de la conductividad, o por la medición de la tensión superficial (Carrero y Herráez, 2012). La CMC es una de las medidas más importantes de los surfactantes ya que la tensión superficial o interfacial depende directamente de la concentración del surfactante. Por debajo de la CMC la conductividad y la tensión superficial e interfacial aumentan mientras que sobre la CMC la

conductividad va a ser menor, las tensiones tanto superficial como interfacial van a llegar a un punto constante, la cantidad de micelas aumenta, lo que es perjudicial debido a que se puede formar emulsiones. (Novelo y Fadrique, 2005).

Los surfactantes también afectan a la tensión interfacial (IFT) entre dos líquidos, también conocida como la energía libre de Gibbs por unidad de área de la interfaz, pero depende de la temperatura y de la presión. Este es el resultado de la interacción de dos diferentes moléculas, es decir la molécula la cual está cercana a la interfaz es diferente que la del otro fluido (Schlumberger, 2018 c).

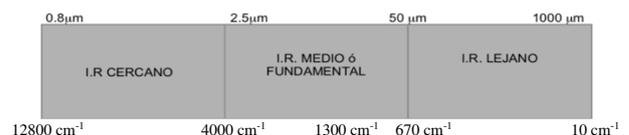
Este trabajo se centró en la medición de la tensión, tanto superficial como interfacial, por el método del anillo Du Noüy; que es el reemplazo de la placa rectangular de Wilhelmy ya que posee menos superficie de contacto al momento de interactuar con el líquido a analizar. El anillo debe tener características conocidas como el radio y su peso, de preferencia el anillo debe estar fabricado de platino o una aleación de iridio – platino (Salager, 2005).

### 2.3 Espectrometría Infrarroja (Infrared Spectroscopy)

La espectrometría infrarroja (IR) es utilizada para estudiar muestras con independencia de su estado ya sea que se encuentren como: líquidos, disoluciones, pastas, polvos, fibras, films, gases o superficies. (Serrano, 2009). El análisis IR analiza cualitativamente y cuantitativamente los grupos funcionales presentes en el material a analizar (Piqué y Vázquez, 2012.).

La espectrometría infrarroja estudia la absorción o la emisión de energía radiante originada por la interacción entre la radiación y el material a estudiar. Esta se basa en los modos normales de vibración a distintas frecuencias (Piqué y Vázquez, 2012). Es decir, al momento que una molécula absorbe energía de un haz de luz infrarroja se da una determinada transición vibracional. Se pueden distinguir dos vibraciones específicas, como: vibraciones de tensión que son los cambios en la distancia a lo largo de un enlace covalente y las vibraciones de flexión que van a originar el cambio de ángulo (EHUS, 2006).

Existe un rango de regiones de frecuencias del infrarrojo, desde los límites de 0.8  $\mu\text{m}$  a 1000  $\mu\text{m}$  que corresponden desde 12800 a 10  $\text{cm}^{-1}$  según sus longitudes de onda las cuales son: El I.R. Cercano, el Fundamental o Medio y el Lejano (U.A. Chihuahua, 2012), como muestra la Figura 4.



**Figura 4.** Regiones del Análisis IR

La mayoría de las sustancias a analizar se encuentran situadas en la región IR Medio o fundamental y dentro de esta región se subdivide en dos regiones más las que son: Grupos funcionales en los rangos de 4000  $\text{cm}^{-1}$  a 1300  $\text{cm}^{-1}$  y región dactilar en los rangos de 1300  $\text{cm}^{-1}$  a 670  $\text{cm}^{-1}$  (U.A. Chihuahua, 2012).

Un espectro infrarrojo se puede manifestar en bandas de absorción. Cada una de estas bandas corresponden a un movimiento vibracional específico de un enlace molecular dentro del compuesto (Piqué y Vázquez, 2012). Es decir, cada compuesto tendrá un comportamiento característico frente a un haz de luz infrarrojo, como una huella dactilar, y se situará en una banda respectiva.

La Figura 5 muestra las bandas de absorción que se encuentran dentro de una gráfica, que en el eje de las ordenadas es la transmitancia (%T) que es la cantidad de luz que atraviesa un cuerpo (González, 2010), y el eje de las abscisas representa las longitudes de onda (cm<sup>-1</sup>). La Tabla 2 indica la frecuencia y el tipo de vibración de algunos enlaces.

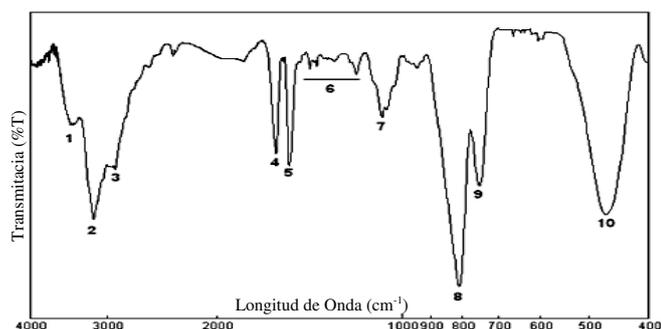


Tabla 2. Frecuencia y tipo de vibración (Fuente: EHUS, 2016)

Pico de la figura	Longitud de onda (cm <sup>-1</sup> )	Enlace	Tipo de vibración
1	3450	O-H	Tensión
2	3170	N-H	Tensión
3	2950	C-H	Tensión
4	1610	O-H	Flexión
5	1535	N-H	Flexión
6	1420, 1295, 1200	C-H	Flexión
7	1085	C-N	Flexión
8	820	As-O	Tensión (simétrica)
9	760	As-O	Tensión (anti simétrica)
10	470	As-O	Flexión

### 3. METODOLOGÍA

La metodología aplicada es experimental, los ensayos de las muestras se realizaron en el laboratorio de Petróleos de la Universidad Central del Ecuador, a condiciones que para el caso de Quito son 68 °F y 0,708 atm. Con las diferentes gráficas realizadas se comparó cada una de sus curvas obtenidas y de esta manera se analizó cuál, de los surfactantes utilizados, presentó una mayor disminución de tensiones. Tomando en cuenta las gráficas CMC, IFT y TS Vs Concentración.

La primera fase del trabajo consistió en conocer las características de los fluidos a utilizar, como el % BSW en las tres muestras de petróleo de los pozos PIN 11, 13 y 17, y la salinidad y los sólidos disueltos del agua de inyección (TDS). La medición del BSW se lo realizó con la norma ASTM D40007-02. Se prepararon cuatro zanahorias agregando petróleo, Tolueno y un solvente de enzimas (Greenzyme), luego a las zanahorias se las agitó, se las calentó y se las colocó en la centrifuga por al menos 20 minutos. Posteriormente, se leyó la cantidad de BSW de cada una de las zanahorias y se

calculó con la ecuación (1), fue necesario multiplicar por 2, debido a que se usó 50 ml de soluciones.

$$\%BSW = \frac{\text{Cantidad de solidos y de agua}}{\text{Cantidad Total de muestra de petroleo}} \times 100 \times 2 \quad (1)$$

La medición de la salinidad y el TDS presente en el agua de inyección, se midió con un conductímetro. Se colocó 20 ml de agua de inyección en un cristizador, posteriormente se colocó el conductímetro, para así obtener las propiedades del agua de inyección.

La segunda fase consistió en la calibración del tensiómetro marca DATAPHYSIC DCAT11EC para determinar la precisión en las mediciones a realizar. Se midió la tensión superficial experimental y se comparó con la tensión superficial teórica de cuatro sustancias conocidas. Se utilizó el anillo Du Noüy fabricado de una aleación de Iridio-Platino. Para la calibración se colocó cierta cantidad de Tolueno, Agua Destilada Tipo 2, Agua Potable y Metanol en cuatro diferentes cristizadores, estos fueron llevados al tensiómetro y se procedió a la medición de la tensión superficial; para cada muestra se realizaron 7 veces las mediciones y se obtuvo un valor promedio. En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos de cada una de las sustancias.

Tabla 3. Calibración Tensión Superficial

	Tolueno	Agua dest. tipo 2	Agua	Metanol
Promedio	25.777	Promedio 70.349	Promedio 70.9735	Promedio 27.92
Valor Teórico	28.5	Valor Teórico 72.75	Valor Teórico 72.75	Valor Teórico 22.61
Error ABS	2.7225	Error ABS % 2.4002	Error ABS 1.77642	Error ABS 5.31

En la Tabla 3, se puede observar los diferentes valores de errores absolutos. La temperatura tiene un papel muy importante, debido a que la TS disminuye a medida que la temperatura aumenta (Mak, 1990). La temperatura de la ciudad de Quito es variable y esta puede subir hasta 24.5°C (INAMHI, 2019). Otro factor que interfiere en las mediciones es la pureza de los fluidos a analizar, los fluidos utilizados como el Tolueno, Metanol y el agua destilada tipo 2, no son sustancias puras. El agua, es el fluido que más se acerca a la medición teórica, esto se debe a que esta sustancia es de fácil obtención. Un dato significativo sobre el anillo Du Noüy, es que presente una soldadura con el mismo material de fabricación (aleación de iridio con platino), y el equipo fue calibrado exitosamente para su correcto funcionamiento.

La tercera fase consistió en realizar mediciones del pH de cada uno de los surfactantes y realizar mezclas de agua de inyección a diferentes concentraciones para obtener valores de conductividad y tensión superficial. Para realizar las mediciones se colocó en un cristizador una cantidad de agua de inyección más surfactante a diferentes concentraciones; primero se colocó en el conductímetro para obtener la medida de la conductividad, posterior al tensiómetro para obtener las medidas de TS y así generar las diferentes curvas de TS Vs Concentración, para conocer su CMC. Las mediciones de pH en la Tabla 4.

**Tabla 4.** pH – Surfactantes

NOMBRE	pH	TEMP.	pH agua de formación		
			PIN 11	PIN 13	PIN 17
HALMX152805-2	7.42	22			
HALMX152805-1	6.65	21.8			
BH - WCW 2827	7.17	21.7	6.21	6.25	7.00
BH - WAW 3037	12.25	21.8			

La medición del pH se lo realiza con el objetivo de conocer si el surfactante inyectado va a ser compatible con el agua de formación dentro del pozo. Siendo uno de los parámetros para conocer la calidad del agua con surfactante a inyectarse, se lo realiza para evitar daños potenciales en el pozo como la formación de costras insolubles, emulsiones, la precipitación de ceras y asfaltenos, la reacción con las arcillas dentro del pozo y para evitar corrosión en las tuberías (Naranjo, et al, 2010). Como se puede observar en la Tabla 4 los valores de pH de surfactante con los valores de pH del agua de formación entran en un rango similar. Exceptuando el surfactante Baker-Hughes WAW-3937, el valor de 12.25 indica que es alcalino.

La cuarta fase consistió en la generación de curvas de IFT Vs. Concentración; para esto se preparó en un cristizador una mezcla de agua de inyección con surfactante a diferentes concentraciones, y en otro cristizador se colocó petróleo. Primero se colocó la muestra de petróleo en el tensiómetro para medir la fuerza que ejerce el líquido más liviano, después se puso la mezcla de agua de inyección con surfactante en el tensiómetro con el anillo sumergido. Mediante una jeringa de vidrio, se inyectó una cantidad de petróleo sobre esta mezcla para generar la interfaz y con el tensiómetro medir la IFT.

Finalmente, las muestras de surfactante fueron llevadas al laboratorio de Química de la Universidad Central del Ecuador para realizar un análisis IR e identificar los grupos funcionales de cada uno de los surfactantes. Con los datos y curvas obtenidas se analiza para decidir sobre el surfactante, en que concentración y el grupo funcional que actuó mejor.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Propiedades del agua y BSW del petróleo

Es importante caracterizar los fluidos que se van a analizar, razón por la cual se obtuvo el % BSW y el °API del petróleo de los pozos PIN 11,13 y 17. También, la salinidad y los sólidos disueltos en el agua de inyección. Los resultados obtenidos se encuentran en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Propiedades de Agua de Inyección (A) y de Petróleo del campo Pindo (B)

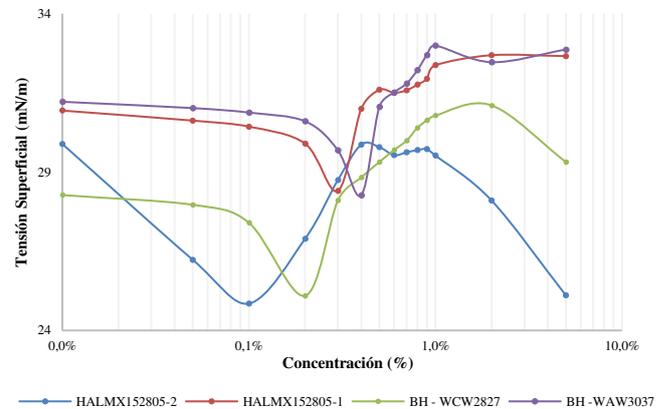
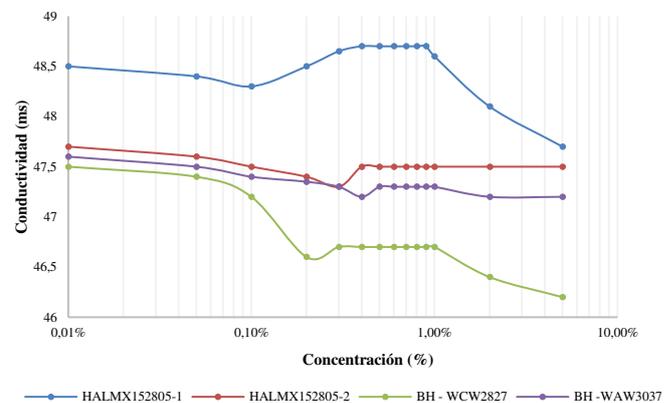
Propiedades del Agua de Inyección		Pozos PIN	BSW (%)	°API	BSW del campo
Salinidad	65,7 PPM	11	4	17.9	
		13	6.8	17.3	5 %
TDS	98,6 g/l	17	1.6	19.5	

(A) (B)

### 4.2 Tensiones Superficiales y Conductividad

Se generaron gráficas para poder analizar el comportamiento de la conductividad y tensión superficial. La Figura 6 contiene

las curvas de conductividad Vs log concentración y la Figura 7 contiene las curvas de TS Vs log de la concentración. Para una mejor visualización, el eje de las abscisas está como logaritmo de la concentración.

**Figura 6.** Tensión Superficial Vs log Concentración**Figura 7.** Conductividad Vs log Concentración

La CMC se obtuvo con los resultados de la TS y de la conductividad. Se realizaron 15 muestras a diferentes concentraciones para cada surfactante, que van desde 0% hasta el 5%. El porcentaje de concentración y el resultado tanto de conductividad y TS se presentan en los anexos en las tablas 12 y 13. Con estas tablas se prepararon las Figuras 6 y 7.

Las Figuras 6 y 7 contienen las curvas de todas las mediciones de la TS y conductividad a diferentes concentraciones de surfactantes. Analizando, en la Figura 6 se observa que cada curva llega hasta punto de deflexión, dicho punto es el valor de CMC para cada surfactante. Luego, comienza a aumentar hasta tener un comportamiento constante. La Figura 7 tiene el mismo comportamiento; es decir, llega hasta un punto de deflexión y luego un aumento hasta tener un comportamiento constante. Esto se debe al comportamiento intermolecular, ya que el surfactante tiene como objetivo debilitar las fuerzas intermoleculares y el campo eléctrico intermolecular (Salager, 1992). El comportamiento constante de las gráficas llega hasta el 1%, después de este punto, las curvas empiezan a disminuir esto se debe a que existe una saturación de micelas y hay un comportamiento no-ideal, ya que se puede formar una emulsión y en casos extremos se pueden obtener estructuras tipo gel o de cristal líquido (Salager, 1993). Los valores de CMC de cada uno de las muestras se encuentran en la Tabla 6.

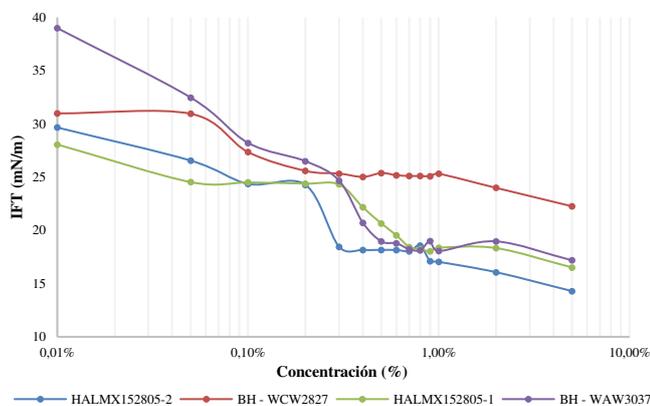
**Tabla 6.** Resultados T.S y Conductividad

Surfactante	CMC (%)	T.S (mN/m)	Cond. (ms)
HALMX152805-2	0,10	24,849	48,3
HALMX152805-1	0,30	28,407	47,3
BH WCW2827	0,20	25,092	46,6
BH WAW3037	0,40	28,270	47,2

Los surfactantes HALMX152805-2 y BH WCW2827 dieron buenos resultados en la disminución de la TS como se muestra en la Tabla 10, siendo el mejor el HALMX152805-2.

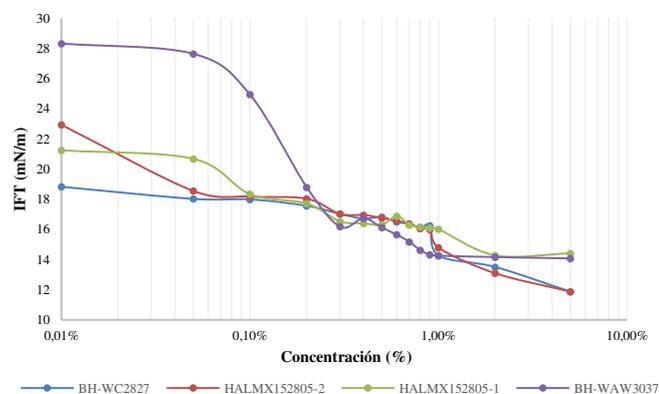
### 4.3 Tensiones Interfaciales

Se generaron gráficas a partir de los resultados obtenidos, con el objetivo de analizar el comportamiento de la IFT a diferentes concentraciones para cada pozo. Las Figuras 8, 9 y 10 son las gráficas de IFT Vs Log concentración de los pozos PIN 11,13 y 17.



**Figura 8.** Tensiones Interfaciales Vs. Log Concentración Campo Pindo 11

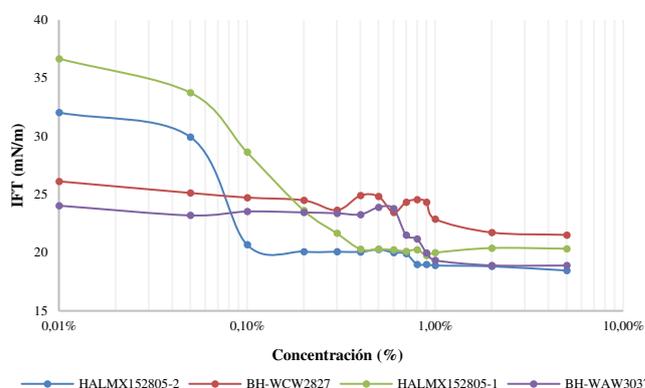
La Figura 8 muestra las curvas de IFT del pozo PIN 11, estas presentan diferentes puntos de deflexión y luego tienden a mantenerse constante en sus valores, también se puede observar, el surfactante que tiene la reducción más significativa es el HALMX152805-2, el cual tiene una tensión interfacial de 18,46 al 03%.



**Figura 9.** Tensiones Interfaciales Vs. Log Concentración Campo Pindo 13

La Figura 9 muestra las curvas de IFT del pozo PIN 13, presentando diferentes puntos de deflexión y luego tienden a mantenerse constante en sus valores, también se puede

observar, que el surfactante Baker Hughes WAW3037 tiene la reducción más significativa con una tensión interfacial de 16,179 al 03%. Pero, el HALMX152805-1 también muestra un descenso significativo de la IFT con 16,531 al 0,3 %.



**Figura 10.** Tensiones Interfaciales Vs. Log Concentración Campo Pindo 17

La Figura 10 muestra las curvas de IFT del campo PIN 17, las curvas presentan diferentes puntos de deflexión y posteriormente tienden a mantenerse constantes. También, se puede observar que el surfactante HALMX152805-2 tiene una reducción más significativa de IFT, con una medición de 20,688 al 0,1% de concentración.

El análisis de la tensión interfacial (IFT) empieza desde las mediciones realizadas de CMC; la medición de la CMC se realiza para obtener la mínima concentración de surfactante para la generación de micelas, por encima de la CMC no se va absorbiendo moléculas adicionales en la fase o interfase (Hernández, 2004). Al momento de introducir concentraciones altas pasadas de la CMC existe una saturación de micelas llevando a un comportamiento no-ideal, ya que se puede formar una emulsión y en casos extremos se puede obtener estructuras tipo gel o de cristal líquido (Salager, 1993). Razón por la cual las concentraciones deben coincidir o estar cerca de la CMC de cada surfactante.

Para seleccionar las mejores concentraciones de cada surfactante se analizó el punto de deflexión en las curvas de IFT y se la corroboró con la CMC, debido a que debe coincidir o ser cercano a este valor. Las mejores concentraciones son bajas y esto también es uno de los aspectos que se debe tomar en cuenta por el factor económico ya que es un trabajo de recuperación mejorada se debe inyectar continuamente surfactante; por esta razón, en la mayoría de los proyectos, se han utilizado bajas concentraciones de surfactante (Chuck y Trombetta, 2007).

La Tabla 7 muestra las concentraciones cuando las curvas se encuentran en los diferentes puntos de deflexión. De los valores presentados en la tabla, se selecciona el HALMX152805-2; debido a que en dos de los tres pozos presentó la mejor reducción de IFT a menor o igual concentración. Otro aspecto de su selección es por la CMC, como se puede observar en Tabla 7, tiene la mejor reducción de la TS a menor concentración. El único caso donde la IFT tiene un resultado diferente es para el pozo Pin 13, los surfactantes Baker Hughes WAW3037 y HALMX152805-1,

proporcionaron buenos resultados. Pero las mediciones de TS y al CMC son mayores que las del HALMX152805-2.

**Tabla 7.** Resultados IFT

Surf.	PIN 11		PIN 13		PIN 17	
	Conc. (%)	IFT (mN/m)	Conc. (%)	IFT (mN/m)	Conc. (%)	IFT (mN/m)
HALMX152805-2	0,30	18,460	0,30	17,022	0,30	21,668
HALMX152805-1	0,30	24,320	0,30	16,531	0,30	23,389
BH WCW2827	0,30	24,678	0,30	17,023	0,30	23,647
BH WAW3037	0,20	25,588	0,20	18,034	0,10	23,539

#### 4.4 Espectrometría infrarroja (IR)

Los surfactantes fueron enviados al laboratorio de la Universidad Central del Ecuador, para que realicen un análisis de espectrometría infrarroja y así, obtener los grupos funcionales de cada uno de los surfactantes. Las Tablas 8, 9, 10 y 11, muestran las longitudes de onda de cada uno de los surfactantes.

**Tabla 8.** Grupo Funcional – HALMX152805-1

Grupo Funcional	Longitud de Onda
Grupo Alquil	3820 - 3200//2980 - 2830//1480 - 1430
Compuesto Hidroxilo	3650 - 3590
Grupo Carbonilo	3400 – 3150 // 3000 – 2850 // 2800 – 2500 // 1880 – 1670 // 1570 – 1520 // 1300 - 1250

Según los valores de longitud de onda de la Tabla 8, que pertenece al surfactante HALMX152805-1, podemos analizar cada una de las bandas de los grupos funcionales. El grupo alquil está trabajando en las bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 6; el grupo hidroxilo está en las bandas 1 y 2; y el grupo carbonilo está en las bandas 2, 3, 4, 5 y 6.

**Tabla 9.** Grupo Funcional – HALMX152805-2

Grupo Funcional	Longitud de Onda
Grupo Alquil	3820 - 3200//2980 - 2830//1480 - 1430
Compuesto Hidroxilo	3650 – 3590 // 2300 - 2000

Según los valores de longitud de onda de la Tabla 9, que pertenece al surfactante HALMX152805-2, podemos analizar cada una de las bandas de los grupos funcionales. El grupo alquil está trabajando en las bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 6; el grupo hidroxilo está en las bandas 1, 2 y 3.

**Tabla 10.** Grupo Funcional - BAKER HUGHES WCW 2827

Grupo Funcional	Longitud de Onda
Grupo Alquil	3820 - 3200//2980 - 2830//1480 - 1430
Compuesto Hidroxilo	3650 - 3590
Grupo Carbonilo	3400 – 3150 // 3000 – 2850 // 2800 – 2500 // 1880 – 1670 // 1570 – 1520 // 1300 - 1250

Según los valores de longitud de onda de la Tabla 10, que pertenece al surfactante Baker Hughes WCW 2827, podemos analizar que tienen valores similares a los del componente HALMX1528; es decir, se encuentra en las mismas bandas de absorción.

**Tabla 11.** Grupo Funcional - BAKER HUGHES WAW 3037

Grupo Funcional	Longitud de Onda
Grupo Alquil	3540 – 3200 // 1205 - 885
Grupo Alquil posible Hidroxilo o Amino sustituido	3450 – 3200 // 2645 -2310 // 2310 - 2000

Según los valores de longitud de onda de la Tabla 11, que pertenece al surfactante Baker Hughes WAW 3037, podemos analizar cada una de las bandas de los grupos funcionales. El grupo alquil está trabajando en las bandas 1, 2, 6, 7 y 8; y el grupo hidroxilo o amino está en las bandas 1, 2 y 3.

También, se observa que los 4 surfactantes se encuentran en el rango del IR medio.

Los surfactantes HALMX152805-1 y HALMX152805-2, poseen grupos funcionales como el Alquil, Compuestos hidroxilo y el Grupo Carbonilo, que pertenecen a surfactantes no iónicos, mientras que los surfactantes Baker Hughes WCW2827 y el Baker Hughes WAW3037 tiene el grupo funcional alquil con compuesto hidroxilo, y con posibilidades de contener Hidroxilo o amino sustituido; estos surfactantes son de tipo catiónico.

#### 4.5 Resultados de medir tensión interfacial y tensión superficial

El surfactante HALMX152805-2 de tipo no iónico, tiene una menor CMC y presenta resultados de IFT bajos para los pozos PIN 11 y 17; y en el pozo PIN 13 también tiene una reducción significativa de la IFT de 17,022 a 0,3 % en concentración. Este surfactante tiene el grupo funcional Alquil y Compuestos hidroxilo, su CMC fue del 0,1% y la concentración de 0,3% dio en los 3 pozos su punto de deflexión.

Otro surfactante que se puede considerar es el BAKER HUGHES WCW2827 de tipo catiónico, con un valor de CMC del 0,2% y tuvo valores bajos en la reducción de la IFT de los 3 pozos del campo Pindo, el mejor resultado de IFT obtenido fue para el pozo PIN 13. Sus grupos funcionales son el Grupo Alquil, Compuesto hidroxilo y Grupo Carbonilo. Se recomienda para los trabajos de inyección de surfactante, el uso de una concentración de 0,2% a 0,3% sobre la base de realizar un promedio de las respuestas de los diferentes pozos.

En la industria petrolera es importante el factor económico, esta es una de las razones del uso de inyección de químicos para sustituir la recuperación térmica (Chuck y Trombetta, 2007). Se recomienda para los trabajos de inyección de surfactante, el uso de una concentración de 0,2% a 0,3% por un promedio realizado a las respuestas de concentración.

## 5. CONCLUSIONES

Del análisis de la CMC y de IFT los mejores surfactantes son el HALMX152805-2 tipo no iónico y el BAKER HUGHES WCW2827 de tipo catiónico; presentaron excelentes resultados para los 3 pozos, pero el de mejor resultados fue el HALMX152805-2.

Las figuras de TS y conductividad muestran un comportamiento similar aspecto que sirve para corroborar que las mediciones están correctamente realizadas y la CMC seleccionada es el adecuado.

La presión y temperatura son factores muy importantes y es fundamental tomar en cuenta las condiciones a realizar los ensayos de laboratorio. Se realizó un pequeño experimento con una mezcla entre de petróleo, agua de inyección y una concentración del surfactante Baker Hughes WCW 2827, la cual arrojó tensiones superficiales e interfaciales más reducidas y se concluye que la IFT es directamente proporcional a la temperatura.

Los análisis de espectrometría infrarroja realizados muestran que los surfactantes usan grupos funcionales parecidos como el Alquil y el Hidroxi.

Con base en los resultados obtenidos se visualiza la disminución de la tensión interfacial y superficial, por lo tanto teóricamente, la disminución de estos dos factores tendrá un resultado en el aumento del flujo dentro del reservorio y una disminución de las presiones capilares.

El pH del agua de formación con el pH de los surfactantes se encuentra en un rango en el cual existe una compatibilidad, lo cual es fundamental para el uso del mismo.

Los errores existen en ciertas sustancias al momento de realizar la calibración fueron debido a las impurezas de los fluidos utilizados, pero con el H<sub>2</sub>O se puede visualizar que la medición tiene un error mucho menor. La temperatura tiene un papel muy importante debido a que en la ciudad de Quito existen cambios repentinos. El anillo Du Nouÿ fue soldado y calibrado para su correcto funcionamiento.

## REFERENCIAS

Abubaker, A., Abdurahman, N., Z, Y. (2015), "An overview of oil production stages: Enhanced Oil Recovery Techniques and Nitrogen Injection" – Universidad Malaysia Pahang – Kuantan – Malaysia.

Almeida, M., Morales J., Maita, F. (2015), "Procesos de recuperación de crudo", Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada Nacional U.N.E.F.A – Escuela de Petróleo, Núcleo Anzoátegui – Venezuela.

Antón, R. (2005), "Tensión Interfacial" Universidad de los andes, facultad de ingeniería – Escuela de ingeniería química – Lab. Formulación, interfaces, Reología y procesos, Mérida – Venezuela.

ASTM (2006), "Método de prueba estándar para agua y sedimentos en petróleo crudo por el método de centrifugación (procedimiento de laboratorio)." designación: D4007-02, An American National Standard.

Bolívar, G., Mantilla, A., Aldás, A., Gonzales, M., Torres, C., (diciembre,2017), "Influencia de surfactantes en la evaluación de la tensión interfacial para una emulsión agua petróleo relacionada al proceso de recuperación mejorada", Universidad Central del Ecuador, Quito – Ecuador.

Carrero I. y Herráez (2012), "Micelas", El mundo de los lípidos – Biomodel, <http://biomodel.uah.es/model2/lip/micelas.htm>.

Chuck, N. y Trombetta, J. (2007), "El uso de surfactantes en proyectos de recuperación terciaria" Notas técnicas, Tiorco. Págs. 1 – 4.

Consortio Petrosud Petroriva, (2010), "Mapa estructural del Campo Pindo", Figura 1.

Consortio Petrosud Petroriva (2018-a), "Reseñas campo Pindo, Propiedades de los fluidos del campo Pindo".

Consortio Petrosud Petroriva (2018-b), "Propiedades de los Pozos Pindo 11, 13 y 17", Tabla 1.

Consortio Petrosud Petroriva, (2018-d) "Promedio de producción pozos Pindo – 11 (A), Pindo – 13 (B), Pindo – 17 (C), "U" inferior". Figura 4.

EHUS (2006), "Espectroscopia infrarroja (IR), EHUS, <http://www.ehu.es/imacris/PIE06/web/IR.htm#arriba>.

Espinoza, J., (2017), "Tensioactivos", [https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user\\_upload/p\\_biorem/education/lectures/SEMARNAT/SEMARNAT-E-Clasificacion\\_de\\_Tensoactivos.pdf](https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/lectures/SEMARNAT/SEMARNAT-E-Clasificacion_de_Tensoactivos.pdf)

Franco, A. (2009), "Tensión superficial en los líquidos", Curso interactivo de física, Universidad de Granada, <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/fluidos/tension/introduccion/introduccion.html>.

González, M. (2010), "Transmitancia y Absorbancia", La guía de Química, <https://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/transmitancia-y-absorbancia>.

Hernández, C. (2004), "Formación de nano emulsiones o/w mediante el cambio en la composición – formulación por dilución con agua de sistemas próximos a la formulación óptima", Universidad de los andes, facultad de ingeniería – escuela de ingeniería química, Mérida – Venezuela.

Hernández, G. (2008), "Producción de Petróleo", <http://www.gustato.com/petroleo/Petroleo3.html>.

- INAMHI, (2019), “Análisis Climatológico” Dirección de gestión meteorológica e investigación meteorológicas. Quito – Ecuador.
- Macho, S., (2002) “Motodologías analíticas basadas en espectroscopia de infrarrojo y calibración multivariante. Aplicación a la industria petroquímica”, departamento de química analítica y química orgánica, Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, Cataluña – España.
- Mak, S., Wong, K. (1990), “The measurement of the surface tension by the method of direct pull”, pp. 791-792, <http://www.sc.edu/sbweb/fisica/fluidos/tension/introduccion/introduccion.htm>
- Morales, A. (2010), “Inyección de surfactantes en yacimientos”, Petróleo América, <http://www.petroleoamerica.com/2011/02/inyeccion-de-surfactantes-en.html>.
- Naranjo, C., Muños, S. Y Zapata, J. (2010), “Factibilidad experimental de la inyección de agua en las arenas mugrosa de campo Lisima”, El reventón Energético.
- Novelo, M. y Fadrique, J. (2005), “Concentración Micelar crítica mediante la ecuación de adsorción de Gibbs”, Profesores al día (físicoquímica).
- Piqué, T., Vázquez, A., (2012), “uso de espectroscopia infrarroja con transformada de fourier (ftir) en el estudio de la hidratación del cemento” Concreto y cemento. Investigación y desarrollo. <http://www.scielo.org.mx/pdf/ccid/v3n2/v3n2a4.pdf>
- Rodríguez, A. (2015) “Características de los campos Pindo y Palanda Yuca Sur”, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de ingeniería en Geología y Petróleos, Quito – Ecuador.
- Rondón, N. (2009), “Métodos de recuperación mejorada”, <https://quipu.uni.edu.pe/OtrosWWW/webproof/acadefipp/lucioc/EOR107.html>
- Salager, J. (1992), “El mundo de los surfactantes” Cuaderno FIRP S311-A, Modulo de enseñanza en fenómenos interfaciales, Universidad de los andes, facultad de ingeniería – escuela de ingeniería química, Mérida – Venezuela.
- Salager, J. (1993), “Surfactantes en solución acuosa” Cuaderno FIRP S2001-A, Modulo de enseñanza en fenómenos interfaciales, Universidad de los andes, facultad de ingeniería – escuela de ingeniería química, Mérida – Venezuela
- Salager, J. (2002), “Surfactantes Tipos y Usos” Cuaderno FIRP S300-A, Modulo de enseñanza en fenómenos interfaciales, Universidad de los andes, facultad de ingeniería – escuela de ingeniería química, Mérida – Venezuela.
- Salager, J. y Fernández, A. (2004), “Surfactantes”, Cuaderno de enseñanza en fenómenos interfaciales, Universidad de los andes, facultad de ingeniería – escuela de ingeniería química, Mérida – Venezuela.
- Salager, J. (2005), “Recuperación Mejorada del Petróleo”, Cuaderno FIRP S357-C módulo de enseñanza en fenómenos interfaciales, Universidad de los andes, facultad de ingeniería – escuela de ingeniería química, Mérida – Venezuela.
- Salager, J. y Antón, R. (2005), “Métodos de medición de la tensión Superficial o Interfacial”, Cuaderno FIRP N.º 205B, Universidad de los andes, facultad de ingeniería – Escuela de Ingeniería Química, Mérida – Venezuela
- Salager, J., Rojas, O., Bullón, J. (2007), “Fenómenos Interfaciales y surfactantes en la industria petrolera” Universidad de los andes, facultad de ingeniería – escuela de ingeniería química, Mérida – Venezuela.
- Sanz, A. (2015), “La industria de los agentes tensioactivos”, <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-10.php>.
- Schlumberger (2018 a), Reservoir Engineering, Quito, Ecuador.
- Schlumberger (2018 b). “EOR – Recuperación mejorada de Petróleo”, <https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/e/eor.aspx?p=1>.
- Schlumberger (2018 c), “Tensión Interfacial”, Oilfield Glossary, [https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/i/interfacial\\_tension.aspx](https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/i/interfacial_tension.aspx).
- Serrano, L., (2009), “Espectroscopia infrarroja 1-fundamentos”, Curso Instrumentación y método de análisis químico. [https://www.upct.es/~minaees/espectroscopia\\_infrarroja.pdf](https://www.upct.es/~minaees/espectroscopia_infrarroja.pdf)
- SFN FLOEGER, (2016), “Geología del Petróleo Sistemas Petrolíferos EOR 101”, Oil – EOR Handbook ESP. Edición 2016.
- U.A. Chihuahua (2012), “Espectrometría de absorción en el infrarrojo” Lectura N.º 7 – Facultad de ciencias químicas – Espectrometría, Universidad Autónoma de Chihuahua, México, págs. 2 – 5.
- Villegas, I., (2013), “Estudio de factibilidad técnica para el control de agua en el yacimiento “U” Inferior del campo Pindo, Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleo y Ambiental, Universidad Central del Ecuador, Quito – Ecuador.

## BIOGRAFÍAS



**Jonathan Saúl Celi Estévez**, bachiller en ciencias generales (Colegio Militar “Eloy Alfaro”, 2011). Se graduó de ingeniero en Petróleos de la Escuela Politécnica Nacional (2019). Durante su carrera trabajo en varias empresas como pasante como el Instituto Técnico del Petróleo (ITP) realizando manuales y las compañías Consorcio Petrosud – Petroriva y Consorcio Petrolero Palanda Yuca Sur, en la cual desarrollo su tema de tesis y trabajo en laboratorio examinando diferentes muestras. Esta interesado en trabajar en una empresa internacional y seguir dando aportes científicos. Identificador digital ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5093-7887>



**Franklin Vinicio Gómez Soto**, ingeniero en Petróleos de la Escuela Politécnica Nacional (EPN, 2010), Asistente de Catedra en el Departamento de Petróleos en la EPN desde el año 2011 hasta el año 2012. Hizo la maestría en Termodinámica de Fluidos en la Universidad de Valladolid, España (UVA, 2012).

Su proyecto de fin de master fue publicado en The Journal of Supercritical Fluids, ELSEVIER. Trabajo como Coordinador Petrolero en Triboil Gas CIA. LTDA durante el año 2013 y 2014. Se reincorporó a la Escuela Politécnica Nacional como docente titular Auxiliar desde octubre del año 2014. Fue jefe del Laboratorio de Fluidos de Perforación y Petrofísica. Actualmente está estudiando su doctorado en la Universidad de Miskolc en Hungría. Se interesa en Fracturamiento Hidráulico y Reacondicionamiento de pozos (reservorios de petróleo y gas). Identificador Digital ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4367-4972>



**Bolívar Enríquez Vallejo** estudió el pregrado en la facultad de ciencias químicas, la carrera de Química, en la Universidad Central del ecuador, posteriormente, realizo una maestría en Sistemas de Gestión de Calidad. Actualmente, se desempeña como director de la Carrera de Ingeniería de petróleos en la misma universidad y adicionalmente, como docente

dictando las asignaturas de control de calidad del petróleo y sus derivados, y termodinámica. Dentro de las destrezas más destacadas en él son: capacidad analítica, comunicación asertiva, liderazgo, lo que ha permitido que se desempeñe de manera eficiente en las actividades que ha realizado en su ámbito laboral. Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4750-011X>

## APÉNDICE

### Tablas de Resultados

Usando la ecuación #1 se procede a calcular BSW en las muestras de petróleo de los 3 pozos

#### MUESTRAS DE PINDO

PINDO 11	PINDO 13	PINDO 17
$\%BSW = \frac{1}{50} * 100 * 2 = 4\%$	$\%BSW = \frac{1,7}{50} * 100 * 2 = 6,8\%$	$\%BSW = \frac{0,4}{50} * 100 * 2 = 1,6\%$

### Tablas de Tensiones Superficiales

Tabla 12. Tensiones superficiales y conductividades

HALMX152805-2			HALMX152805-1		
Conc (%)	T.S. (mN/m)	Cond. (ms)	Conc (%)	T.S. (mN/m)	Cond. (ms)
0%	45.669	48.8	0%	44.778	47.9
0.01%	29.886	48.5	0.01%	30.941	47.7
0.05%	26.23	48.4	0.05%	30.625	47.6
0.10%	24.849	48.3	0.10%	30.434	47.5
0.20%	26.894	48.5	0.20%	29.899	47.4
0.30%	28.751	48.65	0.30%	28.407	47.3
0.40%	29.865	48.7	0.40%	30.994	47.5
0.50%	29.786	48.7	0.50%	31.596	47.5
0.60%	29.532	48.7	0.60%	31.503	47.5
0.70%	29.625	48.7	0.70%	31.582	47.5
0.80%	29.691	48.7	0.80%	31.758	47.5
0.90%	29.726	48.7	0.90%	31.945	47.5
1.00%	29.523	48.6	1.00%	32.371	47.5
2.00%	28.102	48.1	2.00%	32.69	47.5
5.00%	25.11	47.7	5.00%	32.661	47.5

Tabla 13. Tensiones Superficiales y Conductividades

BH - WCW2827			BH -WAW3037		
Conc (%)	T.S. (mN/m)	Cond. (ms)	Conc (%)	T.S. (mN/m)	Cond. (ms)
0%	32.131	47.7	0%	44.069	47.7
0.01%	28.274	47.5	0.01%	31.219	47.6
0.05%	27.967	47.4	0.05%	31.02	47.5
0.10%	27.4	47.2	0.10%	30.878	47.4
0.20%	25.092	46.6	0.20%	30.603	47.35
0.30%	28.105	46.7	0.30%	29.688	47.3
0.40%	28.828	46.7	0.40%	28.27	47.2
0.50%	29.315	46.7	0.50%	31.056	47.3
0.60%	29.696	46.7	0.60%	31.513	47.3
0.70%	29.992	46.7	0.70%	31.792	47.3
0.80%	30.396	46.7	0.80%	32.216	47.3
0.90%	30.632	46.7	0.90%	32.698	47.3
1.00%	30.785	46.7	1.00%	32.991	47.3
2.00%	31.105	46.4	2.00%	32.469	47.2
5.00%	29.319	46.2	5.00%	32.869	47.2

Tabla 15. Tensiones Interfaciales - Pindo 11

HALMX152805-1			HALMX152805-2		
Conc (%)	IFT (mN/m)	E +-	Conc (%)	IFT (mN/m)	E +-
0%	51.007	1.563	0%	42.657	1.754
0.01%	28.062	2.441	0.01%	29.66	2.261
0.05%	24.531	2.21	0.05%	26.554	2.049
0.10%	24.502	1.797	0.10%	24.362	2.116
0.20%	24.392	1.893	0.20%	24.277	1.985
0.30%	24.32	2.094	0.30%	18.46	1.851
0.40%	22.162	2.374	0.40%	18.17	1.958
0.50%	20.652	3.493	0.50%	18.165	1.934
0.60%	19.534	2.742	0.60%	18.154	3.065
0.70%	18.441	2.589	0.70%	18.043	2.023
0.80%	18.243	3.026	0.80%	18.574	3.373
0.90%	18.034	2.637	0.90%	17.112	2.076
1.00%	18.363	3.222	1.00%	17.039	2.066
2.00%	18.332	1.9	2.00%	16.069	2.132
5.00%	16.516	1.934	5.00%	14.297	2.089

## Tablas de Tensiones Interfaciales

Tabla 14. Tensiones Interfaciales - Pindo 11

BH - WCW2827			BH - WAW3037		
Conc (%)	IFT (mN/m)	E +-	Conc (%)	IFT (mN/m)	E +-
0%	49.844	1.202	0%	43.77	1.16
0.01%	30.983	1.426	0.01%	38.989	1.564
0.05%	30.95	1.55	0.05%	32.474	1.738
0.10%	27.351	1.505	0.10%	28.216	1.776
0.20%	25.588	1.532	0.20%	26.498	1.676
0.30%	25.337	1.843	0.30%	24.678	2.097
0.40%	25.022	1.844	0.40%	20.716	2.601
0.50%	25.385	1.287	0.50%	18.967	3.05
0.60%	25.175	0.472	0.60%	18.788	1.994
0.70%	25.115	1.489	0.70%	18.226	3.541
0.80%	25.101	1.762	0.80%	18.13	2.915
0.90%	25.097	1.672	0.90%	18.994	2.967
1.00%	25.315	1.807	1.00%	18.059	3.278
2.00%	23.991	1.928	2.00%	18.966	2.66
5.00%	22.259	2.096	5.00%	17.184	3.29

Tabla 16. Tensiones Interfaciales - Pindo 13

BH - WCW2827			BH - WAW3037		
Conc (%)	IFT (mN/m)	E +-	Conc (%)	IFT (mN/m)	E +-
0%	22.392	1.373	0%	29.323	2.786
0.01%	18.822	2.130	0.01%	28.325	1.987
0.05%	18.022	2.569	0.05%	27.645	3.543
0.10%	17.989	2.978	0.10%	24.941	1.654
0.20%	17.564	1.987	0.20%	18.798	3.56
0.30%	17.023	2.327	0.30%	16.179	3.789
0.40%	16.719	1.819	0.40%	16.731	1.567
0.50%	16.816	2.253	0.50%	16.123	2.678
0.60%	16.493	1.719	0.60%	15.652	1.942
0.70%	16.365	2.822	0.70%	15.178	2.642
0.80%	16.114	1.529	0.80%	14.625	2.974
0.90%	16.245	2.223	0.90%	14.325	2.912
1.00%	14.264	1.658	1.00%	14.255	2.567
2.00%	13.507	1.658	2.00%	14.162	2.871
5.00%	11.875	2.404	5.00%	14.075	2.983

Tabla 17. Tensiones Interfaciales – Pindo 13

HALMX152805-1			HALMX152805-2		
Conc (%)	IFT (mN/m)	E +-	Conc (%)	IFT (mN/m)	E +-
0%	24.6515	2.786	0%	22.935	4.585
0.01%	21.244	1.987	0.01%	22.932	1.709
0.05%	20.6815	3.543	0.05%	18.551	2.173
0.10%	18.335	1.654	0.10%	18.176	2.009
0.20%	17.714	3.56	0.20%	18.034	1.826
0.30%	16.531	3.789	0.30%	17.022	1.837
0.40%	16.403	1.567	0.40%	16.956	1.868
0.50%	16.304	2.678	0.50%	16.756	2.02
0.60%	16.879	1.942	0.60%	16.565	2.378
0.70%	16.301	3.785	0.70%	16.375	2.809
0.80%	16.159	2.446	0.80%	16.057	1.987
0.90%	16.109	3.168	0.90%	16.001	1.876
1.00%	16.013	0.949	1.00%	14.781	1.675
2.00%	14.274	3.112	2.00%	13.089	2.987
5.00%	14.412	1.001	5.00%	11.874	1.876

Tabla 19. Tensiones Interfaciales – Pindo 17

BH - WCW2827			BH – WAW3037		
Conc (%)	IFT (mN/m)	E +-	Conc (%)	IFT (mN/m)	E +-
0%	32.604	6.895	0%	34.6	5.468
0.01%	26.132	4.613	0.01%	24.041	5.780
0.05%	25.132	2.949	0.05%	23.204	6.277
0.10%	24.738	3.044	0.10%	23.539	5.461
0.20%	24.499	5.335	0.20%	23.462	2.829
0.30%	23.647	2.955	0.30%	23.389	2.872
0.40%	24.909	3.147	0.40%	23.283	5.156
0.50%	24.824	5.711	0.50%	23.907	3
0.60%	23.45	11.071	0.60%	23.793	5.964
0.70%	24.349	3.129	0.70%	21.51	2.798
0.80%	24.561	1.175	0.80%	21.189	2.645
0.90%	24.349	3.129	0.90%	19.983	2.573
1.00%	22.887	4.705	1.00%	19.345	2.48
2.00%	21.732	2.539	2.00%	18.908	2.783
5.00%	21.529	2.539	5.00%	18.898	3.821

Tabla 18. Tensiones Interfaciales - Pindo 17.

HALMX152805-1			HALMX152805-2		
Conc (%)	IFT (mN/m)	E +-	Conc (%)	IFT (mN/m)	E +-
0%	34.6	5.468	0%	37.502	1.716
0.01%	24.041	5.780	0.01%	36.674	1.225
0.05%	23.204	6.277	0.05%	33.752	0.984
0.10%	23.539	5.461	0.10%	28.638	1.218
0.20%	23.462	2.829	0.20%	23.638	2.69
0.30%	23.389	2.872	0.30%	21.668	2.796
0.40%	23.283	5.156	0.40%	20.302	3.546
0.50%	23.907	3	0.50%	20.296	2.32
0.60%	23.793	5.964	0.60%	20.243	2.52
0.70%	21.51	2.798	0.70%	20.118	2.32
0.80%	21.189	2.645	0.80%	20.261	3.332
0.90%	19.983	2.573	0.90%	19.767	3.516
1.00%	19.345	2.48	1.00%	19.999	1.21
2.00%	18.908	2.783	2.00%	20.4	2.962
5.00%	18.898	3.821	5.00%	20.345	3.062

**ABREVIATURAS**

- IFT:** Interfacial tension o Tensión interfacial.
- TS:** Tensión Superficial.
- IR:** Infrared Spectroscopy o espectro infrarrojo.
- BSW:** Basic Sediment Water.
- mN:** miliNewtons
- m:** metro
- %:** Porcentaje
- ms:** miliSiemens.
- mg/l:** Miligramo por cada litro
- ppm:** Partes por millón
- TDS:** Total de sólidos disueltos
- MSCFPD:** Millones de pies cúbicos por día
- BOPD:** Barriles de petróleo por día
- BWPD:** Barriles de agua por día
- %BSW:** Porcentaje Basic Sediment Water
- CMC:** Concentración micelar crítica
- Ui:** Arena productora U inferior
- °C:** Grados Celsius
- API:** American Petroleum Institute
- %T:** Porcentaje de Transmitancia.
- Conc:** Concentración
- E:** Error
- Cond:** Conductividad



# Caracterización y Evaluación de Tobas Puzolánicas en el Sur del Ecuador, Caso de Estudio "Yamana" Cantón Paltas, Provincia de Loja

Guamán, Galo <sup>1,\*</sup> ; Ubidia, Carlos <sup>1</sup> ; Gualpa, Wilman <sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, Departamento de Geología y Minas e Ingeniería Civil, Loja, Ecuador

**Resumen:** En el presente artículo se presentan los resultados de la evaluación de la actividad puzolánica de tobas ubicadas en Barrial Blanco al sur del Ecuador. La metodología incluye ensayos físicos (módulo de finura, índice de puzolanidad, densidad de roca), químicos (pérdida por ignición, fluorescencia de rayos x y difracción de rayos x) y geofísicos (tomografía eléctrica vertical). La actividad puzolánica se determinó a partir de la resistencia a la compresión, según la norma ASTM C311 y C618. Dicho depósito tiene como recurso un total de 323 680 030 Tm de material aglomerante con un índice de puzolanidad promedio de 83,91%, determinado a partir de una resistencia media de 11,74 MPa de resistencia al corte tomando en cuenta la dosificación especificada para el desarrollo del ensayo. A su vez cuenta con una gran ventaja al poseer un 0,00109 m<sup>3</sup>/Ton de coeficiente de destape, ya que las rocas afloran en superficie. Finalmente, se categoriza el depósito a nivel de recurso indicado dentro de los márgenes de la clasificación JORC (1999) de recursos y reservas, ya que cuenta con un nivel de confianza razonable, pero no con un alto grado de certidumbre.

**Palabras clave:** puzolana, tobas puzolánicas, recursos, Yamana, Barrial Blanco.

## Characterization and Evaluation of Pozzolanic Tuffs in Southern Ecuador, Case Study "Yamana" Paltas Canton, Province of Loja

**Abstract:** This article presents the results of the evaluation of the pozzolanic activity of tuffs in Barrial Blanco of South Ecuador. The methodology includes physical (fineness modulus, pozzolanity index, rock density), chemical (loss on ignition, x-ray fluorescence and x-ray diffraction) and geophysical tests (vertical electrical tomography). Pozzolanic activity was determined from compressive strength, according to ASTM C311 and C618. Said deposit has as a resource a total of 323 680 030 Tm of binder material with an average pozzolanity index of 83.91%, determined from an average resistance of 11.74 MPa of shear resistance considering the dosage specified for the development of the trial. At the same time, it has a great advantage as it has a 0.00109 m<sup>3</sup> / Ton of uncovering coefficient, since the rocks emerge on the surface. Finally, the deposit is categorized at the indicated resource level within the margins of the JORC (1999) classification of resources and reserves, since it has a reasonable level of confidence, but not a high degree of certainty.

**Keywords:** pozzolana, pozzolanic tuffs, resources, Yamana, Barrial Blanco.

### 1. INTRODUCCIÓN

Las rocas y minerales industriales son el sector minero menos conocido de la economía nacional. Paladines (2010) indica que, según datos del Banco Central del Ecuador de los 32 sectores de la economía nacional, solo uno no precisa de insumos mineros (alquiler de vivienda), mientras que los 31 restantes los requieren, ya sea en forma de materia prima o como productos semielaborados y elaborados.

La industria minera no metálica al sur del Ecuador no está bien explorada, sin embargo, tiene mucho potencial. Actualmente las concesiones adjudicadas en esta región se limitan a arcillas, materiales pétreos como gravas, arena y a la explotación de oro en aluviales. Investigaciones realizadas por Malla (2016) en el cantón Saraguro logró determinar en diferentes sectores tobas con actividad Puzolánica con enorme potencial para la industria de la construcción, Cañicapa y Zunin son los centros que abastecen de material para la construcción en la zona. Más tarde Campoverde y Narváez (2017), lograron descubrir materiales tobáceos con actividad Puzolánica en los cantones de Gonzanamá y Paltas, con sitios potenciales en Purunuma y Barrial Blanco.

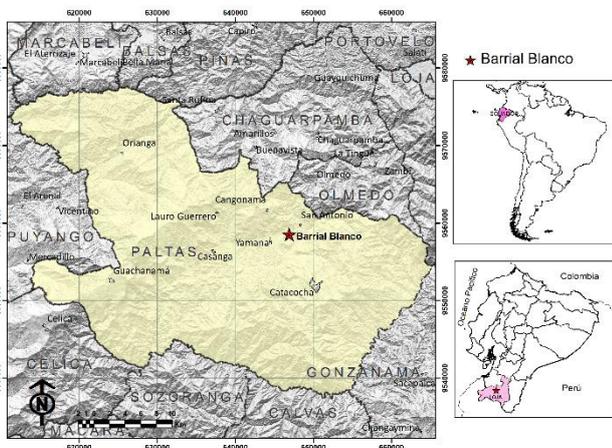
\*gaguaman2@utpl.edu.ec  
Recibido: 02/07/2019  
Aceptado: 23/03/2021  
Publicado: 31/05/2021  
10.33333/rp.vol47n2.04  
CC BY 4.0

En esta investigación los autores se centraron en la exploración y cuantificación del material puzolánico del sector conocido como Barrial Blanco ubicado en la parroquia Yamana, cantón Paltas de la provincia de Loja a través de la caracterización por medio de ensayos de laboratorio, evaluación de la potencia del depósito con la ayuda de tomografía de resistividad eléctrica (TRE) y mediante el método de los perfiles para cuantificar y categorizar el material en términos de recursos indicados.

Teniendo en cuenta el proceso de producción del cemento portland y los costos que implica, considerar el uso de puzolanas como insumo puede evidentemente reducir costos para la construcción en todo el alcance que el término abarca, especialmente para el sector inmobiliario si tomamos en cuenta el nivel de pobreza de las zonas rurales del sur del país.

### 1.1. Geomorfología del Área de Estudio

La parroquia Yamana, perteneciente al cantón Paltas, provincia de Loja, se ubica en la parte centro del cantón (Fig. 1), entre las parroquias Cangonamá al norte, Catacocha al sur, San Antonio al este y Casanga al oeste. El material aglomerante se ubica al sur del sector Barrial Blanco. Geomorfológicamente la zona de estudio se ubica en la cuenca Alamor-Lancones y forma un valle alargado de orientación NE-SW denominado “Valle de Casanga” esta depresión se encuentra formada por una serie de relieves colinados mayormente disectados y conformados por areniscas y conglomerados, grandes coluviales forman rellanos con superficies suaves además de relieves estructurales limitados por fallas regionales de dirección preferente SW-NE. Formando dos estructuras prominentes, al este del valle se aprecian dos superficies de cuevas moderadamente disectadas con buzamientos suaves hacia el noreste y limitadas en su flanco oeste por escarpes subverticales. Las cuevas han sido definidas en campo como cueva norte y cueva sur, siendo la primera con mayor potencial puzolánico y de mayor facilidad de acceso, la cueva sur está cubierta por una densa vegetación de régimen seco y es de difícil acceso. Estas geoformas tienen cotas que oscilan entre los 1240 a 980 m.s.n.m.



**Figura 1.** Mapa de ubicación del sitio Barrial Blanco en el cantón Paltas, parroquia Yamana al sur del Ecuador

## 2. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

Autores como Jaillard et al, (1999), Kenerly (1973) o Hungerbühler (2002) coinciden en que el valle de Casanga se encuentra perteneciendo a la Cuenca Sedimentaria Río Playas, la misma que a su vez corresponde a la parte noreste de la Cuenca Alamor-Lancones donde afloran rocas sedimentarias de edades Cretácico Tardío y Paleógenas (Jaillard, et al., 1999). La estratigrafía de la zona ha sido poco estudiada y aunque INIGEM (2017) formuló nuevas unidades en la cuenca existen algunas secuencias que estratigráficamente podrían no corresponder. A continuación, se describe estas secuencias, tomando información de INIGEMM (2017) y otros autores (Fig. 2).

El basamento de la cuenca corresponde a lavas basálticas y gabros de la Formación Punta de Piedra de edad Cretácico Temprano (Egüez y Poma, 2001), sobreyacida transicionalmente por la Unidad Celica compuesta por brechas, lavas basalto – andesíticas, hialoclastitas e intruída por el Batolito de Tangula. La Unidad Bramaderos de edad Albiense-Cenomaniense (Jaillard et al, 1999) sobreyace en contacto transicional a la Unidad Celica y consta de aglomerados, tobas, grauvacas y esporádicamente lavas basáltico-andesíticas y constituye la base de las unidades sedimentarias Naranjo y Casanga, las mismas que se encuentran sobreyaciéndola discordantemente. La Unidad La Ramada constituye una secuencia de tobas aglomeráticas grises, se encuentran sobreyaciendo en concordancia a la secuencia volcanoclástica de la Unidad Bramaderos y subyaciendo en discordancia a la Unidad Naranjo. Debido a su posición estratigráfica se le asigna una edad Turoniense-Coniaciense. La Unidad Naranjo y Unidad Casanga están formadas por sedimentos depositados en ambientes de abanicos submarinos (Vallejo, 2017). Jaillard et al. (1996) estima el espesor de la Unidad Casanga entre 200 y 400 m, Hungerbuhler (2002) la ubica entre el Campaniense Tardío y Maastrichtiense Temprano, mientras que Vallejo (2017) la ubica entre el Albiano a Santoniano. La Formación Río Playas, compuesta de conglomerados y areniscas cubren la Unidad Casanga y se la considera de edad Paleoceno-Eoceno (Vallejo, 2017). Sobreyaciendo a esta Unidad en el sector de Cerro Peña y parte alta de La Merced afloran tobas riolíticas y lavas que fue fechada por Hungerbuhler (2002) con una edad Oligoceno cerca del sitio Barrial Blanco (Fig. 1 y 2) y que corresponderían a la Unidad Loma Blanca sin embargo bajo estas secuencias afloran tobas dacíticas-riolíticas que quizás no fueron datadas y que corresponderían a rocas del Paleoceno de la Formación Sacapalca.

Las rocas con actividad puzolánica, correspondería a rocas de la Unidad Loma Blanca, que generalmente se encuentran meteorizadas y le dan un aspecto blanquecino a toda la zona (Fig. 10) claramente visible a través de fotografías aéreas y Google Earth. Geomorfológicamente las tobas se encuentran sobre dos superficies de cuevas estructurales denominadas en este estudio como cueva norte y sur, precisamente el estudio se centra en la cueva norte por su fácil accesibilidad y poca cobertura boscosa, aunque algunos puntos también se tomaron en la cueva sur.

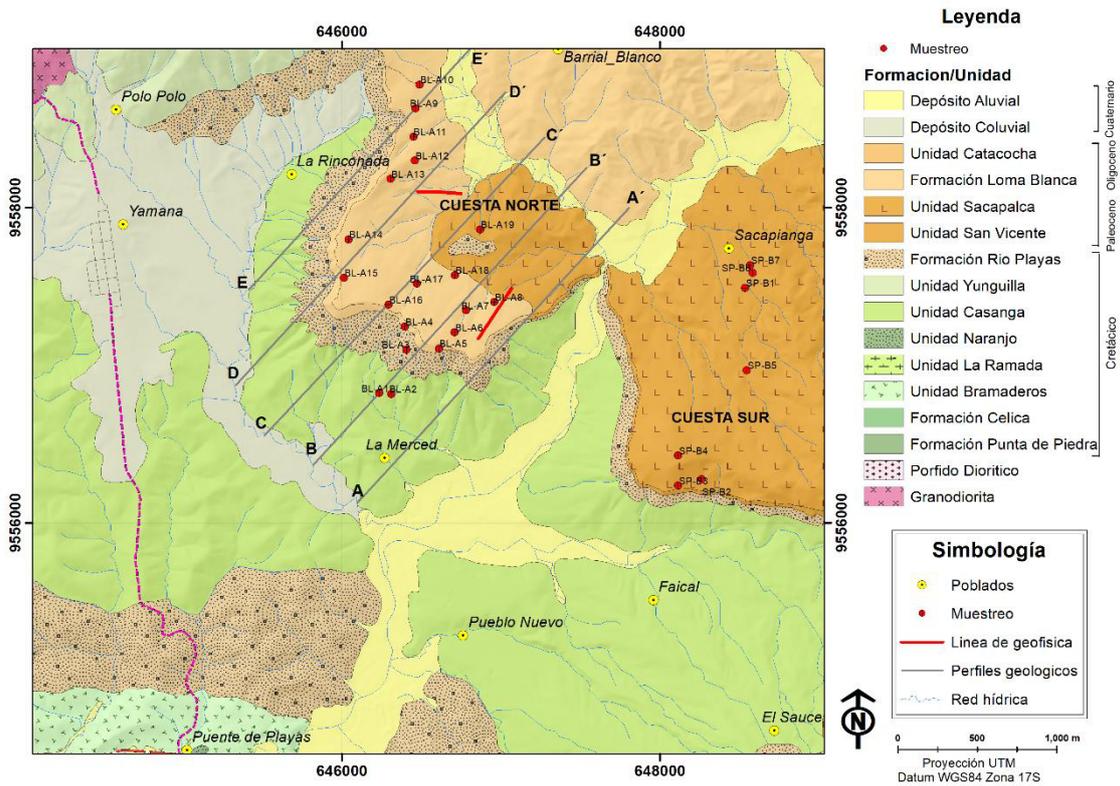


Figura 2. Mapa Geológico elaborado por los autores tomando como referencia la Hoja 39 edición 3, 2017 del INIGEMM

### 3. METODOLOGÍA

La metodología consistió en 4 etapas bien definidas (Fig. 3). La etapa uno inicia con la recopilación de información con el fin de tener una línea base de información geológica y las normas vigentes para el análisis de este recurso. Luego la etapa dos de campo donde se realiza el levantamiento geológico con la documentación de afloramientos y la recolección de muestras, así como los ensayos de exploración a través de tomografía eléctrica bajo la configuración de los electrodos Wenner-Schlumberguer debido a su facilidad para mover los electrodos usando para las lecturas y mediciones el Terrámetro SAS 4000 en dos líneas, una de 400 metros con 81 electrodos distribuido cada 5 metros y otra de 300 metros con 61 electrodos cada 5 metros, esto permitió definir en profundidad la potencia del material tobáceo. La etapa tres se realiza en laboratorio donde las muestras son procesadas y sometidas a análisis químico como pérdida por ignición (norma ASTM C114 - 04) donde se determina el contenido de agua, carbonatos que se descomponen liberando CO<sub>2</sub>, sulfatos y sulfuros que liberan SO<sub>2</sub>, tomando como referencia la pérdida de masa que sufre la muestra al ser expuesta a un incremento de temperatura con relación al peso inicial que posee antes de aplicarse el ensayo, según la norma este valor no debe superar el 10%, fluorescencia de rayos x con el equipo de espectrometría Bruker S-1 Turbo bajo la modalidad de finura bajo la norma ASTM C184-94, índice de puzolanidad bajo la norma ASTM C 311-02, peso específico de roca bajo la norma ASTM C 188-17, realizado mediante el uso del picnómetro en el cual se tomó en cuenta 4 medidas que son las siguientes:

- Peso del picnómetro vacío (P1)
- Peso del picnómetro + muestra (P2)
- Peso picnómetro + agua (P3)
- Peso picnómetro + agua + muestra (P4)

$$PE = \frac{P2 - P1}{(P3 - P1) - (P4 - P2)} \quad (1)$$

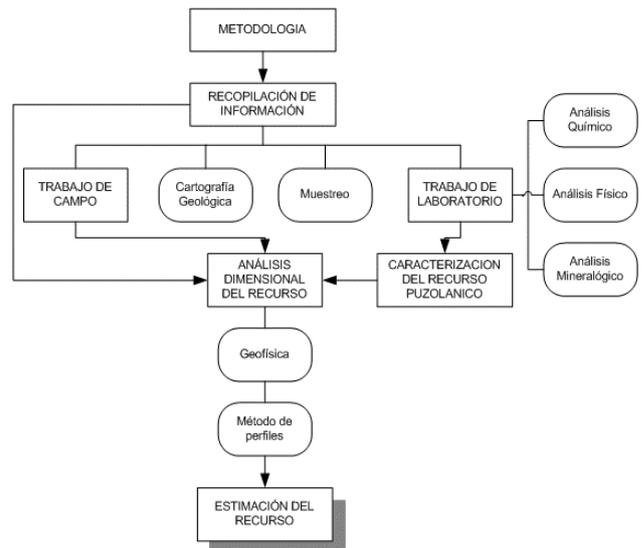


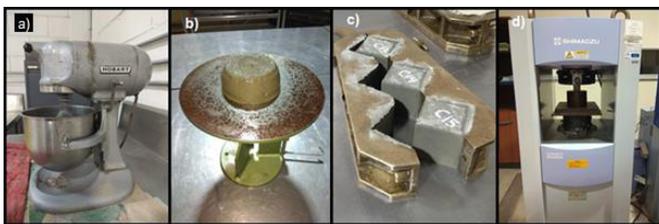
Figura 3. Diagrama de flujo sobre la metodología de trabajo

Se realizaron análisis mineralógicos mediante difracción de rayos x con el equipo Bruker D8 Advanced y análisis al microscopio de láminas delgadas y muestras de mano de roca.

Para el presente caso de estudio se consideró oportuno basarse principalmente en tres especificaciones para catalogar el material como puzolanas naturales:

- La suma total de la composición química del material entre la cantidad de sílice, aluminosilicatos y óxidos de hierro no debe ser menor al 70%.
- La cantidad total de materia orgánica, carbonatos, sulfatos y sulfuros presentes no deben ser mayores al 10% del total en peso.
- El índice de actividad puzolánico no debe ser menor al 75%.

La normativa sugiere una dosificación establecida en donde se utilizan 500 g de cemento portland, 1375 g de arena fina gradada y 242 ml de agua para la mezcla de control (Fig. 4a y b). Esta cantidad está fijada para 6 morteros de forma cúbica encofrados en moldes estándar de 5 x 5 x 5 cm (Fig. 4c). Sin embargo, la dosificación puede variar según la resistencia que se pretenda alcanzar y la fluidez de la mezcla que permiten una mejor trabajabilidad de los morteros. Una vez definida la mezcla estándar, el procedimiento indica proceder con la sustitución al 20% de puzolanas por el cemento portland. Finalmente, al término de 7 días de curado en agua se realiza la rotura sometiendo los morteros a esfuerzo y se determina la resistencia en base al área de contacto entre la superficie del mortero y la prensa (Fig. 4d). Según la norma ASTM 618 "Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete" el índice de actividad puzolánica que se realiza según la norma ASTM C 311-02 para puzolanas de tipo "N" al cabo de 7 días debe encontrarse por encima del 75%.



**Figura 4.** a) Preparación de la mezcla para morteros. b) Ensayo de fluidez. c) Desencofrado de morteros. d) Resistencia a la compresión simple de morteros

En la etapa final se realiza la compilación, edición, y cálculos correspondientes, con la información obtenida y generada además se evalúa el recurso puzolánico, en cuanto a si el material cumple las normas establecidas para su denominación puzolánica sobre los parámetros descritos en la norma ASTM C 618 "Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calciner Natural Pozzolan For Use in Concrete". Y se realiza el cálculo del tonelaje de las tobas puzolánicas, categorizándolas bajo el código JORC (1999) que, según Stephenson P, R (2001) es una estimación del tonelaje (o volumen) y ley (o calidad) como recurso mineral o reserva de mineral y para la subdivisión de cada uno en categorías. Estos recursos minerales se subdividen, en orden ascendente de la confianza geológica, en categorías de Inferidos, Indicados y Medidos.

Para la evaluación del tonelaje se empleará el método de los perfiles geológicos que se basa en las siguientes ecuaciones presentadas por Bustillo Revuelta & López Jimeno (1997):

$$V = \frac{A_1 + A_2}{2} \times D_{1-2} \quad (2)$$

Dónde:

V= volumen del yacimiento (m<sup>3</sup>)

A1= área del perfil número uno (m<sup>2</sup>)

A2= área del perfil número dos (m<sup>2</sup>)

D1-2= Distancia comprendida entre el perfil uno y perfil dos (m)

El proceso se realiza una vez determinados los contactos geológicos, los perfiles geofísicos (Fig. 8) y geológicos (Fig. 9), además de columnas estratigráficas. Para ello se realiza 5 perfiles en dirección suroeste – noreste (Fig. 2) a través de la cuesta principal con una distancia de separación de 400 metros entre cada uno, el área de las secciones se construye y calcula en GIS (Fig. 8).

Para el cálculo de los extremos, se debe usar el área próxima al cierre por la distancia del perfil más próximo al límite de dicho cierre.

$$V = \frac{S \times D}{2} \quad (3)$$

Dónde:

V= volumen sección (m<sup>3</sup>)

S= área próxima al cierre (m<sup>2</sup>)

D= distancia del perfil más próximo al límite (m)

Finalmente, el cálculo del tonelaje de material es necesario la sumatoria de volúmenes de acuerdo con el número de perfiles planteados, multiplicado por la densidad del material estudiado.

$$\text{Ton} = V \times \rho \quad (4)$$

Dónde:

Ton= tonelaje del yacimiento (tn)

V= volumen del yacimiento (m<sup>3</sup>)

$\rho$ = densidad del material (tn/m<sup>3</sup>)

Finalmente una vez concluido el análisis dimensional del depósito, se procede a calcular su coeficiente de destape, el mismo que es el cociente entre la cantidad de material estéril y el de material útil del yacimiento o depósito, aplicando la siguiente fórmula según Bustillo Revuelta & López Jimeno (1997).

$$K_m = \frac{V_e}{R_m} \quad (5)$$

Dónde:

K<sub>m</sub>= Coeficiente medio de destape

V<sub>e</sub>= Volumen total de estéril a destapar

R<sub>m</sub>= Tonelaje de reservas de material a extraer

#### 4. RESULTADOS

La campaña de muestreo se desarrolló mayormente en la cuesta estructural norte por su mayor accesibilidad y material aflorante meteorizado. Se recolectaron muestras de aproximadamente 25Kg cada 300m a priori (Fig. 2) con el fin de evaluar los materiales e interpretar la naturaleza y

características del depósito puzolánico para finalmente categorizar y cuantificar el recurso. Las rocas aflorantes están compuestas de tobas de cristales de composición riolítica indicado por INIGEMM (2017) en la carta de Cariamanga. Estas rocas forman superficies blanquecinas en casi toda el área de la cuesta norte (Fig 10 A) denominado como Barrial Blanco por su cercanía a este poblado (Fig. 10 C y D). En la cuesta sur denominada Sacapianga (Fig. 10 E), las tobas puzolánicas son más restringidas por la predominancia de tobas líticas y mayormente de composición dacítica, estas rocas más compactas y poco meteorizadas (Fig. 10 F) no tiene un potencial económico importante para su explotación artesanal debido a que para su proceso es necesario mayor inversión en extracción, trituración y pulverización.

En total se levantaron un total de 26 puntos dentro del área de estudio (Fig. 2) y como se puede ver en los resultados del ensayo de FRX (Tabla 2), todas las muestras superan estos requisitos, sin embargo, se ha visto conveniente realizar todos los ensayos solamente en 6 muestras debido a su ubicación estratégica que cubren el área del depósito. La elección de estas muestras se realiza debido a que la mayoría de las muestras (ver Tabla 1) posee una regularidad en cuantos a sus componentes químicos obtenidos del análisis de FRX que permiten tener una idea general de las características del yacimiento al momento de su evaluación.

Estas muestras son BL-A5, BL-A8, BL-A11, BL-A14, BL-A16, BL-A19.

**Tabla 1.** Coordenadas de los puntos estudiados

Código	Coordenadas	
	X	Y
BL-A5	646 612	9 557 105
BL-A8	646 961	9 557 400
BL-A11	646 451	9 558 450
BL-A14	646 044	9 557 798
BL-A16	646 296	9 557 384
BL-A19	646871	9 557 861

#### 4.1. Fluorescencia de rayos x (FRX) y Difracción de rayos X (DRX)

Se analizaron las muestras con el fin de valorar si cumplen los requisitos de la norma ASTM C618 para la determinación de puzolanas naturales, en la cual indica que la suma de porcentajes de dióxido de sílice, óxido de aluminio y óxido de hierro debe ser mayor o igual al 70%. En la Tabla 2 se puede evidenciar que todas las muestras tienen un porcentaje superior al 66% de SiO<sub>2</sub>, un porcentaje superior al 15% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y con valores mayores al 1,9% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, sumados estos valores superan el 70% exigido por la norma, por lo que cumplen la condición de puzolana naturales.

**Tabla 2.** FRX de muestras tomadas en las cuestas norte y sur

SUPERFICIE DE CUESTA NORTE							
Muestra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
BL-A4	73.00	17.70	4.530	0.286	0.201	0.050	1.930
<b>BL-A5</b>	76.60	16.30	3.400	0.439	0.176	0.052	2.370
BL-A6	73.70	17.20	4.080	0.242	0.166	0.046	2.430
BL-A7	68.30	17.00	1.410	0.072	0.166	0.064	3.440
<b>BL-A8</b>	70.50	17.40	1.650	0.134	0.199	0.069	3.650
BL-A9	76.20	15.70	3.250	1.750	0.240	0.070	2.280
<b>BL-A11</b>	75.20	18.10	2.830	0.150	0.194	0.0796	2.870
BL-A13	66.60	22.60	3.570	0.092 7	0.148	0.0502	2.140
<b>BL-A14</b>	69.60	23.50	1.980	0.075	0.173	0.0529	2.810
<b>BL-A16</b>	72.20	23.50	1.540	0.104	0.146	0.0458	2.110
BL-A17	73.30	17.60	4.940	0.11	0.172	0.0758	2.790
BL-A18	67.3	25	3.17	0.074 3	0.177	0.0506	2.26
<b>BL-A19</b>	66.5	27.1	2.82	0.15	0.176	0.0523	2.59
Promedio	71.46	19.90	3.01	0.28	0.18	0.06	2.59
SUPERFICIE DE CUESTA SUR							
Muestra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
SP-B1	61.30	20.30	2.190	0.163	0.272	0.066	1.310
SP-B3	62.40	22.80	0.541	2.510	0.785	0.225	5.380
SP-B4	61.30	24.90	0.348	0.215	0.707	0.078	4.690
SP-B5	62.9	22.5	1.76	0.449	0.651	0.0727	3.930
SP-B6	72.1	15.6	4.74	0.090 2	0.636	0.16	4.92
Promedio	61.12	20.95	1.62	1.30	0.69	0.18	5.89

Las Figuras 5A y 5B muestran el contenido de óxidos de sílice, aluminio y hierro, donde se puede evidenciar que los valores de óxido de silicio son más altos en la cuesta norte en un 10%, mientras que los valores del óxido de aluminio y hierro son ligeramente superiores en un 1 a 3% respectivamente.

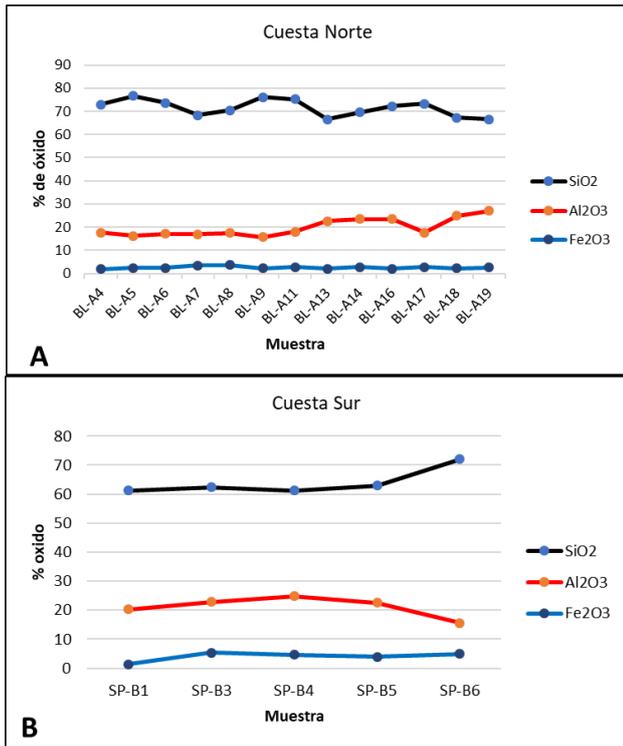


Figura 5. Relación de óxidos de sílice, aluminio y hierro, (A) cuesta norte el porcentaje de sílice es mayor que en la cuesta sur (B)

Si comparamos con las puzolanas estudiadas por el Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico (Casto, 2017) en las zonas de Panzaleo y Jachaguangu ubicadas en el cantón Pujilí de la provincia de Cotopaxi, la puzolana de Panzaleo tiene un contenido del 84.1% y la de Jachaguangu del 84.9% con el promedio de las puzolanas de Barrial Blanco en la cuesta norte que es de 93,9%, mientras que en la cuesta sur en Sacapianga es de 85,2%, demuestran que la puzolana natural del sur del Ecuador también es apta para su utilización en la producción de hormigones.

El análisis de DRX muestra que existe minerales de zeolita con porcentajes inferiores al 7% e importantes cantidades de caolinita de hasta el 33%, este silicato de aluminio hidratado, de color blanco puede tener colores rojizos debido a las impurezas, el caolín le da una coloración blanquecina a todo el sector.

Tabla 3. DRX de muestras tomadas en las cuestras norte

MINERALES	BL-A5	BL-A8	BL-A11	BL-A14	BL-A16	BL-A19
	%					
cuarzo	57,17	64,4	48,87	60,16	61,38	57,48
albita	-	-	0,32	-	-	-
cristobalita	-	1,94	-	-	0,35	-
tridimita	2,06	3,3	-	-	4,75	4,09
sanidina	10,32	1,54	18,1	-	3,89	10,04
caolinita	20,89	19,54	-	33,85	25,40	21,73
montmorillonita	-	1,63	9,06	-	-	3,87
zeolitas						
vermiculita	-	0,78	-	2,5	0,89	-
mordenita	7,25	0,37	5,07	1,85	-	-
chabazita	-	0,11	0,13	-	-	-
heulandita	1,35	0,09	0,13	0,13	-	2,43
philipsita_k	-	-	-	-	2,16	-
muscovita	0,89	-	9,71	-	1,07	0,33
flogopita	-	-	-	0,13	-	-
goetita	-	-	-	1,39	0,10	-

El caolín calcinado es un material cementante suplementario, dado que es un aluminosilicato activado térmicamente que a una cierta temperatura se produce una transformación de su estructura cristalina, en consecuencia, este material adquiere características similares al de la puzolana natural, las que pueden ser aprovechadas por las industrias cementeras. El cuarzo muestra porcentajes superiores al 49%, aunque también contiene variedades polimorfas como la cristobalita y tridimita (Fig. 6).

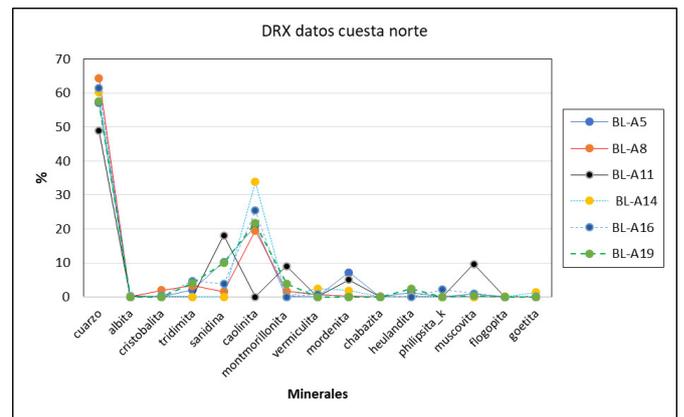


Figura 6. La presencia de cuarzo generalmente es mayor al 50% que evidencian un ambiente volcánico ácido en la zona

Estos porcentajes están ligados con la composición riolítica por su contenido rico en sílice y feldespato alcalino (sanidina) y con cantidades menores de plagioclasa y muscovita (ver fig. 6). Las tobas riolíticas de color blanco estratificadas, en algunos casos presentan procesos de alteración que dan lugar a la formación de caolín (Fig 10 B y C), estas rocas de la Formación Loma Blanca están asignadas a un arco volcánico continental del Eoceno-Oligoceno. (Hungerbühler, 2002)

4.2. Pérdida por ignición

Aplicando las especificaciones descritas en la norma ASTM C114 – 04 las muestras no superan el 10% de pérdida por ignición.

Tabla 4. Resultados de pérdida por ignición

Código	W. Crisol Vacío (gr)	W. Muestra (gr)	W. Crisol + Muestra (gr)	W. Crisol + Muestra Calcinada (gr)	W. Muestra Calcinada (gr)	Pérdida por ignición (%)
BL-A5	25,47	1,43	26,90	26,80	0,10	6,99
BL-A8	25,69	1,61	27,30	27,22	0,08	4,97
BL-A11	14,11	1,38	15,49	15,42	0,07	5,07
BL-A14	25,81	1,77	27,57	27,50	0,07	3,95
BL-A16	15,67	1,26	16,93	16,88	0,05	3,97
BL-A19	26,33	1,84	28,17	28,06	0,11	5,98

4.3. Peso específico

El ensayo se lo practica de acuerdo a la norma ASTM C 188-17, y se hicieron para las 6 muestras, los análisis realizados indican un promedio total de 2,496 gr/cm<sup>3</sup> para las rocas tobáceas.

Tabla 5. Resultados de peso específico

Código	Nº Ensayo	Parámetro				Peso específico	
		P1	P2	P3	P4	Pe gr/cm3	Promedio gr/cm3
BL-A5	1	8,74	9,62	13,69	14,21	2,44	2,39
	2	9,25	10,45	15,76	16,45	2,35	
	3	9,27	10,08	14,52	14,99	2,38	
BL-A8	1	9,25	10,88	15,77	16,73	2,43	2,43
	2	8,70	9,71	13,76	14,34	2,35	
	3	9,26	10,62	14,50	15,32	2,52	
BL-A11	1	9,26	10,47	14,53	15,23	2,37	2,43
	2	8,72	9,91	13,74	14,44	2,43	
	3	8,70	10,12	13,79	14,64	2,49	
BL-A14	1	9,24	11,40	15,81	17,17	2,70	2,61
	2	9,26	10,63	14,50	15,32	2,49	
	3	8,70	10,07	13,75	14,60	2,63	
BL-A16	1	9,26	10,53	14,55	15,28	2,35	2,57
	2	8,73	10,09	13,70	14,57	2,78	
	3	9,25	10,92	15,79	16,81	2,57	
BL-A19	1	8,73	9,98	13,70	14,47	2,60	2,55
	2	8,70	10,11	13,75	14,61	2,56	
	3	8,73	10,36	13,70	14,67	2,47	
Promedio total						2,496	3

4.4. Índice de actividad puzolánica

La Tabla 6 y Figura 7 muestra los resultados de este análisis, lo cual evidencia que casi todas las muestras cumplen esta condición con excepción de la muestra BL-A8 y BL-A11 que está ligeramente por debajo del valor establecido (<75%).

Tabla 6. Resultados del índice de actividad puzolánica

Nro/Código	Resistencia a los 7 días (MPa)			Resistencia Promedio (Mpa)	Índice de Puzolanidad (%)
	Mortero #1	Mortero #2	Mortero #3		
1. Mortero de Control	13,89	13,52	13,44	13,62	
2. BL-A5	12,67	11,39	7,98	10,68	78,42
3. BL-A8	9,92	10,47	8,78	9,72	71,40
4. BL-A11	10,14	8,97	11,22	10,11	74,22
5. BL-A14	11,41	13,56	12,21	12,39	91,01
6. BL-A16	12,72	13,17	12,08	12,66	92,96
7. BL-A19	12,69	12,17	14,14	13,00	95,49

Mpa=Megapascales

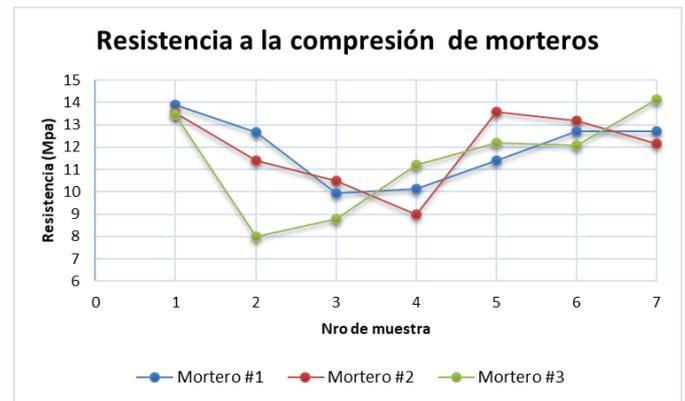


Figura 7. Resistencia a la compresión de morteros a los 7 días de curado

A pesar de que las muestras 3 y 4 de la Tabla 6 muestran resultados por debajo del 75% de puzolanidad, su resistencia a la compresión es mayor a la de un ladrillo convencional pues soportan cargas mayores a 9 Mpa (Fig 7); es decir aproximadamente 90 Kg/cm<sup>2</sup>.

4.5. Geofísica para determinar la potencia del recurso

Una vez conocido el contexto geológico en superficie, es necesario tener una idea de la potencia en profundidad del recurso puzolánico. Para ello se realizó dos líneas de tomografía ubicadas estratégicamente de forma perpendicular al buzamiento de las capas geológicas; con dirección preferencial suroeste – noreste (ver fig. 2). En los dos perfiles de geofísica se pudo identificar la variación de resistividad que delimita de forma clara las litologías presentes, así la arenisca presenta una resistividad eléctrica de 100 a 6.4x10<sup>8</sup> Ωm, conglomerados con valores de 20 a 110 Ωm y las tobas puzolánicas con rango de 2x10<sup>3</sup> a 10<sup>5</sup> Ωm. Al existir gran variabilidad de resistividades (Fig. 8), es notorio la potencia de la capa de puzolanas, correspondiente a un promedio entre 15 y 20 metros, sin embargo, existen zonas

donde esta potencia asciende hasta los 60 metros como lo que se evidencia en la tomografía del perfil 1 en la zona naranja (Fig. 8), debido a ello en los perfiles realizados donde no hay datos de potencia se toma como valor promedio una potencia de 40m.

Los perfiles geofísicos realizados en este estudio fue únicamente para deducir el espesor de la toba, permite además ver claramente la presencia de varios cuerpos de roca saturada con agua (resistividad <math>< 5 \Omega m</math>) de gran tamaño, considerando que el ensayo fue realizado en época de lluvia, se deduce por lo tanto que los conglomerados y areniscas tienen esta capacidad de almacenar agua que podría ser aprovechado en épocas de verano por los pobladores del valle.

4.6. Cálculo del recurso

Los cálculos de volumen del yacimiento son a partir de la metodología previamente descrita, usando las fórmulas (1,2 y 3) del cálculo de reservas.

La Tabla 7 muestra los volúmenes obtenidos de las diferentes secciones realizadas

Tabla 7. Cálculo de volúmenes por método de perfiles geológicos

PERFIL	AREA DE SECCION (m2)	DISTANCIA ENTRE PERFIL (m)	VOLUMEN (m3)
A-B	35783	400	22 515 400
B-C	76794	400	32 331 200
C-D	84862	400	37 714 600
D-E	103711	400	26 427 0 00
Zona limite 1	84973	188	7 987 462
Zona limite 2	49927	188	2 496 350

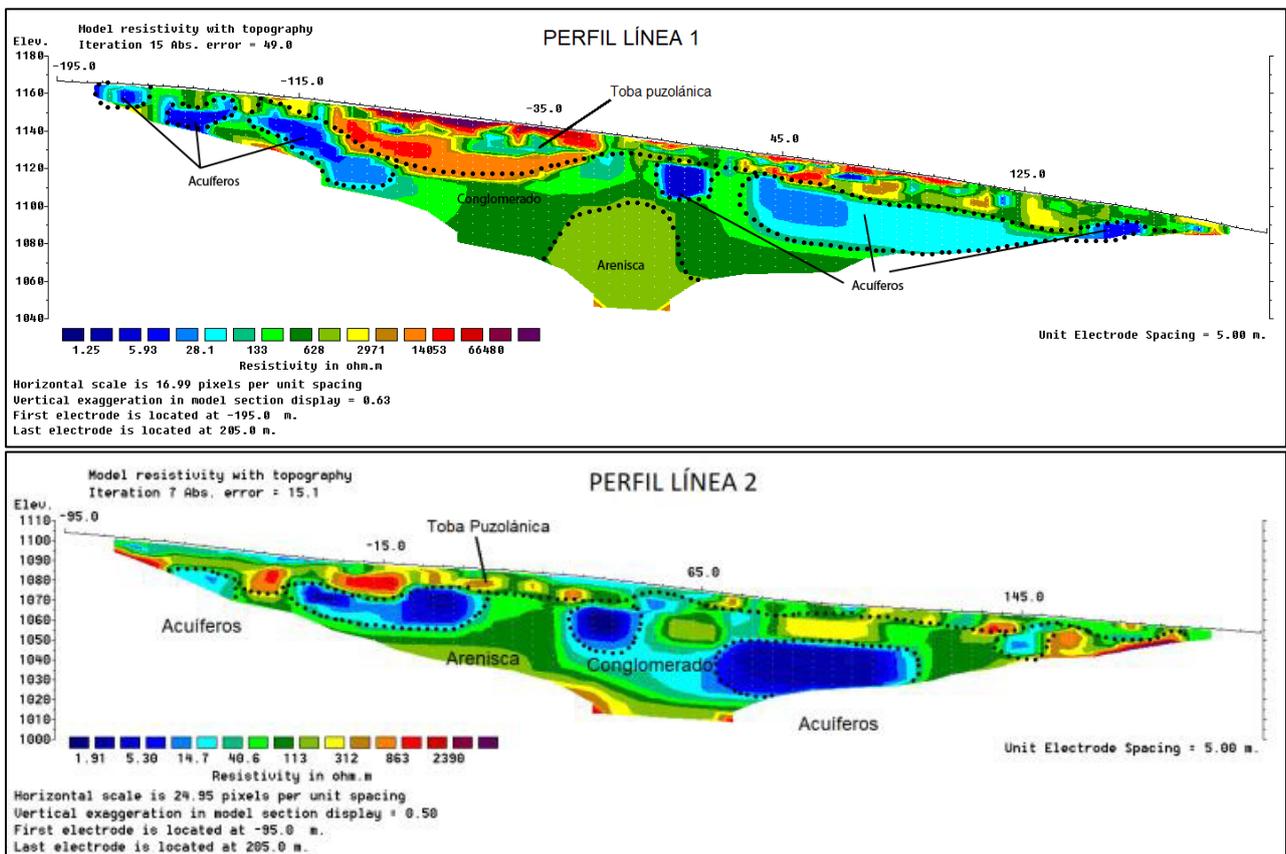


Figura 8. Perfil geofísico línea 1 y línea 2 realizado en la cuesta norte, nótese que las tobas se ajustan al paleo-relieve de la zona, las resistividades más bajas indican la presencia de acuíferos

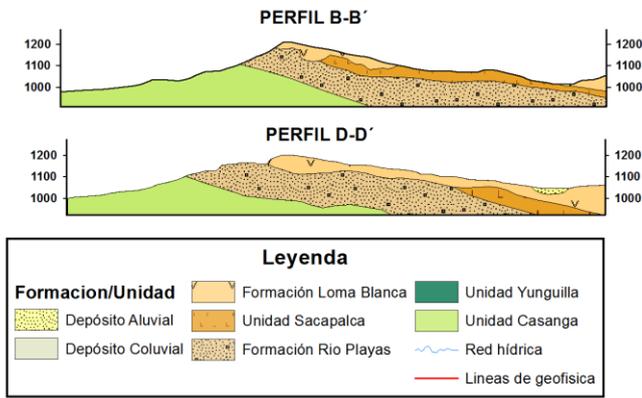


Figura 9. Perfiles geológicos B y D dispuestos en la cuesta norte como parte del cálculo de recursos

El Volumen total es de 129 472 012 m<sup>3</sup>, el tonelaje total tomando en cuenta el peso específico de la roca de 2,5 t/m<sup>3</sup> es de 323 680 030 t.

Con todos estos resultados podemos decir que el yacimiento de puzolana se mantiene dentro de los parámetros establecidos por el índice JORC (1999) para ser un *recurso mineral indicado* que

se ha estimado con un nivel razonable de confianza el tonelaje, densidad, forma, características físicas, ley y contenido mineral basado en información sobre exploración, muestreo y pruebas reunidas mediante técnicas apropiadas en afloramientos y geofísica. Las ubicaciones están demasiado espaciadas o su espaciamiento es inapropiado para confirmar la continuidad geológica y/o de ley, pero está espaciada con suficiente cercanía para que se pueda suponer continuidad. Por ende, con un estudio más minucioso y perforaciones podría subir de categoría.

4.7. Coeficiente de destape

Para el cálculo del volumen del material estéril se realiza el mismo método que para calcular el área de la capa puzolánica, obteniendo un valor de 1773248 metros cuadrados multiplicados por 0,3 metros de profundidad del suelo, quedando 531 974,4 m<sup>3</sup> de capa estéril.

Por lo tanto, el coeficiente de destape es de 0,00109 m<sup>3</sup>/Ton, con este valor se pretende demostrar que el recurso puzolánico es muy eficiente para su extracción por su coeficiente de destape menor al 1%, indicando que los costos de destape a su vez también serán mínimos.



Figura 10. Mosaico de afloramientos: A. Frente de Cuesta norte, B, C. afloramientos de tobas de cristales meteorizadas blanquecinas y amarillas, D. Contacto entre Tobas de cristales y tobas líticas en la base. E. Frente de Cuesta Sur, F. Afloramiento de tobas líticas en Sacapianga

## 5. CONCLUSIONES

Se identificó tres tipos de tobas presentes dentro del área de estudio, las primeras descritas como tobas de cristales con características puzolánicas ubicadas en la parte oeste cerca de Barrial Blanco, las segundas identificadas como tobas de cristales silicificadas ubicadas en contacto fallado con las tobas antes descritas y las terceras como tobas líticas localizadas en la zona este cerca de Sacapianga.

Todas las muestras analizadas con FRX cumplen la norma ASTM C 618 "Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calciner Natural Pozzolan For Use in Concrete", en donde la suma total de la composición química del material entre la cantidad de sílice, aluminosilicatos y óxidos de hierro son mayores al 70%. Comparadas con puzolanas del norte del país como las de Panzaleo y Jachaguangu ubicadas en el cantón Pujilí de la provincia de Cotopaxi, demuestran que la puzolana natural del sur del Ecuador también es apta para su utilización en la construcción de viviendas de interés social.

Los resultados muestran que todas las muestras no superan el 10% de pérdida por ignición. Y el peso específico en promedio es 2.496 gr/cm<sup>3</sup>.

De acuerdo con los parámetros de la norma ASTM C 618 únicamente cumplen actividad puzolánica las tobas de cristales de la cuesta norte perteneciente a Barrial Blanco con valores de 71 a 95% de índice de puzolanidad, de las cuales los resultados de DRX determinaron cristales de cuarzo, tridimita, sanidina, caolinita, muscovita, montmorillonita, vermiculita, albita, goetita, y del grupo de zeolitas se encuentra mordenita, chabazita, heulandita, philipsita y chabazita, además de gran cantidad de vidrio volcánico. Debido a la alta meteorización del lugar, los feldespatos están siendo alterados en caolinita. Estos resultados indican que las rocas son de composición riolítica por su contenido rico en sílice y feldespato alcalino (sanidina) en concordancia con INIGEMM mencionado en la carta de Cariamanga.

No resultó factible el cálculo y evaluación de la capa de puzolana en la cuesta sur en Sacapianga debido a que posee una exuberante vegetación con respecto a la cuesta norte.

Los resultados de la tomografía de resistividad eléctrica confirmaron una profundidad promedio de la capa puzolánica de entre 15 y 40 metros donde es visible algunos cuerpos acuíferos contenidos en conglomerados debajo de las tobas. Dichos acuíferos constituyen zonas que podrían aportar agua en época de verano si se explotan adecuadamente.

El volumen y tonelaje de la puzolana en la cuesta de Barrial blanco es de 323 680 030 toneladas. El yacimiento de puzolana se mantiene como un recurso mineral indicado dentro de los parámetros de categorización JORC, (1999) estimado con un nivel razonable de confianza el tonelaje, densidad, forma, características físicas, ley y contenido mineral, basado en información sobre exploración, muestreo y pruebas reunidas mediante técnicas apropiadas en afloramientos y geofísica.

Finalmente la puzolana de Barrial Blanco por su estado de meteorización dominante y su escaso recubrimiento estéril no requiere de costos elevados de inversión para su extracción y proceso de trituración y molienda, no obstante existen lugares donde habría que utilizar máquinas para excavar y obtenerla, sin embargo comparando con la explotación de canteras y procesos de producción para la obtención de cemento, los costos son más bajos, y se podría fomentar la creación de nuevas plazas de trabajo en la explotación de puzolanas para la elaboración de baldosas y bloques como material para la industria de la construcción de viviendas de bajo coste, necesarias en el sur del Ecuador.

## AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen la ayuda brindada a los docentes del laboratorio mineralogía, geofísica Ing. Yan Jumbo, resistencia de materiales, mecánica de suelos Mgtr. Berenice Zúñiga e Ing. Diego Mata del Departamento de Geología y Minas e Ingeniería Civil de la UTPL por las facilidades prestadas para la ejecución de la presente investigación.

## REFERENCIAS

- ASTM. (2003). C184-02 "Standard Test Method For Finness Of Hydraulic Cement By The 150-Micrometer (No.100) And 75-Micrometer (No.200) Sieves (Aashto T128)".
- ASTM. (2002). C184-94 "Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by the 150- $\mu$ m (No. 100) and 75- $\mu$ m (No. 200) Sieves (Withdrawn 2002)."
- ASTM. (2003). C114-04 "Standard Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement."
- ASTM. (2003). C311-02 "Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use as a Mineral Admixture in Portland-Cement Concrete."
- ASTM. (2003). C618 "Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete."
- Bustillo, M., y López, C. (1997). Manual de evaluación y diseño de explotaciones mineras. Entorno Gráfico. Retrieved from [https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as\\_sdt=0%2C5&q=lopez+jimeno>manual+de+evaluacion+y+explotacion&btnG=](https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=lopez+jimeno>manual+de+evaluacion+y+explotacion&btnG=)(Febrero, 2018)
- Campoverde, W., & Narvaéz, L. (2017). Caracterización y Evaluación de Las Puzolanas del Cantón Gonzanama y Paltas. Universidad Técnica Particular de Loja. Obtenido de <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/18392>. (Mayo, 2018).
- Castro, C. M. J., Albear, J. J. H., Alcivar, M. S. G., & Brito, S. (2017). Impacto de la utilización de puzolanas

naturales ecuatorianas. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT* ISSN: 2588-0721, 2(1), 1-5. <https://doi.org/10.33936/riemat.v2i1.931>

Egüez A. y Poma O. (2001). La Cuenca Alamor-Lancones en el contexto geodinámico de los Andes de Huancabamba, SW Ecuador. Cuartas Jornadas en Ciencias de la Tierra, Memorias, Escuela Politécnica Nacional. pp 19-22.

GAD Paltas. (2015). Matriz de plan de desarrollo y ordenamiento territorial. Retrieved from [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdiagnostico/1160027520001\\_DIAGNOSTICO\\_ULTIMO\\_YAMANA\\_05-10-2015\\_08-52-44.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1160027520001_DIAGNOSTICO_ULTIMO_YAMANA_05-10-2015_08-52-44.pdf)

Hungerbühler, D., Steinmann, M., Winkler, W., Seward, D., Egüez, A., Peterson, D. E., Hammer, C. (2002). Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador. *Earth-Science Reviews*, 57(1-2), 75-124. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(01\)00071-X](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(01)00071-X)

INIGEMM. (2017). Hoja geológica Cariamanga, Escala 1:100000.

Jaillard, E., Laubacher, G., Bengtson, P., Dhondt, A. V., & Bulot, L. G. (1999). Stratigraphy and evolution of the Cretaceous forearc Celica-Lancones basin of southwestern Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences*, 12(1), 51-68. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(99\)00006-1](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(99)00006-1).

JORC, (1999), Australasian code for reporting of mineral resources and ore reserves (the JORC code), Joint Ore Reserve Committee of the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Australian Institute of Geoscientists and Minerals Council of Australia, 16 p.

Kennerley, J. B. (1973). Geology of the Loja Province, Southern Ecuador. Institute of Geological Sciences, Report, 23, 1-34.

Malla, K. (2017). Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro. Universidad Técnica Particular de Loja. Obtenido de: <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/17544>. (Mayo 2018).

Paladines, A, Soto, J. (2010). Geología y yacimientos minerales del Ecuador Agustín Paladines - Loja, Ecuador : UTPL, 311 p.

Stephenson, P, R. (2001) The JORC code, *Applied Earth Science*, 110:3, 121-125, DOI:10.1179/aes.2001.110.3.121

Steinmann, M., Hungerbühler, D., Seward, D., & Winkler, W. (1999). Neogene tectonic evolution and exhumation

of the southern Ecuadorian Andes: A combined stratigraphy and fission-track approach. *Tectonophysics*, 307(3-4), 255-276. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(99\)00100-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00100-6).

Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics*. Book. <https://doi.org/10.1180/minmag.1982.046.341.32>

Valarezo Cuenca, M. E. (2017). Una sub-cuenca de antearco pre-acrecionaria del cretácico tardío: sub-cuenca río playas, sur del Ecuador. Tesis ingeniería. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

## BIOGRAFÍAS



**Galo Alexander Guamán Jaramillo**, Ingeniero en Geología y Minas por la Universidad Técnica Particular de Loja en 2002, con Diplomado y Maestría en Sistemas de Información Geográfica en 2010 por la Universidad San Francisco de Quito. Experiencia laboral como geólogo en la empresa de vialidad del Sur Loja (VIALSUR-EP), técnico de geomorfología en el Instituto de Investigaciones Espaciales IEE (exCLIRSEN), técnico de catastro y analista minero en la Agencia de Regulación y Control Minero (ARCOM), consultor privado en geología, geotecnia y cartografía en la empresa GCA Consultores, técnico geomorfológico del Herbario Loja y Programa Podocarpus en proyectos de zonificación ecológica. Actualmente docente en la UTPL en la carrera de ingeniería en geología y candidato a doctor en Ciencias de la Tierra en la Universidad de Granada-España.



**Carlos Fernando Ubidia Terán**, graduado como Ingeniero en Geología y Minas en la Universidad Técnica Particular de Loja y egresado de la maestría de Planificación y Diseño de Minas de la Cámara Minera del Perú. Nacido en la ciudad de Cotacachi – Imbabura el 10 de Julio de 1995. Experiencia profesional como Técnico de Planificación y Ordenamiento Territorial en el GADM Zaruma, actualmente ejerce como consultor independiente de fotogrametría, topografía y geología.



**Wilman Fernando Gualpa Guaycha**, Ingeniero en Geología y Minas (2018). Graduado en la Universidad Técnica Particular de Loja. Nació en la ciudad de Loja, Ecuador en 1996. Se desempeñó como Técnico en el Departamento Geológico Minero en la compañía AGRIMROC S.A. Actualmente forma parte de la unidad cartográfica del Instituto Nacional

de Estadísticas y Censos (INEC).

# Determinantes del Rendimiento Académico de los Estudiantes de una Universidad Pública Ecuatoriana

Medina, Julio <sup>1</sup> ; Pinzón, Kathia <sup>2</sup> ; Salazar-Méndez, Yasmín <sup>1,\*</sup> 

<sup>1</sup>Departamento de Economía Cuantitativa, Facultad de Ciencias, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador

<sup>2</sup>Centro de Estudios para el Desarrollo y Economía Aplicada (CEDEA), FLACSO-Ecuador

**Resumen:** En el Ecuador, el sistema de educación superior históricamente se ha caracterizado por la sobrerrepresentación de los sectores más aventajados de la sociedad. En el año 2008, el Ecuador aprobó una nueva Constitución que incorporó nuevas directrices para la educación superior orientadas hacia la consecución de la igualdad de oportunidades. Con el fin de garantizar este principio, se implementó en 2012 el Sistema de Nivelación y Admisión (SNNA). En este contexto, el presente estudio tiene por objetivo analizar las características y el desempeño de los estudiantes de una facultad de una universidad pública ecuatoriana. Para esto, se aplicó una encuesta a un grupo de estudiantes y se estimó un modelo de regresión lineal múltiple. Los resultados sugieren, entre otras cosas, que aún existen sectores sociales con representación casi nula y que el desempeño académico universitario depende significativamente de variables asociadas a factores personales, familiares e institucionales.

**Palabras clave:** Desempeño académico, Modelo de regresión lineal múltiple, educación superior, Ecuador

## Determinants of Academic Performance of the Students of an Ecuadorian Public University

**Abstract:** In Ecuador, the higher education system has been characterized by the overrepresentation of the most advantaged sectors of society. In 2008, Ecuador approved a new Constitution that incorporated new guidelines for higher education aimed at achieving equality of opportunities. In order to guarantee this principle, the so called Sistema Nacional de Nivelación y Admisión (SNNA) was implemented in 2012. In this context, the present study aims to analyze the characteristics and performance of students of a faculty of a public Ecuadorian university. For this, a survey was applied to a group of students and a multiple linear regression model was estimated. The results suggest, among other things, that there are still social sectors with almost zero representation and that university academic performance depends significantly on variables associated with personal, family and institutional factors.

**Keywords:** Academic performance, Multiple linear regression model, Higher education, Ecuador

### 1. INTRODUCCIÓN

La educación y, en particular, la educación superior (ES) cumplen un rol importante dentro de la consecución de los objetivos de desarrollo de un país. Las funciones que cumplen las instituciones de educación superior (IES), esencialmente la docencia y la investigación, no solamente garantizan a la población mejores oportunidades laborales, y con ello, mejores oportunidades económicas, sociales, etc., sino que también contribuyen al desarrollo productivo, empresarial, y económico (Valero & Van Reenen, 2019). De esta forma, la ES constituye en la actualidad uno de los instrumentos principales con que cuentan los poderes públicos en su intento de asegurar el desarrollo de sus países, pues el gasto público destinado a esta finalidad es considerado una inversión de futuro (Baena, 1999).

A pesar de los indiscutibles beneficios de la ES, ésta, al igual que otros niveles de educación, suele presentar varias problemáticas consideradas desde diferentes perspectivas. Por ejemplo, considerando la región latinoamericana, Chiroleu (2011) menciona tres cuestiones que podrían considerarse medulares: (1) la expansión de la cobertura sin reducción de las desigualdades sociales ni inclusión plena en la ES, (2) el desarrollo de procesos de evaluación institucional sin mejoramiento efectivo de la calidad de los aprendizajes y, (3) el énfasis otorgado a la formación de profesionales dejando de lado el compromiso y la responsabilidad social de los universitarios.

A lo largo de la historia ecuatoriana, se ha podido evidenciar la coexistencia de las problemáticas mencionadas, sin embargo, a partir de la década de los 90, los análisis y

\*yasmin.salazar@epn.edu.ec

Recibido: 20/07/2020

Aceptado: 23/03/2021

Publicado: 31/05/2021

10.33333/tp.vol47n2.05

CC BY 4.0

discusiones en torno a estos temas se han intensificado (Larrea, 2006). El resultado de la incorporación de los problemas de la ES ecuatoriana a la agenda política del país trajo como resultado algunas reformas que han intentado resolver tales problemáticas. Es así que, en el Ecuador, han sido varias las políticas implementadas en referencia a la temática de la ES, especialmente durante el último gobierno (que gobernó entre el año 2007 y 2017).

En vista de que el análisis de los determinantes del rendimiento estudiantil universitario es una de las claves para la proposición de medidas tendientes al mejoramiento de la educación y al desarrollo del país, luego de varios años de la implementación del Sistema Nacional de Nivelación y Admisión (SNNA), se realiza la presente investigación que tiene por objetivo identificar las características socioeconómicas y el desempeño de los estudiantes de una de las facultades más numerosas de una de las mejores universidades públicas ecuatorianas. Para esto, a partir de datos primarios, se realiza un análisis de estadística descriptiva para obtener la caracterización socioeconómica de los estudiantes y mediante la estimación de un modelo de regresión lineal múltiple se determinan los factores que inciden en el desempeño académico de los estudiantes. Lo que resta del artículo está organizado de la siguiente manera. En la sección 2 se describe el sistema de ES ecuatoriano, mientras que en la sección 3 se presenta la revisión de literatura referente a los factores que inciden en el desempeño académico estudiantil. Los datos y la metodología de análisis aparecen en la sección 4 y los resultados obtenidos se muestran en la sección 5. Finalmente, en la sección 6 se señalan las conclusiones de la investigación.

## 2. EL SISTEMA DE EDUCACIÓN SUPERIOR ECUATORIANO ACTUAL

En el 2008, el Ecuador aprobó su Constitución actual e incorporó nuevas directrices para la ES encaminadas a la consecución de la igualdad de oportunidades<sup>2</sup>. En la Carta Magna, se establece la responsabilidad del Estado como proveedor de la educación pública (Art. 26) y se menciona que esta constituye un área prioritaria de la política pública y de la inversión estatal, garantía de la igualdad e inclusión social, y que es una condición indispensable para el buen vivir; se manifiesta, además, explícitamente, que el sistema de ES se regirá, entre otros principios, por la igualdad de oportunidades, y que el ingreso a las instituciones públicas de educación superior se regulará a través de un sistema de nivelación y admisión definido por la ley.

Con el objetivo de garantizar la operatividad en la implementación de estos principios en la ES, la Constitución de 2008 también estableció la necesidad de dictar una nueva Ley Orgánica de Educación Superior (LOES), misma que tiene como objetivos: regular el sistema de ES del Ecuador y garantizar el derecho a una ES de calidad y que propenda a la excelencia, al acceso universal, permanencia, movilidad y egreso sin discriminación alguna. Dentro de esta normativa,

entre otras cosas, se estipula que, para garantizar el principio de igualdad de oportunidades, mérito y capacidad, el ingreso a las IES públicas estará regulado a través del SNNA, al que se someterán todos los estudiantes aspirantes.

Mediante el SNNA, entonces, el Estado, representado en esta instancia por la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT), administra y coordina el proceso de ingreso de los aspirantes a las IES públicas. Para tal efecto dicha institución implementó, por una parte, el Examen Nacional para la Educación Superior (ENES) con el cual se evaluarían las habilidades de los aspirantes y, por otra, distintas modalidades de cursos de nivelación e instrumentos de evaluación, con la finalidad de garantizar una inserción exitosa de los aspirantes al Sistema de ES (SENESCYT, 2012). Este sistema comenzó a aplicarse a partir del año 2012.

No obstante, se han realizado modificaciones a dicho sistema. Inicialmente, los aspirantes debían rendir el ENES y esperar la asignación de un cupo en una de las carreras incluidas en la lista de las preferencias del candidato. Esta asignación era realizada por la SENESCYT considerando el puntaje alcanzado por el candidato y el número de plazas ofertadas por cada IES. El puntaje mínimo requerido para ingresar a estudios de tercer nivel en instituciones públicas se estableció en 600 sobre 1000 puntos. En febrero de 2017, se fusionaron las pruebas de conocimientos para estudiantes de secundaria “Ser Bachiller”, con el ENES, y se eliminaron los puntajes mínimos para ingresar a una carrera. Así, la aprobación del examen “Ser Bachiller”, además de otorgar el título de bachillerato, permitiría el ingreso a la ES pública.

La creación de la Ley Orgánica de Educación Superior (LOES) en octubre de 2010, y la creación y ejecución del SNNA en el 2012, ciertamente constituyen algunas de las modificaciones más importantes que se han realizado al sistema de educación superior ecuatoriano durante los últimos años. A pesar de esto, el que estas políticas hayan promovido un “mejoramiento” en el sistema de ES, es aún algo incierto. Son varias las observaciones, positivas y negativas, y los cuestionamientos que se han hecho a las modificaciones mencionadas y a los efectos que éstas han tenido en el sistema de ES. Por ejemplo, existen sectores que pregonan un incremento en la representatividad de grupos históricamente excluidos - indígenas, discapacitados, grupos de bajos ingresos- en las IES. Por otro lado, existen quienes sugieren que los grupos subrepresentados no han sido beneficiados con el proceso y aún permanecen excluidos de las IES públicas, así como también existen quienes afirman que fallas en el SNNA son las causantes del bajo rendimiento académico de los estudiantes universitarios.

Con referencia a aquellos cuestionamientos, se genera la dubitativa de si efectivamente la política sobre ES que se aplicó (la contemplación de gratuidad de la educación en la LOES, la consecuente implementación del SNNA, etc.) durante los últimos años está cumpliendo con sus objetivos primordiales. Varios autores---con base en investigaciones

<sup>2</sup> En el artículo 71 del Capítulo I del Título IV de la Ley Orgánica de Educación Superior (LOES) de Ecuador, se manifiesta que el principio de igualdad de oportunidades consiste en garantizar a todos los actores del Sistema de Educación Superior las mismas posibilidades en el acceso,

permanencia, movilidad y egreso del sistema, sin discriminación de género, credo, orientación sexual, etnia, cultura, preferencia política, condición socioeconómica o discapacidad.

realizadas en otros países---coinciden, por ejemplo, en que la política de gratuidad de la ES bien podría favorecer el acceso de los jóvenes provenientes de los estratos socioeconómicos superiores, generando mayores oportunidades de acceso a estudiantes de hogares con mayor ingreso y mayor nivel educativo (Jerrim, Chmielewski & Parker, 2015). Por otra parte, este mismo efecto sería generado por los sistemas de admisión universitaria que se basan solamente en evaluaciones cognitivas, restando así oportunidades para aspirantes de familias con bajos ingresos (Mountford-Zimdars, Moore y Graham, 2016).

Respecto a la situación de la ES en el Ecuador, Larrea (2006), por ejemplo, menciona en su investigación que, especialmente en el período entre 1990 y 2006, las políticas sociales aplicadas en el país habían promovido la inversión pública en los niveles primario y secundario, en detrimento de la instrucción superior, lo cual había ocasionado altos niveles de desigualdad en temas de escolaridad. Por otro lado, y en relación a las características del acceso universitario, según Ponce y Carrasco (2016), entre 1999 y 2014 la tasa bruta de matrícula universitaria incrementó de 20.2% a 29.6% y, a diferencia de lo sucedido en el período 1999-2006, entre 2007 y 2014 tal incremento no se concentró en los quintiles más altos de la población, sino en los grupos poblacionales de la zona urbana, de la Sierra y de mujeres. Adicionalmente, los autores mencionan que, entre 2006 y el 2014, la tasa bruta de matrícula incrementó mayormente entre los blancos, seguido por los mestizos, los afroecuatorianos y los indígenas, pero que también incrementó significativamente para estudiantes pertenecientes al quintil de ingresos más alto; a pesar de esto, mientras en 2006 los primeros cinco deciles más pobres y el decil más rico participaban con el 12% y el 32% de la matrícula universitaria, respectivamente, en el 2014 dicha participación pasó a ser del 18% y el 25%, respectivamente.

Por otra parte, con relación al rendimiento académico (RA) estudiantil universitario en el Ecuador y los factores que influyen en este, y particularmente, factores institucionales en los que pueden verse inmersas las políticas aplicadas a la ES, según nuestro conocimiento, no se ha llevado a cabo investigación formal alguna; es decir la evidencia empírica con respecto a este tema es incipiente. Esto, a pesar de que el análisis de los factores, tanto sociales, como económicos, institucionales, y demás, que influyen en el rendimiento académico estudiantil universitario es importante, puesto que permite la identificación de mecanismos orientados hacia su mejoramiento y, consecuentemente, hacia la formación de mejores profesionales y posteriormente hacia el desarrollo del país.

### 3. FACTORES QUE INCIDEN EN EL DESEMPEÑO ACADÉMICO ESTUDIANTIL

Una cantidad considerable de literatura se ha desarrollado alrededor del mundo respecto a los factores que influyen en el desempeño académico estudiantil en los diferentes niveles de educación. En relación a la ES, en particular, se han llevado a cabo varios análisis sobre esta temática desde diferentes perspectivas: el punto de vista psicológico (Garbanzo, 2007), el punto de vista estadístico (Shahzadi & Ahmad, 2011)

(Sulemana, Bin, & Majid, 2014) y hasta desde la perspectiva organizacional (Fonseca & García, 2016), entre otras.

Con respecto al primer aspecto, Garbanzo (2007), Erazo (2012), Lerner (2012) y Fonseca y García (2016), realizan análisis teóricos que dan cuenta de los factores que se conjugan en la vida de un estudiante universitario y que, consecuentemente, pueden afectar a su rendimiento académico. Los resultados relevantes de tales análisis se pueden resumir en lo expuesto por Garbanzo (2007) en su investigación. Según esta autora, el rendimiento académico universitario es efectivamente el resultado de un proceso en el que intervienen de forma interrelacionada los siguientes factores: personales, sociales e institucionales.

Dentro de los factores personales, Garbanzo menciona a la competencia cognitiva, la motivación, las condiciones cognitivas, el autoconcepto académico, la autoeficacia percibida, el bienestar psicológico, la satisfacción con los estudios, la asistencia a clases, la inteligencia, las aptitudes, el sexo, la formación académica previa, y la nota de acceso a la universidad. Respecto a los factores sociales, la autora sugiere que son las diferencias sociales, el entorno familiar, el nivel educativo de los progenitores o responsables del estudiante, el nivel educativo de la madre, el contexto socioeconómico y demás variables demográficas, los determinantes del desempeño académico. Finalmente, como factores institucionales, que son los relacionados con la universidad en sí, en la investigación se menciona a la elección de los estudios según el interés del estudiante, la complejidad de los estudios, las condiciones institucionales, los servicios institucionales de apoyo, el ambiente estudiantil, la relación estudiante-profesor, y las pruebas de ingreso a la carrera.

En cuanto a investigaciones aplicadas, orientadas a la búsqueda de evidencia empírica del desempeño académico de estudiantes universitarios, también existen varios resultados importantes. Por ejemplo, Guzmán (2012) estima un modelo de regresión múltiple considerando variables relacionadas con la información académica y personal de los estudiantes de una universidad privada de México, y concluye que los factores que influyen significativamente en el RA universitario son el desempeño académico en la secundaria, la edad, la recepción de alguna beca, la calificación de ingreso a la universidad y la cantidad de materias reprobadas (únicamente la edad y la cantidad de materias reprobadas influyen negativamente). En la investigación de Li y Carroll (2017), son la edad y la cantidad de materias aprobadas variables significativas y positivamente influyentes en el RA. Además, en esta última investigación, para la cual se utilizó información referente a estudiantes de universidades públicas y privadas de Australia, se concluyó que el género es un determinante del RA únicamente durante los últimos semestres y que, asimismo, la modalidad de estudio, presencial o a distancia, influye únicamente durante los primeros semestres. Adicionalmente, los autores concluyen que, tanto en los primeros como en los últimos semestres, la pertenencia a determinados grupos vulnerables (específicamente minorías étnicas, personas cuyo idioma es distinto a su idioma de estudios, personas discapacitadas y personas de bajos recursos económicos) es una variable que incide significativamente en el RA. Por otro lado, la ubicación del domicilio en zonas remotas o

inaccesibles sería una condición influyente únicamente para estudiantes en los últimos semestres, mientras que la característica de ser el primero de la familia en cursar estudios de nivel superior es una variable determinante del RA durante los primeros semestres.

Finalmente, se han realizado también varios análisis que utilizan la estadística (netamente) descriptiva para intentar aproximarse hacia una caracterización del rendimiento de estudiantes universitarios. Por ejemplo, Martínez et al. (2011) quienes analizaron a un grupo de estudiantes de Venezuela, observaron que los estudiantes presentaban mayor RA promedio a medida que avanzaba su edad; por otro lado, estudiantes solteros presentaron mayores niveles de RA promedio que estudiantes casados. Ramírez (2014), autor que analizó con un enfoque descriptivo la situación de estudiantes colombianos y las características de su rendimiento por género y otros factores, observó que las estudiantes solteras obtuvieron un mayor RA promedio que el de las no-solteras (este hecho, sin embargo, no se evidenció para el caso de los hombres), y además, que los estudiantes con mayores edades presentaron un desempeño académico inferior a quienes eran menores (esto, sin embargo, no se verificó para el caso de las mujeres). Finalmente, en un contexto geográfico y cultural lejano al latinoamericano, Li y Carroll (2017), basados también en un análisis descriptivo, reportaron que, en el caso de los estudiantes universitarios australianos, quienes pertenecían a minorías étnicas tuvieron un desempeño académico menor, al ser comparados, con los grupos étnicos mayoritarios. Un factor en el que coincide la dirección de los resultados de las tres investigaciones de enfoque descriptivo es la renta: los estudiantes pertenecientes a los estratos económicos más altos presentaron mejor desempeño (en promedio) con respecto a los estudiantes de renta baja.

#### 4. DATOS Y METODOLOGÍA

##### 4.1 Datos

Los datos para describir al grupo de estudiantes y para determinar los factores que inciden en su desempeño académico fueron obtenidos a partir de una encuesta, que fue aplicada a los estudiantes de una de las facultades más numerosas de una universidad pública ecuatoriana. Las carreras que ofrece dicha facultad son: física (FI), ingeniería en ciencias económicas (IC), ingeniería matemática (IM) y matemática (MA).

Se realizó un muestreo aleatorio, considerando una población total finita (cantidad total de estudiantes de la facultad) de tamaño  $N = 777$ , un límite máximo para el error de estimación de  $\varepsilon = 0.05$ , un nivel de confianza de 95%, y una desviación estándar (para la variable IRA, con base en la información poblacional existente previamente en registros administrativos) de  $\hat{\sigma} = 8.586$ . Así se determinó, de acuerdo

con la expresión  $\varepsilon \approx Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{N-n}{N-1} \frac{\hat{\sigma}^2}{n}}$ , que  $n$  es tal que

$0.05 \approx 1.95996 \sqrt{\frac{777-n}{776} \frac{8.586^2}{n}}$ , y  $n \approx 271.61$ . El tamaño muestral es, entonces, de 272 estudiantes (Scheaffer, Mendenhall & Ott, 2006).

Con la finalidad de minimizar los riesgos de no obtención de la cantidad de información necesaria para el análisis (272 observaciones), para la realización de las encuestas se convocó aleatoriamente a un total de 330 estudiantes. Con la información obtenida, luego de realizar una limpieza de datos (eliminación de casos de no respuesta, y casos de respuestas no válidas como ingresos familiares o edades iguales a 0), se obtuvo un total de 284 observaciones. Dichas observaciones se distribuyen, por carreras, de la siguiente forma: 19% (FI), 43% (IC), 26% (IM) y 10% (MA).

Con respecto a la encuesta, esta tuvo por objetivo recabar información relacionada con los determinantes propuestos por Garbanzo (2007). En ese sentido, las variables de las cuales se recabó información y su respectiva categoría son las siguientes:

- Factores personales: edad, género, estado civil, etnia, discapacidad, satisfacción con la carrera, número de reprobaciones, tipo de colegio (público/privado/fiscomisional<sup>3</sup>), horas de estudio semanales, tipo de bachillerato, y rendimiento académico (medido por el denominado Índice de Rendimiento Académico “IRA”, que es el indicador de RA utilizado en la universidad analizada).
- Factores institucionales: proceso de elección de la carrera, tipo de carrera, sistema de ingreso.
- Factores sociales: nivel de educación de los padres, ingreso familiar per cápita, área de residencia.

##### 4.2 Metodología

Para determinar los factores que afectan en el desempeño de los estudiantes de la facultad analizada, se estima un modelo de regresión lineal múltiple que responde a la siguiente especificación econométrica:

$$\ln(IRA)_i = \beta_0 + FP_i \beta_1 + FI_i \beta_2 + FS_i \beta_3 + u_i \quad (1)$$

Donde:

$\ln(IRA)_i$  es el logaritmo del IRA del individuo  $i$ .

$FP_i$  es un vector (fila) de factores personales del individuo  $i$ . Este vector tiene como coordenadas los valores (para el individuo) de las siguientes variables. Edad, que es una variable numérica. Créditos aprobados, que es una variable numérica. Tipo de bachillerato de procedencia, que es una variable categórica (tres categorías): “Bachillerato en ciencias”, “Bachillerato técnico”, “BGU”, con “Bachillerato en ciencias” como categoría base. Reprobó, que es una variable categórica, con no ha reprobado como categoría base.

<sup>3</sup> Según la Ley Orgánica de Educación Intercultural de Ecuador, expedida en 2011, son instituciones educativas fiscomisionales aquellas cuyos promotores son congregaciones, órdenes o cualquiera otra denominación confesional o laica; son de carácter religioso o laica, de derecho privado y sin fines de lucro, y cuentan con financiamiento total o parcial del Estado, con la

condición de que se cumpla el principio de gratuidad, igualdad de oportunidades para el acceso y permanencia, rendición de cuentas de sus resultados educativos y manejo de los recursos y el respeto a la libertad de credo de las familias.

$FI_i$  es un vector (fila) de factores institucionales del individuo  $i$ . Este vector tiene como coordenadas los valores (para el individuo) de las siguientes variables. Carrera, que es una variable categórica (4 categorías: “IC”, “FI”, “IM”, “MA”), con “IC” como categoría base.

$FS_i$  es un vector (fila) de factores sociales del individuo  $i$ . Este vector tiene como coordenadas los valores (para el individuo) de las siguientes variables. Quintil de ingreso, que es una variable categórica (5 categorías), con el quintil 1 de base. Madre con educación superior, que es una variable dicotómica, con “madre no tiene educación superior” como categoría base. Padre con educación superior, que es una variable dicotómica, con “padre no tiene educación superior” como categoría base.

Finalmente,  $u_i$  es el término de error. El modelo clásico de regresión lineal supone que cada  $u_i$  está normalmente distribuido con:  $E(u_i) = 0$ ;  $Var(u_i)\sigma^2$  y  $cov(u_i, u_j) = 0, \forall i \neq j$ . Estos supuestos pueden resumirse en  $u_i \sim N(0, \sigma^2) \forall i$  (Wooldridge, 2012).

Todas las variables dicotómicas toman el valor de 0 en los casos en que el individuo pertenece a la categoría “base”, y el valor de 1 en caso contrario. Por otro lado, la inclusión de una variable categórica de “ $k$ ” categorías, con  $k \geq 3$ , como es conocido, constituye la inclusión de  $k - 1$  variables dicotómicas, cada una de las cuales compara la categoría “base” con cada una de las  $k - 1$  categorías restantes. Así, por ejemplo, una variable categórica de 3 categorías (“a”, “b” y “c”), con “a” como categoría base, se representará en el modelo mediante 2 variables dicotómicas: una que toma el valor de 0 en caso de “a” y de 1 en caso de “b”, y una que toma el valor de 0 en caso de “a” y de 1 en caso de “c”.

Después de la estimación, se realizan los análisis respectivos. Según Greene (2004), para el análisis de correcta especificación de un modelo de regresión lineal se deben observar esencialmente los siguientes aspectos: homocedasticidad (test de Breusch Pagan), variable omitida (test RESET), multicolinealidad (evaluación del factor de inflación de la varianza, VIF).

Para la realización de todos los análisis, tanto de tipo descriptivo, así como la estimación del modelo aquí descrito, se utiliza el software estadístico STATA (Versión 16).

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Caracterización socioeconómica de los estudiantes

En esta subsección se presentan los resultados del análisis de estadística descriptiva de la información recabada en la encuesta.

#### 5.1.1 Rendimiento Académico

Para analizar el rendimiento académico de los estudiantes se consideró el IRA. El IRA se calcula ponderando todas las notas de las materias aprobadas y reprobadas por un estudiante; en este cálculo no se incluyen las notas de materias anuladas o canceladas. Respecto al comportamiento del rendimiento académico por carrera, se observa que este es

mayor en la carrera de IC (IRA promedio de 26.1), seguido consecutivamente de las carreras de IM, MA y FI (con IRA promedio de 24.7, 22.6 y 22.4, respectivamente).

Para analizar el comportamiento del rendimiento académico, se han conformado grupos en torno a los resultados en investigaciones anteriores respecto a esta temática. En la Tabla 1 se muestran los resultados del IRA promedio para determinados grupos cuyo análisis es de especial interés en la literatura.

Tabla 1. IRA promedio por grupos de interés

Categorías/Grupos	FI	IC	IM	MA
<b>Grupos por edad</b>				
Grupo 1	10.6	24.2	19.8	19.1
Grupo 2	22	26.5	24.1	22.3
<b>Grupos por género</b>				
Femenino	19.6	25.4	22.7	20.3
Masculino	18.2	26	22.3	20.6
<b>Grupos por tipo de institución secundaria</b>				
Institución Fiscal	21.4	24.6	21.9	21
Institución Particular	19.1	27.1	24	18.8

Respecto al desempeño académico por grupo de edad, se consideraron dos grupos: uno conformado por estudiantes de hasta 21 años (Grupo 1), y otro conformado por estudiantes mayores de 21 años (Grupo 2). Se ha realizado esta diferenciación puesto que es alrededor de esta edad que los estudiantes superan los tres primeros semestres de su carrera (en los cuales se conoce que existen altos índices de repetición). Los resultados muestran que en todas las carreras el rendimiento promedio del Grupo 2 supera al del Grupo 1. Este resultado concuerda con lo evidenciado en la investigación de Martínez et al. (2011) y según los autores, este hecho podría deberse a que los primeros años de estudios universitarios representan un cambio drástico en la modalidad de aprendizaje de los estudiantes, motivo por el cual su rendimiento puede verse afectado.

De acuerdo al género, los resultados muestran que los IRA promedio de hombres y mujeres son bastante similares en todas las carreras. Finalmente, en las carreras de IC e IM los estudiantes provenientes de instituciones educativas particulares poseen los mayores IRA, mientras que en FI y MA los mayores índices corresponden a estudiantes procedentes de colegios fiscales.

Tabla 2. IRA promedio por carrera, por quintil de ingreso y por género

Quintil	FI			IC			IM			MA		
	F	M	Total	F	M	Total	F	M	Total	F	M	Total
1	19.3	14.8	16.8	23.6	26.14	24.3	14.8	21.8	19.3	16	13.8	14.8
2	17.3	17	17.1	23.6	29.6	25.2	25.1	22.5	23.8	--	25.5	25.5
3	22	20	20.7	28.1	26.5	27.3	26.5	22	23.3	23.5	18.8	20.1
4	20.4	18.3	19.6	26.2	26.1	26.2	23.3	21.3	22.1	31	25.7	27
5	18.8	22	20.7	26.6	23.4	25.3	17.7	24.3	22.8	20	20.5	20.4

La caracterización de los estudiantes considerando el quintil de renta, el género y la carrera se muestra en la Tabla 2. Se evidencia que los estudiantes de los quintiles más altos de ingreso no necesariamente muestran los mejores IRA. De hecho, solamente en el grupo de hombres de las carreras de física y de ingeniería matemática, los IRA promedio más altos corresponden a estudiantes del quintil 5. Por otra parte, también se puede observar, en casi todos los grupos, con

excepción del grupo de hombres de IC e IM, que los menores índices de RA corresponden a estudiantes ubicados en el quintil 1 y 2. En la mayor parte de los grupos analizados, los mejores IRA promedio corresponden a estudiantes del quintil 3.

### 5.1.2 Características personales, sociales e institucionales

En lo que respecta a las características personales de los entrevistados, la muestra está formada por un 46% de personas de género femenino y 54% de género masculino. Los hombres son mayoría en las carreras de física, matemática e ingeniería matemática, con representación de hombres en aproximadamente un 60%, 75% y 60%, respectivamente, mientras que en IC hay presencia mayoritaria de mujeres (60%). La carrera de IC es la única carrera con representación mayoritaria de mujeres. Estos resultados sugieren que, en concordancia con la literatura existente las mujeres prefieren mayormente carreras relacionadas con ciencias sociales y de la vida (Leyton, Sánchez y Ugalde, 2010).

La etnia predominante es de quienes se autoidentificaron como mestizos (96%). Las minorías étnicas tienen una participación que no sobrepasa el 2%. El estado civil del 98% de los encuestados es soltero. Finalmente, la edad de los entrevistados oscila entre los 18 y 32 años.

Observando los datos asociados con las características académicas, de la muestra se concluye que el 52% de los encuestados proviene de una institución secundaria fiscal, seguidos por los que estudiaron en un colegio particular (35%) y fiscomisional (13%).

Cuando se indagó a los participantes de la encuesta sobre la prioridad que dieron a la carrera que actualmente están estudiando en el sistema de elección de carrera del SNNA, el 64% respondió que la carrera corresponde a la primera opción y el 16% a la segunda opción. El porcentaje restante corresponde a los estudiantes que colocaron a la materia como tercera opción (8%) y los estudiantes que ingresaron antes de este sistema de elección de carrera (12%). Es decir, a partir de estas cifras se puede inferir que la mayoría de estudiantes estaría cursando una carrera que pertenece a su lista de preferencias. Esta cifra parece estar en concordancia con el nivel de satisfacción de los estudiantes con la carrera elegida y cuyos resultados se muestran en la Figura 1; más del 60% de estudiantes respondieron que su nivel de satisfacción es alto o muy alto para calificar el nivel de satisfacción con la carrera que están estudiando.

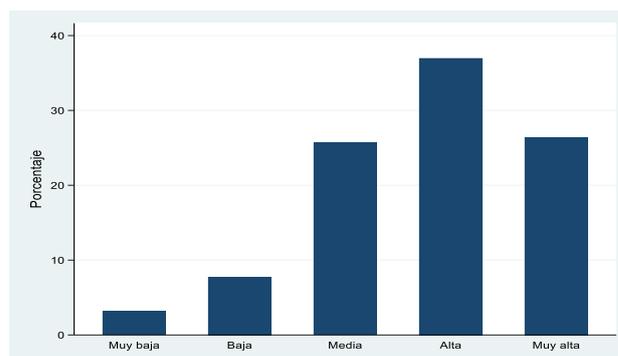


Figura 1. Nivel de satisfacción de los encuestados con la carrera

A nivel de carreras, MA e IM muestran los mayores niveles de satisfacción (ver Tabla 3).

Tabla 3. Nivel de satisfacción con la carrera elegida

Nivel de satisfacción	FI	IC	IM	MA
1	2%	6%	3%	0%
2	14%	8%	4%	9%
3	25%	30%	25%	21%
4	35%	36%	39%	33%
5	24%	20%	29%	37%

A pesar de las cifras mostradas en la Tabla 3, que sugieren un alto nivel de satisfacción con la carrera, llama la atención el porcentaje de estudiantes que han reprobado alguna asignatura: 81% de los encuestados reportaron haber reprobado una disciplina alguna vez en su vida estudiantil. Estas reprobaciones no parecen ser exclusividad de ninguna carrera pues como se muestra en la Figura 2, la alta tasa de reprobaciones se presenta en todas las carreras de la facultad analizada. La gráfica contiene las respuestas de la pregunta: ¿ha reprobado alguna materia?

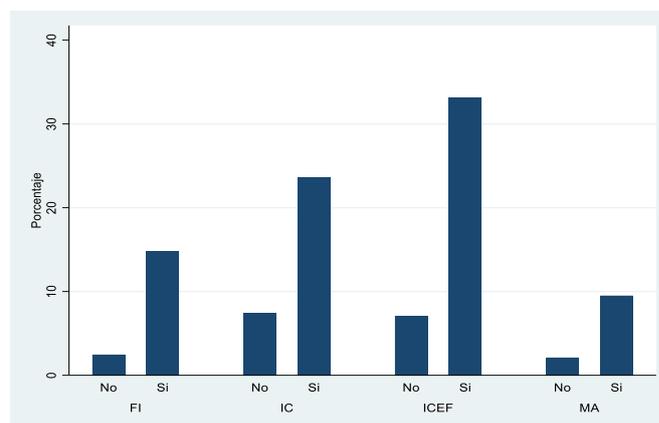


Figura 2. Reprobación de materias de los encuestados

Con relación a las horas de estudio semanales, estas presentan una gran dispersión; pues mientras el promedio es de 16 horas, existen estudiantes que reportan una hora de estudio a la semana u otros que manifiestan que este valor corresponde a 65 horas. Los valores bajos en cuanto a horas de estudio semanales pueden ser asociados al hecho de que el 15% de estudiantes desempeña alguna actividad laboral.

Con respecto a los factores del entorno familiar, se observa que el 83% de los estudiantes habita en el área urbana. Además, el

95% proviene de la provincia de Pichincha<sup>4</sup>, donde se ubica la capital del Ecuador, Quito, y la sede de la universidad analizada. Los estudiantes de las provincias de Imbabura y Tungurahua (cercanas a Pichincha) representan el 1% y el resto se reparte entre las otras provincias del país. En lo relacionado con el ingreso per cápita de los estudiantes, para facilitar la observación de los datos obtenidos, se agrupó a la variable en quintiles de ingreso. La carrera que tiene más representación de los quintiles más bajos es MA, mientras que la carrera IC tiene el porcentaje más bajo de personas pertenecientes al quintil 1 (ver Tabla 4). Una variable relacionada con la situación económica es el nivel de escolaridad de los padres. Según las respuestas de los encuestados, 43% de los padres y 34% de las madres tienen un título de educación superior (tercer y cuarto nivel); adicionalmente, mientras que en las carreras de IC, IM y MA la mayor parte de estudiantes tienen padres que no tienen estudios universitarios.

**Tabla 4.** Distribución de los estudiantes por quintil de ingreso

Quintil	FI	IC	IM	MA
1	18%	16%	22%	27%
2	27%	25%	16%	18%
3	12%	24%	19%	21%
4	22%	20%	21%	12%
5	20%	15%	22%	21%

Una variable relevante para el análisis del desempeño de los estudiantes universitarios constituye el sistema de ingreso a la universidad. No obstante, el bajo porcentaje de estudiantes que ingresaron a la universidad con el sistema antiguo en la muestra (5%), no permitió realizar un análisis comparativo más detallado. De todas formas, en la estimación se incluyó una variable dicotómica para diferenciar el sistema de ingreso de los estudiantes.

## 5.2 Estimación del modelo econométrico

Inicialmente, en la Tabla 5 se presenta una tabla que contiene la estadística descriptiva de algunas variables incluidas en el modelo econométrico que tiene por objetivo determinar los factores en el IRA estudiantil universitario.

Por otra parte, los resultados de la estimación se muestran en la Tabla 6. Debido a la presencia de heteroscedasticidad se realizó la estimación considerando errores robustos (ver Anexo 1). El análisis de multicolinealidad no reportó la presencia de variables relacionadas. No obstante, el análisis de variable omitida sugiere la presencia de este problema (ver Anexo 2). La consecuencia de omitir una variable relevante es el sesgo de los estimadores (Greene, 2004), es decir, los signos de las variables podrían ser opuestos a lo esperado según la teoría económica y la evidencia empírica previa. A pesar de que algunas variables individuales, como el IQ, la nota de ingreso a la universidad, la condición cognitiva, al igual que ciertas variables del contexto institucional pueden afectar a los resultados, la no disponibilidad de estas variables no permitió colocarlas en el modelo. Con todo, como se describe a continuación, los resultados muestran un comportamiento

coherente con los resultados obtenidos en investigaciones previas, lo cual es un indicativo de que la omisión de ciertas variables no podría comprometer a las estimaciones.

**Tabla 5.** Estadística descriptiva de las variables

Variable	Media	Desviación estándar	Mín.	Máx.
Créditos aprobados	102	70	0	234
Edad	22.7	2.5	18	32

Como se puede observar en la Tabla 6, al igual que lo mencionado por Guzmán (2012) y Ramírez (2014), la edad se muestra como un determinante que afecta negativamente al IRA y podría deberse a que en la universidad analizada generalmente una edad superior a la deseada en cada nivel cursado implica que se ha reprobado alguna o algunas materias. De hecho, la variable reprobó es significativa y negativa, lo cual es un resultado esperado debido al método de cálculo del IRA (descrito en la sección 5.1.1). Por otro lado, el efecto significativo y positivo del número de créditos aprobados sugiere que los estudiantes con una mayor experiencia en la universidad muestran un mejor rendimiento académico.

**Tabla 6.** Factores que afectan al desempeño de los estudiantes

Variable	
Edad	-0.0293 (0.0002)
Reprobó	-0.1900 (0.0000)
Ln(créditos)	0.2690 (0.0000)
FI	-0.1510 (0.0001)
MA	-0.1260 (0.0260)
IM	-0.0761 (0.0095)
BGU	0.0581 (0.1233)
Técnico	0.145** (0.0054)
Educación superior padre	-0.00198 (0.9512)
Educación superior madre	0.0634 (0.0441)
Quintil 2	0.1090 (0.0212)
Quintil 3	0.0496 (0.2279)
Quintil 4	0.0612 (0.1776)
Quintil 5	0.0308 (0.5021)
Constante	2.768 (0.0000)
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0.5227</b>

p-valor en paréntesis

<sup>4</sup>Una provincia es una división administrativa territorial en que se organizan algunos estados; este es el caso de Ecuador.

El tipo de especialidad cursada en el colegio, también se muestra importante en la determinación del IRA al sugerir que estudiantes que cursaron un Bachillerato Técnico tendrían un mejor desempeño que los estudiantes del Bachillerato en Ciencias; esto, sin embargo, se contrapone a los hallazgos de la literatura previa, puesto que se esperaría que las mejores calificaciones en las carreras analizadas sean obtenidas por estudiantes cuyas carreras de secundaria se centran en ciencias exactas (Lerner, 2012). Esta inconsistencia podría deberse a que desde el 2008 se realizaron cambios importantes en la categorización y estructura de las carreras del bachillerato por parte del gobierno; cambios que no se ejecutaron de manera simultánea en todas las instituciones de educación.

El tipo de carrera elegida resulta ser también un factor importante en el IRA; pues en el modelo estimado se puede observar que los estudiantes de las carreras FI, MA e IM tienen un desempeño menor que los de la carrera IC.

Con respecto al entorno familiar, se observa que los estudiantes del quintil 2 tienen un rendimiento superior al de los estudiantes del quintil 1. Esto puede deberse a que la situación económica bien podría favorecer no solo el acceso de los jóvenes provenientes de los estratos socioeconómicos superiores (Jerrim, Chmielewski & Parker, 2015), sino que también este aspecto podría coadyuvar a que el estudiante curse sus estudios en mejores condiciones que los estudiantes que sortean dificultades económicas (Mountford-Zimdars, Moore y Graham, 2016). Finalmente, el hecho de que la madre del estudiante tenga un título universitario también incide positivamente sobre el IRA. Este resultado ha sido reportado por hallazgos previos (Garbanzo, 2007).

## 6. CONCLUSIONES

Este artículo tiene por objetivos caracterizar socioeconómicamente al alumnado de una facultad de una universidad pública ecuatoriana y determinar los factores que influyen en el desempeño académico de tal grupo. A partir de los resultados, se puede concluir que la mayor parte de los estudiantes de la universidad analizada son; mestizos, provienen de colegios públicos, habitan en el área urbana de Pichincha y la carrera que están estudiando en el momento de la encuesta fue la que consideraron como primera prioridad cuando tuvieron que elegir la carrera en el SNNA. Existe un mayor porcentaje de hombres, con excepción de la carrera de IC, y la gran mayoría de los encuestados ha reprobado alguna vez una materia. Debido a la composición de la muestra, no fue posible determinar si existen diferencias importantes entre el IRA de los estudiantes que ingresaron mediante el SNNA y aquellos que lo hicieron mediante el sistema anterior. Con respecto a las variables que influyen en el desempeño académico, en el análisis se incluyeron variables que corresponden a factores individuales, sociales e institucionales y todas las dimensiones parecerían afectar al rendimiento académico, sugiriendo una interrelación entre éstas. Los resultados de este estudio contribuyen al debate en torno a los cuestionamientos del SNNA y sus objetivos de eficiencia y equidad y sugieren que la proporción de estudiantes pertenecientes a sectores menos aventajados continúa siendo casi nula y, que la mayor parte de estudiantes estaría cursando la carrera de su preferencia y que se sentiría satisfecho con

esta. A la luz de estos resultados, se hace necesario que los formuladores de política pública realicen un ejercicio para repensar el sistema de educación superior actual y se apueste seriamente en un proceso de inclusión de los excluidos de siempre. Como recomendación, estudios posteriores a este podrían incluir aspectos relacionados con los docentes, así como medidas que reflejen el ambiente institucional con más precisión.

## REFERENCIAS

- Baena, M. D. (1999). El papel de la educación superior en el crecimiento y desarrollo de los países iberoamericanos. *SCRIPTA NOVA Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 3, 1.
- Chiroleu, A. (2011). La educación superior en América Latina: ¿Problemas insolubles o recetas inadecuadas? *Universidad de Sorocaba*, 16(3), 631-653.
- Cortez, F., Tutiven, J. & Villavicencio, M. (2017). Determinantes del Rendimiento Académico Universitario. *Revista Publicando*, 10(1), 284-296.
- Erazo, O. (2012). El rendimiento académico, un fenómeno de múltiples relaciones y complejidades. *Revista Vanguardia Psicológica Clínica Teórica y Práctica*, 2(2), 144-173.
- Fonseca, G. & García, F. (2016). Permanencia y abandono de estudios en estudiantes universitarios: un análisis desde la teoría organizacional. Permanence and dropout rates among university students: An organizational theory analysis. *Revista de la Educación Superior*, 45(179), 25-39. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resu.2016.06.004>
- Garbanzo, C. (2007). Factores asociados al rendimiento académico en estudiantes universitarios, una reflexión desde la calidad de la educación superior pública. *Revista Educación*, 31(1), 43-63.
- Greene, W. (2004). *Análisis econométrico*. Quinta Edición. Madrid: Prentice. Hall.
- Guzmán, M. (2012). *Modelos predictivos y explicativos del rendimiento académico*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España.
- Jerrim, J., Chmielewski, A. & Parker, P. (2015). Socioeconomic inequality in access to high-status colleges: A cross-country comparison. *Research in Social Stratification and Mobility*, 42, 20-32. <https://doi.org/10.1016/j.rssm.2015.06.003>
- Larrea, C. (2006). Universidad, investigación científica y desarrollo en América Latina y Ecuador. *Ponencia presentada ante el congreso "Universidad y Cooperación para el Desarrollo" en la Universidad Complutense de Madrid*. Abril, 2006.

- Lerner, J. (2012). Rendimiento académico de los estudiantes de pregrado de la universidad EAFIT. *Cuadernos de Investigación Universidad EAFIT*.
- Leyton, D., Sánchez, C. & Ugalde, P. (2010). *Estudio percepción de los jóvenes sobre la ciencia y profesiones científicas*. Santiago.
- Li, I. & Carroll, D. (2017). *Factors influencing university student satisfaction, dropout and academic performance: An Australian Higher Education Equity Perspective*. National Centre for Students Equity Higher Education (NCSEHE).
- Martínez, C. (2011). Factores relacionados con el rendimiento académico en la asignatura Morfofisiología Humana IV, del Programa Nacional de Formación de Medicina Integral Comunitaria. *Revista Médica Electrónica*, 33(2).
- Martínez, J. & Salazar, R. (2014). Factores determinantes sobre el rendimiento académico en estudiantes de las facultades de medicina, enfermería, microbiología, psicología, arquitectura y derecho de la PUCE primer semestre de la carrera universitaria, en el período agosto-diciembre 2013. Quito.
- Mountford-Zimdars, A., Moore, J. & Graham, J. (2016). Is contextualised admission the answer to the access challenge? *Perspectives: Policy and Practice in Higher Education*, 20(4), 143-150. DOI: 10.1080/13603108.2016.1203369
- Ponce, J. & Carrasco, F. (2016). Acceso y equidad a la educación superior y posgrado en el Ecuador, un enfoque descriptivo. *Revista Latinoamericana de Políticas y Acción Pública*, 3(2), 9-22.
- Psaharopoulos, G. (1994). Returns to investment in education: A global update. *World development*, 22(9), pp. 1325-1343.
- Ramírez, C. (2014). Factores asociados al desempeño académico según nivel de formación pregrado y género de los estudiantes de educación superior Colombia. *Revista Colombiana de Educación*(66), 203-224.
- Scheaffer, R., Mendenhall, W. & Ott, L. (2006). *Elementos de muestreo*. Florida, United States: Editorial Paraninfo.
- Shahzadi, E. & Ahmad, Z. (2011). A study on academic performance of university students. *Eighth International Conference on Recent Advances in Statistics*, 255-268. Lahore.
- Sibanda, L., Gervase, C. & Benedict, H. (2015). Factors influencing academic performance of university students. *Demography and Social Economy*, 103-115. DOI: 10.15407/dse2015.02.103
- Sulemana, M., Bin, I. & Majid, R. (2014). The perspective of Students on Factors Affecting Their Academic Performance at the Tertiary Level. *British Journal of Education, Society & Behavioural Science*, 4(8), 1021-1028. <https://doi.org/10.9734/BJESBS/2014/8802>
- Valero, A. & Van Reenen, J. (2019). The economic impact of universities: Evidence from across the globe. *Economics of Education Review*, 68, 53-67. <https://doi.org/10.1016/j.econedurev.2018.09.001>
- Wimshurst, K., Wortley, R., Bates, M. & Allard, T. (2006). The impact of institutional factors on student academic results: implications for 'quality' in universities. *Higher Education Research & Development*, 25. DOI: 10.1080/07294360600610370
- Wooldridge, J. (2012). *Introductory Econometrics: A modern approach*. Michigan, United States: SOUTH-WESTERN Cengage Learning.

## BIOGRAFÍAS



**Julio Medina.** Matemático formado en la Escuela Politécnica Nacional (EPN) de Quito-Ecuador. Master y Doctor en Matemáticas Aplicadas de la Universidad de Grenoble Alpes-Francia. Actualmente Profesor del Departamento de Economía Cuantitativa (DEC) de la EPN. Coordinador de la Maestría en Investigación Operativa y

Logística de la EPN, y de las carreras de Ingeniería en Ciencias Económicas y Financieras de la EPN. Fue Profesor invitado a la Escuela Politécnica Federal de Lausana (EPFL)-Suiza. Inicialmente las líneas de investigación estuvieron relacionadas con Optimización matemática y Aproximación para continuar con Métodos variacionales para Ecuaciones en Derivadas Parciales. Premio a la mejor investigación de la EPN (1987). Actualmente miembro del equipo asociado a la línea de investigación en Economía del DEC.



**Kathia Pinzón.** Economista ecuatoriana. Actualmente es Investigadora Asociada del Centro de Estudios para el Desarrollo y Economía Aplicada (CEDEA) de FLACSO-Ecuador, y consultora independiente (nacional e internacional). Recientemente culminó sus estudios de maestría en Economía del Desarrollo por

FLACSO-Ecuador. Ha sido Técnico Docente e investigadora del Departamento de Economía Cuantitativa de la Escuela Politécnica Nacional. También se ha desempeñado como analista de información en la ex Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, y en el Banco Central del Ecuador. Principales líneas de investigación: economía del desarrollo, dinámica productiva y laboral, economía política y del comportamiento, estadística y econometría, modelización teórica matemática.

## ANEXOS

### Anexo 1

Prueba para heteroscedasticidad - Breusch-Pagan

Ho: Varianza constante

$\chi^2(1) = 85.20$

Prob >  $\chi^2 = 0.0000$

### Anexo 2

Prueba de variable omitida – Ramsey RESET

Ho: el modelo no tiene variable omitida

$F(3, 244) = 23.81$

Prob > F = 0.0000



**Yasmín Salazar Méndez.**

Desde 2015, es profesora titular de Econometría del Departamento de Economía Cuantitativa de la Facultad de Ciencias de la Escuela Politécnica Nacional. Doctora en Economía por la Universidad Federal Fluminense – Brasil (2015). Obtuvo una maestría en Ingeniería de Producción en la misma universidad (2008).

Ingeniera Matemática graduada en la Escuela Politécnica Nacional (2003). Su investigación se centra en métodos cuantitativos y en la economía del bienestar, con énfasis en la desigualdad económica en América Latina.

# Prototipo Caja de Arena de Realidad Aumentada GS-Sandbox

Viracucha Quinga, Edwin Guillermo <sup>1,\*</sup> ; Manosalvas Granja, Samy Patricio <sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Escuela Politécnica Nacional, Instituto Geofísico, Quito, Ecuador

**Resumen:** A finales del año 2017, se empezó el desarrollo de un prototipo de caja de arena denominado “GS-Sandbox”, iniciativa motivada por revisar técnicas elaboradas en museos interactivos como en Japón, sitios donde se han implementado las técnicas de Realidad Aumentada para concientizar a los ciudadanos japoneses acerca de los fenómenos naturales que se registran año tras año. El objetivo de este estudio es replicar un dispositivo de modelamiento topográfico de realidad aumentada (AR) sobre una caja de arena. Esta será una herramienta interactiva para concientizar a estudiantes de escuelas, colegios, comunidad y entidades gubernamentales acerca de los peligros de los fenómenos naturales, principalmente los que están relacionados con las erupciones volcánicas en el Ecuador. La realidad aumentada se produce al superponer elementos virtuales sobre elementos reales y al utilizar la tecnología informática puede ser visualizado en una pantalla o proyectado al mundo real.

**Palabras clave:** GS-Sandbox, Realidad Aumentada, Curvas de nivel, Volcanes, Realidad Virtual, Lava.

## GS-Sandbox Augmented Reality Prototype

**Abstract:** At the end of 2017, the development of a sandbox prototype called "GS-Sandbox" began, an initiative motivated by reviewing techniques developed in interactive museums such as in Japan, sites where Augmented Reality techniques have been implemented to raise awareness among Japanese citizens about natural phenomena that are recorded year after year. The objective of this study is to replicate an augmented reality (AR) topographic modeling device on a sandbox. It will be an interactive tool to raise awareness among students from schools, colleges, community and governmental entities about the dangers of natural phenomena, mainly those related to volcanic eruptions in Ecuador. Augmented reality is produced by superimposing virtual elements on real elements and by using computer technology, it can be visualized on a screen or projected to the real world.

**Keywords:** GS-Sandbox, Augmented Reality, Contours, Volcanoes, Virtual Reality, Lava.

### 1. INTRODUCCIÓN

La realidad aumentada (AR) es un conjunto de dispositivos que añaden información virtual a la información física existente. Es decir, el prototipo GS-Sandbox permite combinar y moldear un entorno físico del mundo real (al mezclar agua con arena) con elementos virtuales (proyección de un mapa topográfico a color y curvas de nivel) que se ajustan con la topografía antes moldeada. La AR, se logra mediante el uso de una cámara 3D, un computador, una tarjeta de video High Definition (HD), un proyector de corto alcance y una superficie moldeable donde se proyecte la imagen.

GS-Sandbox reconoce y modela en tiempo real el relieve y/o cambio en éste, además permite emular fluidos como agua y lava, aplicando las ecuaciones de Navier-Stokes (Reed et al.,

2016), relacionadas a la mecánica de fluidos, mismas que permiten observar su comportamiento en la superficie. Esta es una herramienta de realidad aumentada y se basa en estudios anteriores que permitieron realizar la instalación del software, integración del sistema, configuración, calibración y ejecución del prototipo.

En el año 2014, ARSandBox fue originalmente desarrollada por investigadores de la Universidad de California de Estados Unidos, a partir de una alianza en UC Davis W.M. Keck Center for Active Visualization in the Earth Sciences, junto con UC Davis Tahoe Environmental Research Center, Lawrence Hall of Science y ECHO Lake Aquarium and Science Center. ARSandBox ha sido replicada en todo el mundo, como una herramienta útil para la formación de profesionales y la difusión de las ciencias de la Tierra (Reed et al., 2014).

\*gviracucha@igepn.edu.ec  
Recibido: 17/08/2020  
Aceptado: 23/03/2021  
Publicado: 31/05/2021  
10.33333/rp.vol47n2.06  
CC BY 4.0

En el año 2015, con respecto a Augmented Reality Sandbox, Rick Wilkinson indica que observó ARSandbox de realidad aumentada por primera vez en la página web de UC Davis de Oliver Kreylos y pensó que implementarla sería bastante sencillo. Realizó una prueba de concepto con una computadora Pentium de doble núcleo y tarjeta gráfica, un proyector y un Xbox Kinect prestado. Posterior a instalar todo el software necesario, la computadora funcionaba y generaba la simulación sobre la caja de arena por pocos segundos y luego dejaba de funcionar. Una vez terminada la prueba de concepto y con el presupuesto necesario para el proyecto, empezó a comprar los equipos de acuerdo a los sugeridos por los creadores del ARSandbox. Realizó algunos prototipos de caja de arena, sobre todo porque tenía que considerar el costo, las seguridades y la facilidad para desmontar. Lo que más tiempo le tomó fue el aprender los comandos de Linux y las calibraciones que se debían realizar a los equipos. Finalmente, en noviembre de 2015, pudo concluir con el proyecto por un valor de 800 USD, mismo que se encuentra en un espacio permanente en Innovations Academy (Wilkinson, 2015).

Leytzer Muro, en el año 2019, a necesidad de presentar un proyecto en la Feria de Ciencias, llevó a cabo la construcción de ARSandbox documentada por Oliver Kreylos en su publicación de 2012. Muro, en su resultado final confirmó la exactitud de las medidas de la caja de arena (40"x30"x4"), manifestó el ajuste realizado para transformar un proyector convencional a uno de tiro corto usando un espejo, para esto colocó el espejo a un metro de distancia sobre la caja de arena permitiendo así conseguir una imagen de 40"x30" y el proyector lo ubicó en el piso en modo "mirror mode", además indicó la necesidad de una tarjeta de video externa si se desea simular lluvia (Muro, 2019).

GS-Sandbox apoyará a la divulgación de información relacionada a los fenómenos naturales: erupciones volcánicas e inundaciones, de una manera interactiva a la comunidad.

En los años 2017 (IGEPN 2017, p. 21) y 2018 (IGEPN 2018, p. 18), el Instituto Geofísico recibió 36 visitas técnicas al centro de monitoreo TERRAS, las cuales representan actividades externas que permiten la divulgación de información sísmica y volcánica hacia la comunidad, la institución actualmente no dispone de una herramienta interactiva que facilite la socialización de la información sobre los peligros asociados a los volcanes.

## 2. PROCESO GS-Sandbox

A continuación, se describe el conjunto de actividades que se deben realizar para la implementación del prototipo GS-Sandbox mismas que están descritas en la Figura 1.

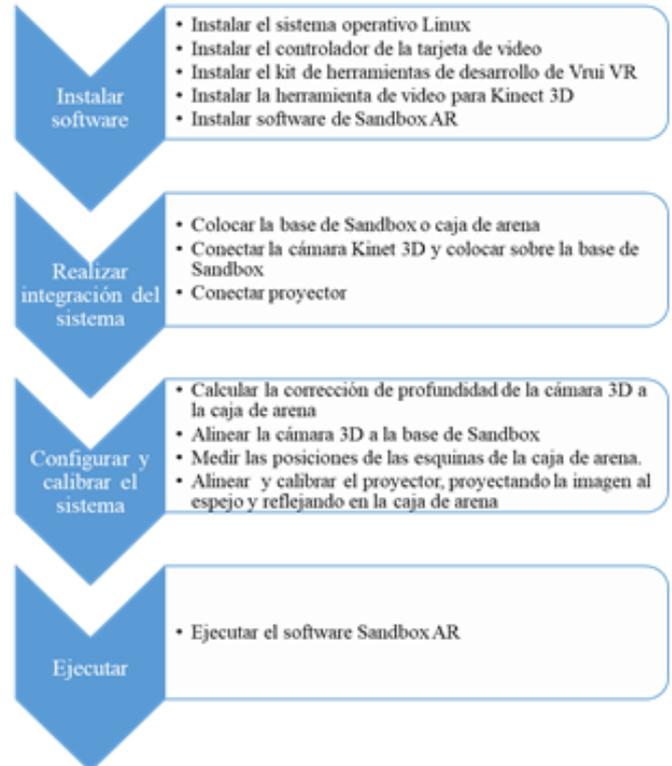


Figura 1. Proceso GS-Sandbox

## 3. PROTOTIPO GS-Sandbox

GS-Sandbox está basado en la documentación citada en los antecedentes, donde el equipo de desarrolladores de los diferentes estudios da a conocer las especificaciones y recomendaciones a tomar en cuenta tanto en hardware como en software para llevar a cabo la réplica y el desarrollo del ARSandbox. Sin embargo, este prototipo, al no contar con los recursos necesarios, se adaptó algunos de los componentes a la disponibilidad y recursos económicos de los autores, lo cual, al momento de la implementación del GS-Sandbox no causó inconvenientes.

GS-Sandbox está compuesto de seis partes en hardware: a) un computador de escritorio con tarjeta de video, b) un sensor Kinect y adaptador USB a 2.0, c) un proyector, d) un espejo, e) caja de arena, f) una estructura de metal y madera, y una parte en software: g) software de código libre.

### 3.1 Requerimientos de Hardware

a) Computador de escritorio con tarjeta de video: para un correcto funcionamiento del software, es necesario tomar en cuenta las exigencias expresadas por Oliver Kreylos en su portal web <https://web.cs.ucdavis.edu>. Para el prototipo, se utilizó un computador HP COMPAQ dc5800 PC Intel® Core™2 Duo E8400, una tarjeta de memoria RAM de 4 GB DDR2-SDRAM, un disco duro de 500GB de almacenamiento, una tarjeta de video NVIDIA GeForce 9400GT y sistema operativo Linux Mint. Es importante contar con el procesador y la tarjeta de video especificados, ya que estos componentes permiten la generación del mapa topográfico y la simulación de flujos de agua o lava de una manera óptima.

b) Sensor Kinect y adaptador USB a 2.0: es una cámara de profundidad y con su percepción en 3D permite capturar los movimientos de las personas de manera eficiente, mientras que la cámara de infrarrojos permite diferenciar la profundidad. El adaptador USB a 2.0 permite la conexión del Kinect 3D a la computadora a través del puerto USB, este recopila información espacial del relieve modelado en la caja de arena para ser procesado por el software ARSandbox y ser proyectada sobre la superficie moldeada.

c) Proyector: el modelo a usar es BENQ MS517 con las características: brillo de 2800 Lúmenes, relación de Contraste de 13000:1, resolución SVGA, puertos HDMI y VGA; que permite proyectar e interactuar con el mapa topográfico generado por el software ARSandbox, sobre la superficie de la topografía moldeada con la arena.

d) Espejo: para transformar el proyector convencional a uno de tiro corto se coloca un espejo de cinco líneas de espesor y una dimensión de 30"x30" a un metro de altura de la caja de arena, con un ángulo regulable <math>< 10^\circ</math>.

e) Caja de Arena: en la Figura 2, se muestra la caja de arena que está elaborada de espuma Flex de un espesor de 4cm y tiene una relación de aspecto de 40"x30" para que coincida con los campos de visión del sensor Kinect y el proyector. La caja de arena se llena con arena artificial a un espesor máximo de 10cm, tiene un peso aproximado de 98 Kg y se recomienda mantener la arena ligeramente húmeda para que sea moldeable.



Figura 2. Caja de Arena de 40 "x30"

f) Estructura de metal y madera: se ha elaborado la estructura metálica con cuatro mástiles distribuidos a sus costados con una altura de 110cm x 170cm, la cual permite montar el sensor kinect y el espejo, además de la estructura de madera que permite colocar sobre ella el proyector y la caja de arena, como se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Estructura de metal y madera

Otros periféricos necesarios: cortapicos, canaletas y una extensión de 4m de cable (HDMI o VGA) para conectar la salida de video del computador al proyector.

### 3.2 Requerimientos de Software

g) Software de código libre: Dentro del paquete ARSandbox en su manual de instalación especifica los paquetes de software que se deben instalar, mismos que se distribuyen libremente bajo licencia GNU General Public License versión 2 en el portal web <https://web.cs.ucdavis.edu/~okreylos/ResDev/SARndbox/SoftwareInstallation.html>.

Para el prototipo GS-Sandbox se instaló:

- Linux Mint 19.3 con MATE desktop environment, 64-bit version.
- Version 5.2-001 del Vrui VR Development Toolkit (automatically selected by Vrui installation script)
- Version 3.9 del Kinect 3D Video Package
- Version 2.7 del Augmented Reality Sandbox

## 4. OPERACIÓN GS-Sandbox

A continuación, la operación de ensamblado del prototipo:

- a) Para iniciar con el funcionamiento del prototipo se debe armar la estructura metálica, luego colocar el espejo, el sensor Kinect sobre las dos barras metálicas y de base la caja de arena.
- b) Posterior se debe realizar el centrado al sensor Kinect para que se encuentre ubicado en el centro de la caja de arena.
- c) Ubicar el proyector apoyado a la caja de arena proyectando la imagen al espejo que se encuentra en la parte superior.
- d) Incorporar la arena artificial dentro de la caja de arena alrededor de 30 cm de espesor y con ayuda de una regla se aplana la superficie para que todo quede uniforme y calibrado.
- e) Realizar la alimentación de energía eléctrica a la computadora de escritorio, proyector y Kinect.
- f) Los dispositivos como el sensor Kinect y el proyector son conectados a los puertos de la tarjeta gráfica de la computadora.

GS-Sandbox es transportable a cualquier sitio donde se vaya a realizar la capacitación.

A continuación, la operación del software SARndbox.:

- a) Encender la computadora con el sistema operativo Linux Mint.
- b) Abrir una terminal y buscar el directorio donde se instaló el SARndbox-2.7.
- c) Ejecutar el comando `RunSARndbox.sh` para iniciar la aplicación.
- d) Una vez iniciado el programa, se empieza a visualizar las imágenes en la caja de arena como son los colores y las líneas topográficas proyectadas a través del proyector.
- e) Con las manos se procede a moldear la arena artificial formando montañas o lagos y el sensor Kinect irá capturando los datos en tiempo real del cambio de pendiente de la arena artificial; la computadora a su vez mediante el software irá reprocesando la información y actualizando las imágenes proyectadas sobre la caja de arena.

## 5. RESULTADOS DEL PROTOTIPO

El resultado de la implementación del prototipo GS-Sandbox se muestra en la Figura 4, donde se puede observar la caja de arena de realidad aumentada, constituido por cuatro mástiles metálicos, unidos por dos barras de aluminio las cuales sirven de soporte para colocar el sensor Kinect y el espejo. Adicionalmente, se aprecia la caja de arena con su respectiva arena artificial, que sirve como un lienzo para visualizar la imagen a través de la proyección de los mapas generados por el software.



Figura 4. Prototipo GS-Sandbox

Para obtener un resultado óptimo en la proyección de la topografía sobre la caja de arena, se debe realizar el centrado del sensor Kinect seguido del espejo, permitiendo así proyectar la imagen de manera adecuada y cubrir completamente la caja de arena como se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Centrado de sensor Kinect, espejo y proyección de Imagen

Para replicar la topografía de un volcán, se debe moldear la arena artificial dándole forma con nuestra creatividad, el sensor Kinect adquiere los datos de distancia respecto a la caja de arena y estos se envían al programa informático, que, a su vez, va cambiando la proyección de la topografía en tiempo real. En la Figura 6, se puede observar la topografía del relieve moldeado que representa un volcán, la paleta de colores: el color blanco representa la parte más alta del relieve (cumbres) y el color azul representa la parte más baja (nivel del mar). Las líneas de color negro representan las curvas de nivel.



Figura 6. Proyección topografía

Para la funcionalidad del modelado de fluidos y activar la generación de lava, se debe modificar la configuración del programa ARSandbox desactivando la opción de generar lluvia. Una vez realizado este cambio en la configuración del programa, se debe guardar las modificaciones y recompilar la aplicación. Para que el sensor Kinect active la funcionalidad de fluidos, se debe posicionar la mano entre la caja de arena y el sensor. Se ejecuta nuevamente el programa y en la Figura 7 se muestra un volcán con lava en su interior de esta manera se representa una erupción volcánica de tipo hawaiana (López-Ruiz & Cebriá, 2007, p. 13), como se producen en los volcanes de Galápagos o Hawái.

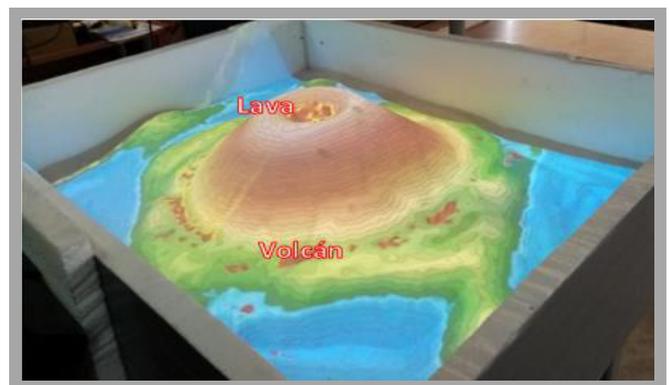


Figura 7. GS-Sandbox, simulación de erupción volcánica tipo Hawaiana

En la Figura 8, se muestra el procedimiento para realizar la simulación de una inundación con lluvia: a) Moldeado, b) Configuración lluvia y c) Proyección.

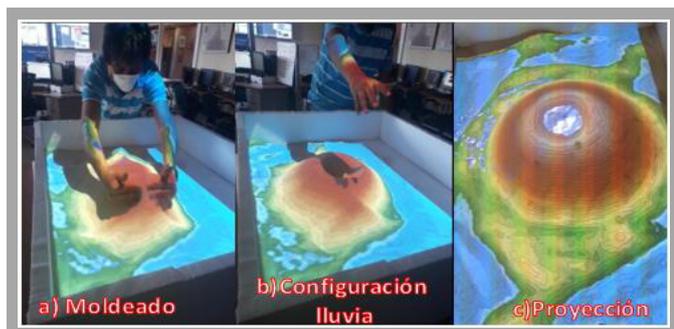


Figura 8. GS-Sandbox, simulación de inundación por lluvia.

Como parte de los resultados se registra la presentación del prototipo en dos eventos para la comunidad, que fueron:

*a) Curso vacacional denominado “Planeta Tierra: más allá de tus ojos”*

Una vez realizadas las pruebas del prototipo GS-Sandbox, en el año 2019 se tiene la oportunidad de mostrar el mismo a un grupo de niños y jóvenes que participaron en el curso organizado por Instituto Geofísico (IG) en colaboración con Tía SA y la Escuela Fe y Alegría (Hidalgo, 2019). Como parte del curso, el grupo de niños y jóvenes asistió a una visita guiada al Centro de monitoreo TERRAS del Instituto Geofísico, donde conocieron cómo se realiza el monitoreo sísmico y volcánico en el Ecuador. El área de vulcanología del IG estaba a cargo de la visita guiada y solicitó a los autores del prototipo GS-Sandbox se mostrara su funcionamiento a los niños y jóvenes que participaban de este curso. Se impartió una pequeña charla informativa donde pudieron conocer: los componentes con los que está constituido el GS-Sandbox y el funcionamiento del software y hardware que permite la adquisición de datos y la proyección de la simulación. Una vez finalizada la explicación y con ayuda de los niños se procedió a manipular la arena, dándole la forma de un volcán. El sensor Kinect realizó la adquisición de los datos, después el programa informático generó el modelo y finalmente se proyectó la simulación en la caja de arena como se muestra en la Figura 9. Para finalizar se preguntó a los niños y jóvenes ¿cómo les había parecido esta herramienta?, ellos indicaron que es una herramienta novedosa e interesante por la parte interactiva; era la primera vez que veían algo así.



Figura 9. Niños y jóvenes que participaron en el curso vacacional “Planeta Tierra: más allá de tus ojos”

*b) El Instituto Geofísico participo en la “Expo Feria Espacios de Ciencia para la Paz y el Desarrollo”*

En noviembre de 2019, el Instituto Geofísico participó en la “Expo Feria Espacios de Ciencia para la Paz y el Desarrollo” (Viracucha, 2019), la cual se realizó en el Museo Interactivo de Ciencia (MIC), donde, se expuso los diferentes equipos, técnicas y herramientas informáticas que se utilizan para el monitoreo y procesamiento de la información sísmica y volcánica, así como también los canales que utiliza el IG para la difusión de esta información. En la Figura 10 se observa la interacción de la comunidad con el GS-Sandbox, esta tuvo una acogida positiva durante las visitas donde se contó con la participación de niños, jóvenes, adultos y profesionales, así como también de profesores de colegios y universidades, quienes indicaron que la forma de proyectar la información en la caja de arena y la manipulación es bastante interesante ya que de esta manera facilita el aprendizaje sobre los fenómenos naturales como las erupciones volcánicas o inundaciones. Además, personal del MIC manifestó que esta herramienta es interesante y preguntaron cómo podían implementar la misma en el museo.



Figura 10. Personal del Instituto Geofísico en el Museo Interactivo de Ciencia (MIC), compartiendo información con niños, jóvenes y adultos

## 6. CONCLUSIONES

Con la construcción del prototipo GS-Sandbox, se demostró que es posible la realización de esta herramienta de realidad aumentada con recursos que pueda contar la institución o las personas interesadas.

Con la participación del GS-Sandbox en el expo feria y el curso vacacional, se pudo evidenciar la aceptación positiva por parte de la comunidad conformada por niños, jóvenes, adultos y profesionales. Por lo que es importante que el Instituto Geofísico asigne presupuesto para construir una versión final del GS-Sandbox.

Con la construcción del prototipo GS-Sandbox, se evidenció que se puede realizar ajustes a la caja de arena y a la estructura metálica y de madera para facilitar su transportación y disminuir su tamaño.

El proyector que se utilizó en el prototipo GS-Sandbox permitió conocer la configuración que se debe realizar al momento de la proyección en la caja de arena. Es importante

contar con la tarjeta de video HD, para que los gráficos y las simulaciones se ejecuten de forma rápida y óptima, concluyendo así que para obtener una mayor resolución es necesario contar con una tarjeta externa y un proyector de alta resolución.

Para evitar efectos secundarios a las vías respiratorias y alergias a la piel, es necesario que, para el uso del prototipo GS-Sandbox, se utilice arena artificial de juego ya que no contiene ni libera polvo fino de sílice.

## REFERENCIAS

- Hidalgo, V. (2019, agosto 13). Vacacional Sierra 2019: Planeta Tierra, Más Allá De Tus Ojos. <https://www.feyalegria.org.ec/index.php/que-hacemos/noticias/291-vacacional-sierra-2019-planeta-tierra-mas-alla-de-tus-ojos>
- IGEPN, Instituto Geofísico. (2017). Informe de Gestión 2017 (p. 33) [Rendición de Cuentas]. Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. <https://www.igepn.edu.ec/transparencia/rendicion-de-cuentas-2017/2017-fase2/20377-informe-rendicion-de-cuentas-igepn-2017>
- IGEPN, Instituto Geofísico. (2018). Informe de Gestión 2018 (p. 42) [Rendición de Cuentas]. Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. <https://www.igepn.edu.ec/transparencia/rendicion-de-cuentas-2018/2018-fase2/22131-informe-rendicion-de-cuentas-igepn-2018/file>
- López-Ruiz, J., & Cebriá, J. M. (2007). Volcanic processes and risk. *Estudios Geológicos*, 63(2), 41-65. <https://doi.org/10.3989/egol.07632198>
- Muro, L. (2019, junio 5). Realidad Aumentada—Construyendo un ARSandbox. Medium. <https://medium.com/@leytsher/realidad-aumentada-construyendo-un-arsandbox-6920258095ff>
- Reed, S. E., Kreylos, O., Hsi, S., Kellogg, L. H., Schladow, G., Yikilmaz, M. B., Segale, H., Silverman, J., Yalowitz, S., & Sato, E. (2014). Shaping Watersheds Exhibit: An Interactive, Augmented Reality Sandbox for Advancing Earth Science Education. *AGU Fall Meeting Abstracts*, 34, ED34A-01.
- Reed, S., Hsi, S., Kreylos, O., Yikilmaz, M., Schladow, S., Segale, H., & Chan, L. (2016). Augmented Reality Turns a Sandbox into a Geoscience Lesson. *Eos*, 97. <https://doi.org/10.1029/2016EO056135>
- Viracucha, E. (2019). El IGEPN participó en la “Expo Feria Espacios de Ciencia para la Paz y el Desarrollo”—Instituto Geofísico—EPN. Obtenido de: <https://www.igepn.edu.ec/interactuamos-con-usted/1767-el-igepn-participo-en-la-expo-feria-espacios-de-ciencia-para-la-paz-y-el-desarrollo>

Wilkinson, R. (2015). Augmented Reality Sandbox. <https://docplayer.net/22031287-Augmented-reality-sandbox.html>

## BIOGRAFÍAS



**Edwin Guillermo Viracucha Quinga**, Ingeniero en Informática, Universidad Tecnología América en el año 2012. Obtuvo su título de Magíster en Disaster Management del National Graduate Institute For Policy Studies (GRIPS) en Japón, en el año 2017, con ayuda de una beca otorgada por el gobierno japonés mediante la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA).

Trabaja como Analista de redes de monitoreo, en el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. Actualmente se desempeña como coordinador del Centro de Monitoreo TERRAS del Instituto Geofísico.



**Samy Patricio Manosalvas Granja**. Nacido en Ibarra-Ecuador en 1983. Ingeniero en Sistemas Informáticos y Computación (2009) de la Escuela Politécnica Nacional. Master of Science in Geographical Information Science & Systems (2019) de la Universidad de Salzburgo – Austria. Cuenta con

certificaciones internacionales vigentes: Agil Coach Professional (ACPC), Scrum Product Owner (SPOPC) y Scrum Master Professional (SMPC). Posee más de 15 años de experiencia laboral para el sector privado y público como director de proyectos, arquitecto y líder de desarrollo de software además de formador en educación virtual. Posee la patente Nro. QUI-056508 por el software “SAM - Sistema de Administración y Monitoreo de Actividad Sísmica y Volcánica”.

# Preparación de Artículos para la Revista Politécnica Utilizar Mayúsculas en cada Palabra en el Caso del Título

Apellido, Nombre<sup>1</sup>; Apellido, Nombre<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institución, Departamento o Facultad del Autor Principal, Ciudad, País

<sup>2</sup>Institución, Departamento o Facultad del Autor 2, Ciudad, País

---

**Resumen:** Las siguientes instrucciones establecen las pautas para la preparación de artículos para la Revista Politécnica. Los artículos pueden ser escritos en español o en inglés, pero tendrán un resumen de máximo 250 palabras en los dos idiomas. Los autores pueden hacer uso de este documento como una plantilla para componer su artículo si están utilizando Microsoft Word 2013 o superior. Caso contrario, este documento puede ser utilizado como una guía de instrucciones. El número mínimo de páginas será 6 y el máximo 15. Para el envío de los artículos, los autores deben seguir las instrucciones colocadas en el sistema de recepción de artículos del sitio web de la Revista Politécnica ([revistapolitecnica.epn.edu.ec](http://revistapolitecnica.epn.edu.ec)). En caso de que su artículo sea en inglés colocar el título y el resumen en los dos idiomas.

**Palabras clave:** Incluir una lista de 3 a 6 palabras.

## Title of Manuscript

**Abstract:** These instructions give you guidelines for preparing papers for EPN Journal. Papers can be written in Spanish or English; however, an abstract of maximum 250 words and written in both languages is required. Use this document as a template to compose your paper if you are using Microsoft Word2013 or later. Otherwise, use this document as an instruction set. The minimum number of pages will be 6 and the maximum will be 15. For submission guidelines, follow instructions on paper submission system from the EPN Journal website([revistapolitecnica.epn.edu.ec](http://revistapolitecnica.epn.edu.ec)).

**Keywords:** Include a list of 3 to 6 words.

---

### 1. SECCIÓN I

Este documento es una plantilla para versiones Microsoft Word 2013 o posteriores. Si está leyendo una versión impresa de este documento, por favor descargue el archivo electrónico, **revistapolitecnicaformato2020.docx**. En caso de que el autor desee enviar el artículo en formato LaTeX por favor comunicarse con la coordinación de edición ([epnjournal@epn.edu.ec](mailto:epnjournal@epn.edu.ec)). *Por favor, no coloque numeración ni pie de página en el documento presentado.*

**No cambie los tamaños de fuente o espaciado de renglones para ajustar el texto a un número limitado de páginas.** Utilice cursiva o negrita para dar énfasis a un texto, no subrayado.

### 2. SECCIÓN II

Para las pautas de presentación, siga las instrucciones emitidas por el sistema del sitio web de la revista de la EPN.

La presentación inicial debe tomar en cuenta todas las indicaciones que se presentan en la plantilla, para de esta manera tener una buena estimación de la longitud del artículo

a publicarse. Además, de esta manera el esfuerzo necesario para la presentación final del manuscrito será mínimo.

Como sugerencia, es importante tomar en cuenta que, el primer autor es el investigador que hizo la mayor parte del trabajo, mientras que el último autor suele ser el profesor quien es el líder intelectual y, a menudo edita y presenta el borrador final del documento.

La Revista Politécnica pondrá en marcha un sistema de transferencia electrónica de derechos de autor en su momento. Por favor, "no" enviar formularios de derecho de autor por correo o fax. A continuación, se detallan las consideraciones que se deben tener en cuenta para la presentación final del artículo.

### 3. SECCIÓN III

#### 3.1 Figuras, tablas y márgenes

Todas las figuras deben ser incorporadas en el documento. Al incluir la imagen, asegúrese de insertar la actual en lugar de un enlace a su equipo local. Los archivos de: figuras, dibujos, fotografías, etc., deberán enviarse en formato png, con al

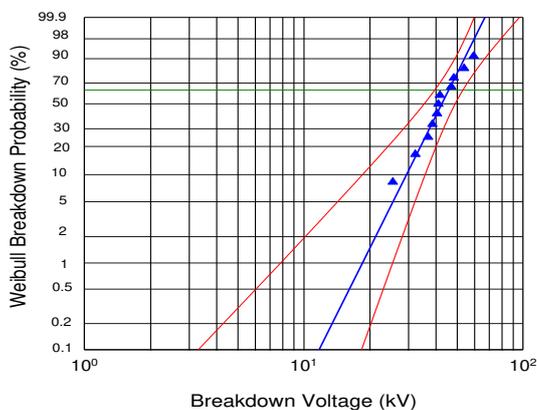
menos 1200 puntos (resolución) en uno de sus ejes, con leyendas legibles y de tamaño adecuado. El artículo debe contener entre tablas y figuras un máximo de 10.

Las etiquetas de los ejes de las figuras son a menudo una fuente de confusión. Utilice las palabras en lugar de símbolos. Por ejemplo, escriba la cantidad "Magnetización," o "Magnetización M" no sólo "M".

Las figuras y tablas deben estar en la parte superior e inferior de las columnas. Evite colocarlas en medio de ellas. Las figuras y tablas grandes pueden extenderse a lo largo de ambas columnas. Las leyendas de las figuras deben estar centradas debajo de las figuras, los títulos de las tablas deben estar centrados sobre ellas. Evite colocar figuras y tablas antes de su primera mención en el texto. Para la mención de figuras, tablas o ecuaciones utilice las palabras completas con la primera letra en mayúscula, por ejemplo "Figura 1".

Coloque las unidades entre paréntesis. No etiquete los ejes sólo con unidades. Por ejemplo, escriba "Magnetización (A/m)" o "Magnetización (Am<sup>-1</sup>)", no sólo "Magnetización A/m." No etiquete los ejes con una relación de cantidades y unidades. Por ejemplo, escriba "Temperatura (K)", no "Temperatura K".

Los multiplicadores pueden ser especialmente confusos. Escriba "Magnetización (kA/m)" o "Magnetización (103A/m)". No escriba "Magnetización (A/m) x 1000" porque el lector no sabrá si la etiqueta del eje de arriba significa 16000 A/m o 0,016 A/m. Las etiquetas de las figuras deben ser legibles, con un valor de 8 y sin espacio de separación con la figura.



**Figura 1.** Distribución Weibull de 60 Hz voltajes de ruptura de cables  $\alpha = 45,9$  kV  $\text{pico}\beta = 5,08$ . Intervalo de Confidencia 95%

Los autores deben trabajar activamente con los márgenes solicitados. Los documentos de la revista serán marcados con los datos del registro de la revista y paginados para su inclusión en la edición final. Si la sangría de los márgenes en su manuscrito no es correcta, se le pedirá que lo vuelva a presentar y esto, podría retrasar la preparación final durante el proceso de edición.

Por favor, no modificar los márgenes de esta plantilla. Si está creando un documento por su cuenta, considere los márgenes

que se enumeran en la Tabla 1. Todas las medidas están en **centímetros**.

**Tabla 1.** Márgenes de página

Página	Superior	Inferior	Izquierda/ Derecha
Primera	2,0	2,5	1,5
Resto	2,0	2,5	1,5

### 3.2 Ecuaciones

Si está usando MSWord, sugerimos utilizar el *Editor de ecuaciones de Microsoft* o el *MathType* add-on para las ecuaciones en su documento (*Insertar/Objeto/Crear Nuevo/Microsoft Ecuación o Ecuación MathType*). La opción "flotar sobre el texto" no se debe elegir.

Enumere las ecuaciones consecutivamente con los números de la ecuación en paréntesis contra el margen derecho, como en (1). Utilice el editor de ecuaciones para crear la ecuación y esta debe estar localizada en el margen derecho, como se muestra en el ejemplo siguiente:

$$\int_0^{r_2} F(r, \varphi) dr d\varphi = [\sigma r_2 / (2\mu_0)] \quad (1)$$

Asegúrese de que los símbolos en su ecuación han sido definidos antes de que aparezcan en la ecuación o inmediatamente después. Ponga en cursiva los símbolos (T podría referirse a la temperatura, pero T es la unidad tesla). Para referirse a la ecuación se escribe por ejemplo "Ecuación (1)"

### 3.3 Unidades

Utilice el SI como unidades primarias. Otras unidades pueden ser utilizadas como unidades secundarias (en paréntesis). Por ejemplo, escriba "15 Gb/cm<sup>2</sup> (100 Gb/in<sup>2</sup>)". Evite combinar las unidades del SI y CGS, como la corriente en amperios y el campo magnético en oerstedios. Esto a menudo lleva a confusión porque las ecuaciones no cuadran dimensionalmente. Si tiene que usar unidades mixtas, aclare las unidades para cada cantidad en una ecuación.

Por ejemplo, en el SI la unidad de fuerza de campo magnético Hes A/m. Sin embargo, si desea utilizar unidades de T, o bien se refiere a la densidad de flujo magnético B o la fuerza del campo magnético simbolizadas como  $\mu_0 H$ . Use un punto en el centro para separar las unidades compuestas, por ejemplo, "A·m<sup>2</sup>."

### 3.4 Abreviaturas y Siglas

Defina las abreviaciones y acrónimos la primera vez que se utilizan en el texto, incluso después de que ya han sido definidos en el resumen. No utilice abreviaturas en el título a menos que sea inevitable.

### 3.5 Otras recomendaciones

- Para expresar valores decimales se usarán comas, por ejemplo 3,45. Use un cero antes del decimal.

- Se incluirá un espacio entre números para indicar los valores de miles, por ejemplo 463 690.
- Utilice notación científica para expresar números con más de 3 cifras hacia la derecha o izquierda, es decir, mayores a 2,50E+05 o menores a 4,8E-03.
- Finalmente, de ser necesario y de manera opcional, se pueden incluir conclusiones, recomendaciones y agradecimiento.

## REFERENCIAS

La lista de **referencias debe estar en Formato APA ordenada alfabéticamente** de acuerdo con el apellido del primer autor del artículo. El agregado et al no debe ir en cursiva. Por favor nótese que todas las referencias listadas aquí deben estar directamente citadas en el cuerpo del texto usando (Apellido, año). Las notas al pie deben evitarse en la medida de lo posible.

El artículo debe contener un mínimo de 6 referencias.

Seguir el formato indicado a continuación de acuerdo al tipo de referencia a:

### Formato básico para referenciar libros:

Apellido, Inicial Nombre. (Año). *Título del libro*. Ciudad, País: Editorial.

- **Libros con un autor:**

En las referencias:

King, M. (2000). *Wrestling with the angel: A life of Janet Frame*. Auckland, New Zealand: Viking.

Cita en el texto:

(King, 2000) o King (2000) argumenta que ...

- **Libros con dos autores:**

En las referencias:

Treviño, L. K., y Nelson, K. A. (2007). *Managing business ethics: Straight talk about how to do it right*. Hoboken, NJ: Wiley

Cita en el texto:

(Treviño y Nelson, 2007) o Treviño y Nelson (2007) ilustran...

- **Libros con dos o más autores:**

En las referencias:

Krause, K.-L., Bochner, S., y Duchesne, S. (2006). *Educational psychology for learning and teaching* (2nd ed.). South Melbourne, VIC., Australia: Thomson.

Cita en el texto:

De acuerdo con Mezey et al. (2002) o ... (Mezey et al., 2002).

### Formato básico para referenciar artículos científicos

Apellido, Inicial Nombre. (Año). Título del Artículo. *Título/Iniciales de la Revista*. Número de Volumen (Tomo), páginas

- **Artículos en revistas:**

En las referencias:

Sainaghi, R. (2008). Strategic position and performance of winter destinations. *TourismReview*, 63(4), 40-57.

Cita en el texto:

(Sainaghi, 2008) o Sainaghi (2008) sugiere ...

- **Artículos con DOI**

En las referencias:

Shepherd, R., Barnett, J., Cooper, H., Coyle, A., Moran, J., Senior, V., & Walton, C. (2007). Towards an understanding of British public attitudes concerning human cloning. *Social Science & Medicine*, 65(2), 377-392. <http://dx.doi.org/10.1016/j.socscimed.2007.03.018>

Cita en el texto:

Shepherd et al. (2007) o Shepherd et al. (2007) resaltan la...

- **Artículos sin DOI**

En las referencias:

Harrison, B., & Papa, R. (2005). The development of an indigenous knowledge program in a New Zealand Maori-language immersion school. *Anthropology and Education Quarterly*, 36(1), 57-72. Obtenido de la base de datos Academic Research Library

Cita en el texto:

(Harrison y Papa, 2005) o En su investigación, Harrison y Papa (2005) establecieron...

- **Artículos en línea**

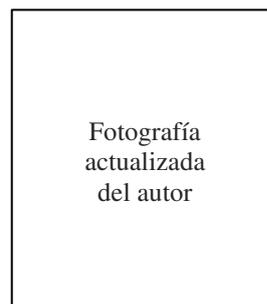
En las referencias:

Snell, D., & Hodgetts, D. (n.d.). The psychology of heavy metal communities and white supremacy. *Te Kura Kete Aronui*, 1. Obtenido de: <http://www.waikato.ac.nz/wfass/tkka>. (Mayo, 2015).

Cita en el texto:

(Snell y Hodgetts, n.d.) o Snell y Hodgetts (n.d.) identificaron "..."

## BIOGRAFÍA



Mini biografía del primer autor con un máximo de 100 palabras.

---

Fotografía  
actualizada  
del autor

Mini biografía del segundo autor con un máximo de 100 palabras.

INDEXACIONES



Matriz de Información para el  
Análisis de Revistas



CiteFactor  
Academic Scientific Journals



REVISTA  
POLITÉCNICA

PKP|INDEX



[revistapolitecnica.epn.edu.ec](http://revistapolitecnica.epn.edu.ec)



INDEX  COPERNICUS  
I N T E R N A T I O N A L



ESCUELA  
POLITÉCNICA  
NACIONAL



REVISTA  
POLITÉCNICA



EPN  
*editorial*

[revistapolitecnica.epn.edu.ec](http://revistapolitecnica.epn.edu.ec)  
[www.epn.edu.ec](http://www.epn.edu.ec)





ESCUELA  
POLITÉCNICA  
NACIONAL



REVISTA  
POLITÉCNICA



EPN  
*editorial*

[revistapolitecnica.epn.edu.ec](http://revistapolitecnica.epn.edu.ec)  
[www.epn.edu.ec](http://www.epn.edu.ec)