



Foto:Exhibición Toyin Ojih Odutola. Fuente: <https://wepresent.wetransfer.com/story/toyin-ojih-odutola>



FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL



# Investigación y Desarrollo

## Universidad Central del Ecuador

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL  
AÑO 2020/ VOLUMEN 1 / NÚMERO 1  
QUITO - ECUADOR



## VALORES Y PRINCIPIOS



Es un valor por excelencia que se caracteriza por la colaboración que existe entre los individuos, lo que sin duda permite lograr la superación de los más terribles desastres, como guerras, pandemias, entre otros, aplicarlo también con nuestros familiares, amigos y/o conocidos que se encuentren en situaciones difíciles y con la ayuda recibida permita salir adelante y mejorar en cierto modo la situación.

# SOLIDARIDAD

Es la capacidad de sobreponerse a momentos críticos y adaptarse luego de experimentar alguna situación inusual e inesperada; es hacer frente a las adversidades de la vida, transformar el dolor en fuerza motora para superarse y salir fortalecido de ellas. Una persona resiliente comprende que es el arquitecto de su propia alegría y de su propio destino.



# RESILIENCIA

Año: 2020, VOL 1, No. 1

Frecuencia: Semestral

ISSN i: 1390 – 7042 ISSN e: 2602-8484

Año de Inicio: 2000

Idioma: Español

e mail: revista.figempa@uce.edu.ec

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

Dirección: Ciudadela Universitaria, calle Jerónimo Leyton y Gatto Sobral

Teléfonos: (593-2) 2550-588 (593-2) 2566 - 226 ext: 118 / (593 9) 98776225

Quito-Ecuador

## Revista Científica Indexada en Latindex

La revista FIGEMPA Investigación y Desarrollo está destinada a la difusión de resultados de investigaciones y estudios técnicos realizados por profesores, profesionales y estudiantes de grado y posgrado de las universidades y expertos nacionales e internacionales en áreas vinculadas a Ciencias de la Ingeniería, Ciencias Exactas y Naturales, Energía, Geología, Ingeniería Minera, Ingeniería Petrolera, Tecnología, Ciencias de la Tierra, Investigación, Seguridad y al Aprovechamiento Sustentable de los Recursos Naturales No Renovables. Es un espacio interdisciplinario de discusión tanto en aspectos teóricos como de aplicación en las áreas indicadas.

Los criterios vertidos en los artículos son de estricta responsabilidad de sus autores. El pensamiento de la Revista se expresa en el Editorial

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

## En la Portada:



La monocromía es una pintura compuesta con un único color o en blanco y negro, su resultado es poder apreciar y educar, en última instancia, un espacio de reflexión durante este tiempo turbulento de pandemia (COVID-19), tiempo de gran dolor, ira y confusión. Es un acto radical para crear belleza y para investigar en condiciones diferentes, dándonos cuenta de que esa “normalidad” que vivíamos era anormal. Tenemos que luchar contra el impulso de contribuir al dolor, es una lucha diaria para hacerlo, está en nuestro corazón superar estos eventos que afectan a las personas, nuestros trabajos, nuestras vidas. Esperamos al salir de esta fase crítica nos ayude a reunirnos, a sanar, a encontrar la belleza en nuestros momentos fugaces a pesar del dolor y el trauma, y al final, el quehacer investigativo en el Ecuador y en el mundo, contemple al ser humano como el fin último por el cual hacer y generar paz en medio de esta cruel locura.

Acercarnos al proceso investigativo es adquirir un intenso compromiso con la creación de herramientas que permitan explorar nuestro potencial con la idea de proponer soluciones prácticas, no especulativas, ni utópicas, que inviten a la sociedad a contemplar con una visión holística, un mundo distinto pero fantástico, donde los elementos (tierra, agua, aire, fuego) de nuestra Madre Tierra (Pachamama, GAIA, etc.) ayuden a romper los paradigmas y que el hombre salga de esa cueva que no le deja observar las imágenes creadas por su obscuridad. Subvertimos, por tanto, la concepción “normal” del siglo XX matizada por la injusticia, la opresión, el abandono, el quemeimportismo, la angustia, la desesperación, la irracionalidad, el individualismo, la vanidad, para ver la luz de la solidaridad, la disciplina, la resiliencia, la amistad, el respeto, la justicia, la tolerancia, el trabajo en equipo, en definitiva, el amor a nuestro entorno del cual somos parte.

## AUTORIDADES UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR JULIO 2019 - 2024

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

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

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

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

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

**PROCURADOR:** Dr. Ramiro Acosta Cerón

### CUERPO EDITORIAL

#### DIRECTOR EDITOR GENERAL

| NOMBRE                            | INSTITUCIÓN | CARGO                                | CORREO                                |
|-----------------------------------|-------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Ing. Gustavo Pinto Arteaga, Mgtr. | FIGEMPA     | <b>DIRECTOR –<br/>EDITOR GENERAL</b> | grpinto@uce.edu.ec<br>grpa54@yahoo.es |

#### CONSEJO EDITORIAL

|                                   |                                                                                  |                              |                                                  |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------|
| Ph.D. Félix Andueza Leal          | Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental - UCE - Ecuador | Asesor Científico            | fdandueza@uce.edu.ec<br>felixandueza@hotmail.com |
| Ph.D. Carolina Bernal Carrera     | Escuela Politécnica Nacional – Ecuador                                           | Coordinador Minas            | isabel.bernal@epn.edu.ec                         |
| Ing. Susana Cadena Vela, M.Sc.    | Facultad de Ciencias Administrativas - UCE – Ecuador                             | Asesora Tecnológica          | scadena@uce.edu.ec                               |
| Ph.D. Miguel Cazorla Quevedo      | Universidad de Alicante – España                                                 | Coordinador Tecnología       | miguel.cazorla@ua.es                             |
| Ph.D. Arturo Egüez Delgado        | Escuela Politécnica Nacional – Ecuador                                           | Coordinador Geología         | arturo.eguez@epn.edu.ec                          |
| Ph.D. Ernesto De La Torre Chauvín | Escuela Politécnica Nacional – Ecuador                                           | Coordinador Procesos         | ernesto.delatorre@epn.edu.ec                     |
| Ph.D. Gerardo Medina Ramírez      | Universidad de Los Andes - Venezuela                                             | Asesor Científico            | medinag47@gmail.com                              |
| Ph.D. Alicia Ramírez Orellana     | Universidad de Almería – España                                                  | Economista en Energía        | aramirez@ual.es                                  |
| Ph.D. José Rosero                 | Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas Y Matemáticas - UCE - Ecuador           | Coordinador Ciencias Exactas | jarosero@uce.edu.ec                              |
| Ph.D. Ovadia Shoham               | Universidad de Tulsa - USA                                                       | Asesor en Hidrocarburos      | ovadia-shoham@utulsa.edu                         |
| Dr. Juan Solano Mora              | Consultor – Ecuador                                                              | Secretario de Redacción      | solmor37@hotmail.com                             |

|                                         |                                                                                  |                           |                            |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Ing. Francisco Viteri Santamaría, M.Sc. | Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental - UCE - Ecuador | Editor Asociado           | frviteri@uce.edu.ec        |
| Ph.D. Johnny Zambrano                   | Escuela Politécnica Nacional – Ecuador                                           | Coordinador Hidrocarburos | johnny.zambrano@epn.edu.ec |

### COMITÉ de ETICA

| NOMBRE                             | INSTITUCIÓN                          | CORREO                                             |
|------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Ing. Gustavo Pinto Arteaga, Mgtr.  | FIGEMPA                              | grpinto@uce.edu.ec<br>grpa54@yahoo.es              |
| Dr. Marco González Escudero, M.Sc. | FIGEMPA                              | magonzaleze@uce.edu.ec<br>magonzalesro@hotmail.com |
| Ph.D. José Rosero                  | Director de Innovación y Doctorado   | jarosero@uce.edu.ec                                |
| Dr. Jorge Ortiz Herrera            | FIGEMPA                              | jdortiz@uce.edu.ec                                 |
| Ing. Susana Cadena Vela, Ph.D.     | Facultad de Ciencias Administrativas | scadena@uce.edu.ec                                 |
| Ing. Xavier Lastra Bravo, Ph.D.    | Facultad de Ciencias Agrícolas       | xblastra@uce.edu.ec                                |

### COMITÉ EDITOR

| NOMBRE                             | INSTITUCIÓN             | CORREO                                             |
|------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------|
| Dr. Marco González Escudero, M.Sc. | FIGEMPA                 | magonzaleze@uce.edu.ec<br>magonzalesro@hotmail.com |
| Lic. Christian Ortiz Villarreal    | Consultor Independiente | khryss2406@gmail.com                               |
| Gabriel Armas Arroba               | FIGEMPA                 | ggarmas@uce.edu.ec                                 |

### COMITÉ CIENTÍFICO

| NOMBRE                                  | INSTITUCIÓN                                           | CORREO                                     |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Ing. Ernesto de la Torre, Ph.D.         | Escuela Politécnica Nacional                          | ernesto.delatorre@epn.edu.ec               |
| Ing. Johnny Zambrano, Ph.D.             | Escuela Politécnica Nacional                          | johnny.zambrano@epn.edu.ec                 |
| Ph.D. Carolina Bernal Carrera           | Escuela Politécnica Nacional                          | Isabel.bernal@epn.edu.ec                   |
| Ing. Boroshilov Castro Merizalde, M.Sc. | Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemáticas | gbcm_2006@yahoo.com<br>gbcastro@uce.edu.ec |
| Dr. Fernando Novillo Logroño, Ph.D.     | Facultad Ciencias Químicas                            | fnovillo@uce.edu.ec                        |
| Ing. Alberto Castillo, M.Sc.            | Consultor                                             | albertocastillo2@gmail.com                 |

|                               |                       |                          |
|-------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Dr. Ovadia Shoham, Ph.D.      | Tulsa University, USA | ovadia-shoham@utulsa.edu |
| Dr. Félix Andueza Leal, Ph.D. | FIGEMPA               | fdandueza@uce.edu.ec     |
| Dr. Jorge Ortiz Herrera       | FIGEMPA               | jdortiz@uce.edu.ec       |

### COMITÉ ASESOR

| NOMBRE                              | INSTITUCIÓN                     | CORREO                   |
|-------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Ing. Susana Cadena Vela, Ph.D.      | Facultad de Administración      | scadena@uce.edu.ec       |
| Ph.D. Carolina Bernal Carrera       | Escuela Politécnica Nacional    | Isabel.bernal@epn.edu.ec |
| Ing. Manuel Cazorla, Ph.D.          | Universidad de Alicante –España | miguel.cazorla@ua.es     |
| Ing. Daniel Philco C., M.Sc.        | Consultor interno               | danelo99@yahoo.ca        |
| Ing. Fernando Reyes Cisneros, Mgtr. | Consultor                       | rrramirofer9@gmail.com   |

### COMITÉ INTERNACIONAL

| NOMBRE                    | INSTITUCIÓN                         |
|---------------------------|-------------------------------------|
| Ing. Ovadia Shoham, Ph.D. | Tulsa University, USA               |
| Ing. Jhon Bolaños, Ph.D.  | Consultor, Ecuador                  |
| Ing. Jorge Romero, Ph.D.  | Universidad de Atacama, Chile       |
| Ing. Miguel Cazorla, Ph.D | Universidad de Alicante, España     |
| Dr. Gerardo Medina        | Universidad de Los Andes, Venezuela |

### EVALUADORES PARES INTERNOS FIGEMPA

| NOMBRE                            | CORREO                |
|-----------------------------------|-----------------------|
| Ing. Marlon Ponce Zambrano, M.Sc  | mrponce@uce.edu.ec    |
| Dr. Carlos Ordoñez Campain, M.Sc. | cordonez@uce.edu.ec   |
| Ing. Luis Villacís Buenaño, M.Sc. | lfvillacis@uce.edu.ec |
| Ing. Galo Albán Soria, M.Sc.      | gfalban@uce.edu.ec    |
| Ing. Gustavo Pinto Arteaga, Mgtr. | grpinto@uce.edu.ec    |

|                                          |                           |
|------------------------------------------|---------------------------|
| Quím. Bolívar Enríquez Vallejo, Mgtr.    | bgenriquez@uce.edu.ec     |
| Ing. Nelson Suquilanda Duque, Dipl. Sup. | nhsuquilanda@uce.edu.ec   |
| Ing. Marcelo Llerena Carrera, Mgtr.      | marcelollerenac@gmail.com |
| Ing. Fernando Lucero Calvache, M.Sc.     | falucero@uce.edu.ec       |
| Ing. David Carrera Villacrés, Ph.D.      | dvcarrera@uce.edu.ec      |
| Ing. Susana Arciniegas Ortega, MC.       | srarciniegas@uce.edu.ec   |
| Ing. Ramiro Guerrón Varela, M.Sc.        | erguerron@uce.edu.ec      |
| Ing. César Chávez O., Ph.D.              | cachavezo@uce.edu.ec      |
| Dr. Félix Andueza, Ph.D.                 | fdandueza@uce.edu.ec      |
| Ing. Jorge Bustillos, M.Sc.              | jebustillos@uce.edu.ec    |
| Ing. Gorky Ruiz, M.Sc.                   | agruizp@uce.edu.ec        |
| Ing. Francisco Viteri                    | frviteri@uce.edu.ec       |

## EVALUADORES PARES EXTERNOS

| NOMBRE                          | INSTITUCIÓN                                           | CORREO                         |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Dr. Antonio García Amate        | Universidad de Almería – España                       | aga237@inlumine.ual.es         |
| Ing. Jorge Erazo B., Mgtr.      | Consultor                                             | jorgeerazob@yahoo.com          |
| Dr. Fernando Novillo, Ph.D.     | Facultad de Ciencias Químicas                         | fnovillo@uce.edu.ec            |
| Ing. Johnny Zambrano, Ph.D.     | Escuela Politécnica Nacional                          | johnny.zambrano@epn.edu.ec     |
| Ph.D. Carolina Bernal C.        | Escuela Politécnica Nacional                          | Isabel.bernal@epn.edu.ec       |
| Ing. Marco Rosero, M.Sc.        | Facultad de Ingeniería Química                        | mvrosoero@uce.edu.ec           |
| Ing. Miguel Cazorla, Ph.D.      | Universidad de Alicante –España                       | miguel.cazorla@ua.es           |
| Ing. Luis Mejía Vallejo, M.Sc.  | Consultor                                             | luismejiavallejo@gmail.com     |
| Ing. Christian Vallejo, Ph.D.   | Consultor                                             | cristian.vallejo@geostrats.com |
| Ing. Jaime Gutiérrez, M.Sc.     | Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemáticas | jhgutierrez@uce.edu.ec         |
| Ing. Daniel Philco C., M.Sc.    | Consultor                                             | danelo99@yahoo.ca              |
| Ing. Boroshilov Castro, M.Sc.   | Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas Y Matemáticas | gbcm_2006@yahoo.com            |
| Ing. Alberto Castillo, M.Sc.    | Consultor                                             | albertocastillo2@gmail.com     |
| Ing. Ernesto de la Torre, M.Sc. | Escuela Politécnica Nacional                          | Ernesto.delatorre@epn.edu.ec   |

|                                     |                                                          |                                                      |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Ing. Pablo Dejavayan, Ph.D.         | Universidad Nacional de Chimborazo, UNACH                | pdjabayan@gmail.com                                  |
| Dr. Gerardo Medina, Ph.D.           | Universidad de Los Andes- Venezuela                      | medinag47@gmail.com                                  |
| Ing. Pedro Almagro B., Ph.D.        | Grupo de Modelado de Sistemas Complejo                   | palmagro@uce.edu.ec<br>palmagroblanco@googlemail.com |
| Ing. Roberth Enríquez, M.Sc.        | Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemáticas    | renriquez@uce.edu.ec                                 |
| Dr. Moisés Logroño, M.Sc.           | Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación | rlogrono@uce.edu.ec<br>moiseslogrono@yahoo.com       |
| Dr. Fabián Rodríguez, Ph.D.         | Universidad de Las Fuerzas Armadas – ESPE                | ffrodriguez3@espe.edu.ec                             |
| Ing. Lucía Jiménez, M.Sc.           | Universidad de Las Fuerzas Armadas – ESPE                | lejimenez@espe.edu.ec                                |
| Ing. Sabino Menolasina, Ph.D.       | Universidad de Los Andes - Venezuela                     | menolasina1960@gmail.com                             |
| Ing. Edwin León, M.Sc.              | IIGE                                                     | eleontapia@gmail.com                                 |
| Econ. Bernardo Brito                | Consultor                                                | bernardo.brito@geostrats.com                         |
| Ing. Jorge Viteri Moya, M.Sc.       | Facultad de Ingeniería Química                           | jrviteri@uce.edu.ec<br>viterim@hotmail.com           |
| Ing. Ana Gabriela Haro, Ph.D.       | Universidad de Las Fuerzas Armadas – ESPE                | agharo@espe.edu.ec                                   |
| Ing. Pablo Caiza Sánchez, Ph.D.     | Universidad de Las Fuerzas Armadas – ESPE                | pecaiza1@espe.edu.ec                                 |
| Ing. Carlos Ortega Tejada, M.Sc.    | Facultad de Ciencias Agrícolas                           | caortega@uce.edu.ec                                  |
| Bioquim. Maggy Díaz A., MSGA.       | Facultad de Ciencias Agrícolas                           | madiatz@uce.edu.ec                                   |
| Ing. Xavier Lastra Bravo, Ph.D.     | Facultad de Ciencias Agrícolas                           | xblastra@uce.edu.ec                                  |
| Ec. Antonio Rea Toapanta, M.Sc.     | Facultad de Ciencias Económicas                          | arrea@uce.edu.ec                                     |
| Phd. Jenny Martínez, M.Sc.          | Facultad de Cultura Física                               | jemartinez@uce.edu.ec                                |
| Ing. Diego Jaya                     | Consultor Independiente                                  | dyajafierro@hotmail.com                              |
| Dra. Elvia Victoria Cabrera         | Facultad Ingeniería Química                              | evcabreram@uce.edu.ec                                |
| Dr. Edward Jiménez                  | Facultad Ingeniería Química                              | ehjimenez@uce.edu.ec                                 |
| Ing. Andrés Cevallos                | Facultad de Arquitectura                                 | lacevalloss@uce.edu.ec                               |
| Ing. José Rodas Cabrera             | Petroamazonas                                            | jrodasster@gmail.com                                 |
| Ing. Fernando Reyes Cisneros, Mgtr. | Consultor                                                | rrramirofer9@gmail.com                               |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| <b>CUERPO EDITORIAL</b>                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>II</b>          |
| <b>CIENCIA, INVESTIGACIÓN Y PANDEMIA EDITORIAL</b>                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>VIII<br/>IX</b> |
| <b>RELACIÓN ENTRE TMAX Y REFLECTANCIA DE LA VITRINITA EN LAS CUENCAS DE ANTE-ARCO DEL SUR-OESTE DEL ECUADOR / RELATIONSHIP BETWEEN TMAX AND VITRINITE REFLECTANCE IN THE FORE-ARC BASINS OF SOUTH-WEST OF ECUADOR</b>                                                                                 | <b>01<br/>10</b>   |
| <b>CORDILLERA REAL: VARIACIÓN DE METAMORFISMO EN EL TRAYECTO ATILLO-NORMANDIA / CORDILLERA REAL: METAMORPHISM VARIATION ALONG THE ATILLO-NORMANDY ROUTE</b>                                                                                                                                           | <b>18</b>          |
| <b>MICROBIOLOGÍA DEL AGUA TERMAL DEL BALNEARIO ILALÓ. PICHINCHA, ECUADOR / THERMAL WATER MICROBIOLOGY OF THE ILALÓ SPA. PICHINCHA. ECUADOR</b>                                                                                                                                                        | <b>18</b>          |
| <b>DIFERENCIAS EN EL CLIMA QUE PRODUCE INCENDIOS FORESTALES Y DE OLAS DE CALOR EN VICTORIA, AUSTRALIA / CLIMATE CHANGES CAUSED BY BUSHFIRE AND HEATWAVE IN VICTORIA, AUSTRALIA</b>                                                                                                                    | <b>26</b>          |
| <b>DEFINICIÓN DE LA UTILIDAD DEL MÉTODO DE ARRHENIUS EN EL ESTUDIO DE ESTABILIDAD TÉRMICA DE COMPUESTOS FENÓLICOS EN URERA LACINIATA GOUDOT EX WEDD / DEFINITION OF THE UTILITY OF THE ARRHENIUS METHOD IN THE STUDY OF THERMAL STABILITY OF PHENOLIC COMPOUNDS IN URERA LACINIATA GOUDOT EX WEDD</b> | <b>40</b>          |
| <b>EL DESARROLLO TECNOLÓGICO INDUSTRIAL EN EL PROCESO DE URBANIZACIÓN DE LA CIUDAD DE QUITO / INDUSTRIAL TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT IN THE URBANIZATION PROCESS OF THE CITY OF QUITO</b>                                                                                                               | <b>47</b>          |
| <b>INFLUENCIA DE ADITIVOS (POLÍMEROS Y POLIALUMINIO) EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE / INFLUENCE OF ADDITIVES (POLYMERS AND POLYALUMINUM) IN THE PHYSICALMECHANICAL PROPERTIES OF HOT ASPHALTIC MIXTURES</b>                                                    | <b>60</b>          |
| <b>ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL DE EDIFICIOS APORTICADOS DE HORMIGÓN ARMADO APLICANDO NORMATIVA ECUATORIANA, COLOMBIANA Y PERUANA / NON-LINEAR STATIC ANALYSIS OF RC FRAME BUILDINGS USING ECUADORIAN, COLOMBIAN AND PERUVIAN CODES.</b>                                                               | <b>72</b>          |
| <b>POTENCIAL GEOLÓGICO DEL ALÓFANO EN LA PROVINCIA DE SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS./ ALLOPHANE GEOLOGICAL POTENTIAL IN THE SANTO DOMINGO</b>                                                                                                                                                        | <b>79</b>          |
| <b>ESTUDIO DE LA EFICACIA DE LA TOMA DE MEDIDAS DE VIBRACIONES MECÁNICAS SOBRE SUPERFICIES IRREGULARES Y NO RÍGIDAS / STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF TAKING MEASUREMENTS OF MECHANICAL VIBRATIONS ON IRREGULAR AND NON-RIGID SURFACES</b>                                                              | <b>93</b>          |
| <b>GUÍA PARA LA PRESENTACIÓN Y APROBACIÓN DE ARTÍCULOS</b>                                                                                                                                                                                                                                            | <b>99</b>          |



**Equipo de trabajo construyendo la Facultad, la Universidad y el Ecuador que queremos**

Parados de izquierda a derecha: Sr. Roberth Aldás, Ing Galo Albán, Dr. Félix Andueza, Ing. Byron Guerrero, Ing. Luis Soria, Ing. Francisco Viteri, MSc. Oswaldo Espín.  
Sentados de izquierda a derecha: Srta. Andrea Monroy, Dra. Sully Rodríguez, Ing. Danny Burbano, Quím. Bolívar Enríquez, Ing. Teresa Palacios, Ing. Gustavo Pinto, Dra. Ruth Recalde, Tlga. Aracely Borja, Ing. Marlon Ponce, Sra. Juana Tulcanaza

# Mensaje



Dr. Félix Andueza Leal.

COORDINADOR DE INVESTIGACIÓN DEL ÁREA DE CIENCIAS EXACTAS DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

## CIENCIA, INVESTIGACIÓN Y PANDEMIA

El inicio del año 2020 ha significado vivir situaciones inéditas en el mundo universitario, tanto desde el punto de vista de la docencia, como en la investigación y vinculación con la sociedad. En un tiempo muy corto se ha puesto a prueba la capacidad de adaptación y de respuesta de toda la comunidad universitaria ante los cambios imprevistos en su entorno social y económico, lo que ha causado un fuerte impacto en las diferentes estructuras que sostienen y mantienen el trabajo universitario.

En este ámbito de cambios, la revista FIGEMPA: Investigación y Desarrollo, no se ha amilanado y ha continuado con su labor de difundir el conocimiento generado, tanto en el ámbito académico, como en el ámbito laboral y profesional.

El presente volumen es la respuesta que da una comunidad académica comprometida con el desarrollo y consolidación de la investigación científica dentro de sus predios. Sorteando obstáculos y adversidades, el comité editorial de la revista presenta hoy en día un nuevo número, en donde se expresa la contribución de la Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleo y Ambiental (FIGEMPA) al acervo científico de la Universidad Central del Ecuador. En el momento que vivimos una de las peores pandemias que han azotado a la humanidad en los últimos siglos, la revista hace su aporte a la comunidad académica del país.

Son los momentos de adversidad donde se ponen en juego el talante y la creatividad de las sociedades. Es el momento de asumir compromisos y, en ese sentido, la revista FIGEMPA: Investigación y Desarrollo, asume su papel con el sector académico de la Universidad Central del Ecuador y del país, y pone a su consideración una serie de artículos científicos que pretenden contribuir a la solución de muchos de los problemas que padece el Ecuador en diferentes áreas estratégicas para su desarrollo.

Este compromiso es la forma de demostrar que la Universidad está y estará presente en los momentos más difíciles que le toque vivir a la sociedad ecuatoriana, cuando el país necesite una orientación basada en la evidencia y en el trabajo científico que le permita construir soluciones y salidas a sus ingentes problemas, allí estará la Universidad Central del Ecuador y su revista FIGEMPA: Investigación y Desarrollo, contribuyendo con su aporte en la difusión del saber y del conocimiento, como lo ha hecho en esta oportunidad de crisis en todos los ámbitos de nuestras vidas.

*“Labor Improbis Omnia Vincit...” (El trabajo tenaz todo lo puede...)*  
*Publio Virgilio*

# Editorial



Ing. Gustavo Pinto Arteaga, Mgtr.

DECANO DE LA FIGEMPA

## NATURALEZA, PANDEMIA Y RECURSOS NATURALES

Media humanidad se encuentra en aislamiento por el COVID-19 y la otra media quizá se encuentre pronto pero ¿qué está pasando con el medio ambiente?, parece que la naturaleza ha entrado en una fase de rehabilitación forzosa debido al aislamiento de la especie humana. Las selvas se expanden y los cielos se limpian, las autopistas se vacían, los animales silvestres se toman las ciudades, fotos satelitales dan cuenta de una disminución del smog en el aire, el confinamiento social, la disminución de los desplazamientos de vehículos a motor, la producción industrial y el consumo han provocado que las ciudades se hayan ido librando de la contaminación. La expansión del coronavirus está causando estragos en la economía pero, ¿cómo afecta al medio ambiente? ¿hay una revancha de la naturaleza contra el ser humano?

Esta situación debe hacernos reflexionar sobre nuestro futuro común, debiendo tomar en cuenta muchos parámetros y cuestionarnos como sociedad acerca del cuidado que estamos teniendo por nuestro planeta. Las imágenes que hemos visto en muchos lugares alrededor del mundo en donde, hemos apreciado como la naturaleza poco a poco comienza a retomar su espacio, son muy elocuentes.

Resaltamos la necesidad de proteger el ambiente y la conservación de la biodiversidad, así como paliar con los efectos de la sobreexplotación, la contaminación y hacer uso responsable de los recursos naturales. Este cambio de mentalidad depende de nosotros: no consumir los recursos en exceso, no derrochar energía ni generar desechos innecesarios. La mejor herencia que podemos dejar a las futuras generaciones es un planeta habitable.

Armonicemos el aprovechamiento de nuestros recursos naturales con la preservación del ambiente para mejorar la calidad de vida del ser humano.

Recibido: 18/05/2020

Aprobado: 25/06/2020

ARTÍCULO ORIGINAL

# RELACIÓN ENTRE TMAX Y REFLECTANCIA DE LA VITRINITA EN LAS CUENCAS DE ANTE-ARCO DEL SUR-OESTE DEL ECUADOR

## Relationship between Tmax and Vitrinite Reflectance in the fore-arc basins of South-West of Ecuador

**Barba Castillo Diego Paúl.**  
PETROAMAZONAS EP. Quito, Ecuador.  
diego\_barba@petroamazonas.gob.ec  
<https://orcid.org/0000-0002-3091-321>

**Rivadeneira Montesdeoca Marco Vinicio.**  
Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.  
marco.rivadeneira@epn.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0001-6860-1257>

**Montenegro Santos Galo Vicente.**  
Escuela Superior Politécnica del Litoral.  
Guayaquil, Ecuador.  
gmontene@espol.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0002-5976-2179>

### RESUMEN

La cuantificación de  $R_o$  y  $T_{max}$  son dos técnicas independientes utilizadas para caracterizar la madurez termal de las rocas. Más aún, varios estudios han demostrado que existe una relación lineal-directa entre estos dos parámetros. Para el caso de las cuencas del Sur-Oeste de Ecuador, se ha establecido una ecuación [ $R_o = 0.0228 * T_{max} - 9.21$ ] basada en las muestras de los pozos Tiburon-0001 y B2-ANX1-1X, los cuales son considerados como los más confiables. Adicionalmente, se incorporó una zona de confianza ( $T_{max} \pm 1\sigma$ ). Las muestras que caen fuera de esta zona no fueron consideradas en posteriores interpretaciones. La ecuación propuesta ha sido probada eficientemente para otros pares de datos analizados en este trabajo e incluso resulta funcional para otras cuencas. La caracterización termal del Sur-Oeste del Ecuador, da cuenta de la existencia de dos zonas que habrían alcanzado la suficiente madurez termal para generar hidrocarburos. La primera está asociada con las rocas del Cretácico tardío presentes en la Cordillera de Chongón-Colonche y a rocas del Paleoceno del Levantamiento de Santa Elena. La segunda está relacionada con rocas del Neógeno y que se encuentran afectadas por el sistema de fallas Puná-Santa Clara. La madurez termal observada en estas zonas ha sido vinculada con procesos tectónicos, ya sea por la acreción de terrenos (Sistema Cretácico tardío – Paleoceno) y al escape del Bloque Nor-Andino (Sistema Neógeno).

**Palabras clave:** reflectancia de la vitrinita ( $R_o$ ); temperatura máxima ( $T_{max}$ ); temperatura de soterramiento ( $T_{burial}$ ); madurez termal, roca madre, cuenca de ante-arco.

### ABSTRACT

*Quantification of  $R_o$  and  $T_{max}$  are two independent techniques used to constrain the thermal maturity of rocks. Furthermore, several studies have recognized a direct linear relationship between both parameters. In the case of the fore-arc basins of the South-West of Ecuador, we have established an equation [ $R_o = 0.0228 * T_{max} - 9.21$ ] based in the data of samples of the Tiburon-0001 and B2-ANX1-1X wells; which correspond to the best quality data. Additionally, a confidence zone was established ( $T_{max} \pm 1\sigma$ ). The samples that fall out of this zone were not considered in further interpretations. The proposed equation has been tested efficient for other pairs of data analyzed in this work and for other basins. The thermal characterization of the South-West of Ecuador shows that two zones may have*

reached sufficient thermal maturity in order to generate hydrocarbons. The first one is related with late Cretaceous rocks of the Chongón-Colonche Range and with Paleogene rocks of Santa Elena High. The second one is related with Neogene rocks affected by the Puna-Santa Clara fault system. The thermal maturity observed in these zones has been linked with tectonic processes, due to accretionary events (Late Cretaceous and Paleogene systems) and to the Nor-Andean Block scape (Neogene system).

**Keywords:** vitrinite reflectance ( $R_o$ ); maximum temperature ( $T_{max}$ ); burial temperature ( $T_{burial}$ ); thermal maturity, source rock, fore-arc basin.

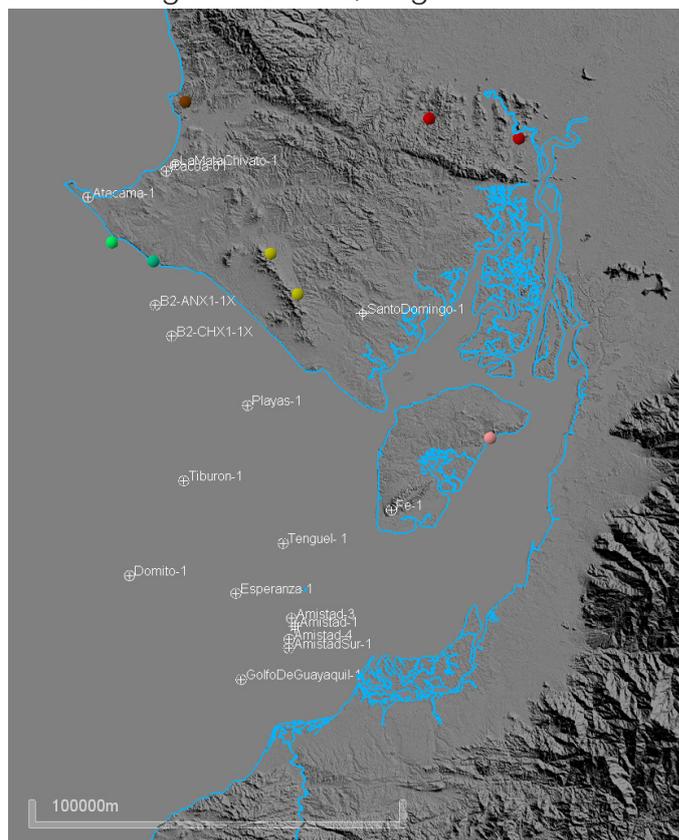
## INTRODUCCIÓN

La caracterización de la madurez termal de una roca madre es el primer paso en el análisis de cuenca, ya que determina si una roca madre entró o no en ventana de generación de hidrocarburos y por lo tanto determina la existencia de un sistema petrolífero.

Una roca madre puede estar ampliamente distribuida en una cuenca sedimentaria; sin embargo, sólo en ciertos lugares habría alcanzado la madurez termal. Una roca madre pudo haber alcanzado una o varias veces la ventanas de generación. La zona donde la roca madre se encuentra en ventana de generación se denomina cocina. La cocina se denomina activa si la roca madre se encuentra actualmente en ventana de generación, para lo cual se utiliza el gradiente geotermal actual de la cuenca; por otro lado, se denomina paleo-cocina al lugar donde la roca madre entró en ventana de generación en el pasado geológico, para lo cual se utilizan geotermómetros, uno de los más utilizados es la reflectancia de vitrinita.

En la fase inicial de exploración de una cuenca, las muestras analizadas corresponden a los afloramientos. En una segunda etapa se busca tomar muestras representativas de la roca madre, ya sea con campañas de geología de superficie más detalladas o a través de sondeos de perforación (Core Hole), en este caso se busca que las rocas no presenten meteorización, que afecta a la calidad de la roca. Finalmente, en un estado avanzado de exploración, se toman muestras de los pozos exploratorios, ya sean a través de un núcleo continuo, núcleos de pared (Side-wall Core) o rípios de perforación (Ditch samples). En general, resulta difícil contar con muestras de la parte más profunda de la cuenca (depo-centro), por lo que usualmente se extrapolan los datos conocidos a la zona más profunda mediante mapas estructurales, los que han sido creados a partir de secciones

de sísmica de reflexión o modelados a partir de encuestas gravimétricas/magnetométricas.



**Figura.1** Ubicación de los lugares de muestreo. La mayor cantidad de muestras proviene de los perfiles geoquímicos de los pozos exploratorios.

La madurez termal rutinariamente suele ser caracterizada por dos técnicas analíticas independientes; estas son la medición de la temperatura máxima ( $T_{max}$ ) a través de la pirólisis rock-eval y la medición de la reflectancia de la vitrinita ( $R_o$ ).

El uso conjunto de las medidas de  $R_o$  y  $T_{max}$ , permiten caracterizar de forma adecuada si una roca entró en ventana de generación de hidrocarburos, la ausencia de uno de estos dos parámetros crea incertidumbre en la interpretación. La reflectancia de la vitrinita y la  $T_{max}$  se miden en rocas clásticas de grano fino con presencia de materia orgánica diseminada.

La coloración de las esporas (SCI, por sus siglas en inglés) y el índice de alteración termal (TAI, por sus siglas en inglés) son otras técnicas para evaluar la madurez termal de una roca madre, en ambos casos mide los cambios de color de los palinomorfos. Ambas técnicas deben ser utilizadas como métodos suplementarios, ya que son técnicas subjetivas, relacionadas a la experticia del laboratorista.

Por otro lado, el análisis de las trazas de fisión de apatito es otra técnica para medir la madurez, pero se aplica a rocas clásticas de grano grueso a medio, como las areniscas. La longitud de las trazas de fisión en los cristales de apatito está relacionada con la temperatura máxima a la que la roca ha sido expuesta y por lo tanto provee información relacionada a la historia termal. Esta técnica es poco utilizada, debido a su alto costo.

Las cuencas de ante-arco se localizan entre la zona de subducción y la cordillera de los Andes. Existen dos rocas madres aceptadas como posibles generadoras de los hidrocarburos presentes en esta región. La primera es la Fm. Calentura del Cretácico tardío, la cual está asociada con el basamento de las cuencas, esta formación se habría depositado en una cuenca marginal anóxica, la que posteriormente fue acrecionada a la margen Sudamericana. La segunda roca madre es la Fm. Dos Bocas cuya edad es Oligoceno tardío - Mioceno temprano. Adicionalmente, existen otras potenciales rocas madres que no se han podido caracterizar adecuadamente, debido a su escasa distribución en la superficie, estas rocas son de edad Eoceno y serían equivalentes a las lutitas de la Fm. Talara del Perú.

En general, mientras más antigua es una roca, mayor enterramiento habría experimentado. Por lo tanto, es común tener un incremento de la madurez termal conforme se alcanzan rocas más antiguas. Sin embargo, existen excepciones, unas asociadas con zonas que han experimentado cabalgamientos, colocando una mayor carga litostática sobre la potencial roca madre y otras asociadas a zonas de fallamiento cortical, lo que permite una mayor transferencia de calor.

La temperatura de enterramiento (T-burial) asociada a la generación de hidrocarburos, es la temperatura a la que fueron expuestos los sedimentos producto del soterramiento al que estos fueron sometidos. En general, la relación entre la reflectancia de la vitrinita y la temperatura

de generación cumple una función logarítmica, como la propuesta por Barker & Pawlewicz (1994).

## METODOLOGÍA

El análisis realizado se enfoca en las cuencas del Sur-Oeste ante-arco ecuatoriano, donde se tiene la mayor cantidad de información. No incluye información de la cuenca Zorritos, ni Talara en el lado peruano.

El trabajo siguió tres pasos: 1) Recopilar y validar la información; 2) Seleccionar los mejores datos para establecer la ecuación de correlación y 3) Buscar que la ecuación definida represente a todas las muestras, tanto de nuestro estudio, como también a muestras provenientes de otras cuencas sedimentarias.

## Set de Datos

El trabajo se basa en la recopilación de datos de Tmax y reflectancia de la vitrinita de las cuencas de Sur-Oeste del Ecuador generados durante varias campañas exploratorias entre los años de 1975 y 2008. La información se encuentra en la base de datos de geoquímica orgánica de la Gerencia de Exploración de PETROAMAZOMAS EP.

En general, para la medición de Tmax se utiliza un analizador Rock-Eval (e.g. Rock-Eval 6), mientras que para determinar la reflectancia de la vitrinita se utiliza un Fotómetro-Microscopio (e.g. FM Compacto-MPV).

La pirolisis es una técnica de laboratorio, donde se simula el proceso natural de maduración de la materia orgánica. El analizador de pirolisis Rock-Eval, registra los gases generados desde la roca madre durante un proceso de calentamiento programado en ausencia de oxígeno. Esta técnica fue desarrollada por el Instituto Francés del Petróleo (IFP, por sus siglas en Francés) a finales de los años 70s, desde aquella época hasta la actualidad se ha convertido en un standard en la caracterización de la roca madre (Espitalié et al., 1977; McCarthy et al., 2001). Los principales parámetros geoquímicos que se mide son el S1, S2, S3, Tmax; dentro de estos cuatro parámetros, es de interés para este trabajo el S2 y la Tmax.

El S2 es la cantidad de hidrocarburo pirolizable [mg HC / g de roca] presente en la roca y es un

indicador del potencial actual de generación. La Tmax [°C] corresponde a la temperatura del horno en el momento de la generación máxima durante el análisis S2. El Tmax es un valor relativo del nivel de madurez termal, no representa la temperatura de enterramiento actual de la roca.

La reflectancia de la vitrinita (%Ro) es la medida del porcentaje de luz incidente reflejada desde la superficie de la vitrinita. La limitación de esta técnica se da por la ausencia de kerógeno recuperable en una muestra, lo que la convierte en estéril para este tipo de análisis. La cantidad de luz reflejada por los macerales de la vitrinita determina la madurez termal de la roca (McCarthy et al., 2001). A partir de un análisis estadístico, se determina la reflectancia de la vitrinita, el histograma de frecuencia absoluta determina la calidad del análisis, así una muestra con distribución uni-modal tendrá mejor calidad de datos, mientras que una muestra bi-modal requiere una interpretación adicional para determinar cuál es la población "indígena" de la muestra, dejando de lado a la población contaminante, las que están asociadas a reelaborado (re-worked) o a derrumbes (caving) generados durante la perforación de los pozos (aplica a ripios de perforación). En histogramas con amplia dispersión, se tiene mayor grado de complejidad en la interpretación de los datos y por lo tanto mayor incertidumbre al reportar un valor representativo de Ro; por lo tanto, el histograma debe ser interpretados en un contexto regional para validar su valor.

Tabla 1. Disponibilidad de datos. Todas las muestras sin filtrar, con Ro y/o Tmax

| Muestras      | Ro  | Tmax |
|---------------|-----|------|
| Pozos         | 361 | 452  |
| Afloramientos | 39  | 33   |
| TOTAL         | 400 | 485  |

La base de datos fue recolectada de informes inéditos realizados por CEPE, PETROPRODUCCION, PETROECUADOR EP y PETROAMAZONAS EP; así como también de reportes elaborados por diversas operadoras que trabajaron en esta región durante los años 70s y 80s (e.g. ADA, BELCO) y que ahora forman parte del archivo técnico de PETROAMAZONAS EP. La base de datos primaria agrupa 400 muestras con datos de reflectancia de vitrinita y 485 muestras de Tmax (Tabla 1).

Tabla 2. Disponibilidad de datos. Muestras con Ro y Tmax.

| Muestras      | Ro y Tmax (pares) |
|---------------|-------------------|
| Pozos         | 241               |
| Afloramientos | 33                |
| TOTAL         | 274               |

Para el caso de los pozos, las muestras fueron emparejadas buscando que los intervalos analizados ya sea por reflectancia de la vitrinita o por pirólisis, sean los mismos. Los datos emparejados de pozos y muestras de afloramiento (Tabla 2), fueron ploteados en un diagrama bidimensional (Fig. 2) para visualizar si existe relación lineal directa entre ellos, tal como ha sido identificado en otras regiones del mundo y cuyas ecuaciones han sido recopiladas por Jarvie (2018).

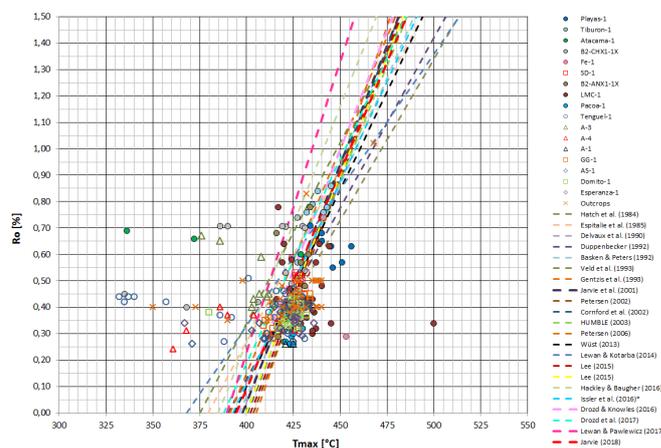


Figura. 2 Set de datos de las cuencas de ante-arco del SW del Ecuador en relación con las diferentes ecuaciones propuestas por otros autores y recopiladas por Jarvie (2018).

Issler et al. (2016) considera que la relación entre Ro y Tmax es de tipo exponencial, contradiciendo a la mayoría de las observaciones. Sin embargo, los datos de Issler et al. (2016) fueron re-ploteados y se re-calculó una ecuación lineal, la que fue incorporada en el set de curvas mostradas en la Fig. 2.

Los dos últimos estudios sobre el tema corresponden a Lewan & Pawlewicz (2017) y a Jarvie (2018); ambos trabajos son discutidos a continuación.

Respecto a la propuesta de Lewan & Pawlewicz (2017), vemos que no representa a nuestros datos (Fig. 2), ya que se encuentra desplazada hacia la izquierda. Adicionalmente, su coeficiente de determinación (R2 = 0.46) indica una alta dispersión de los datos y por lo tanto alta incertidumbre (Fig. 3).

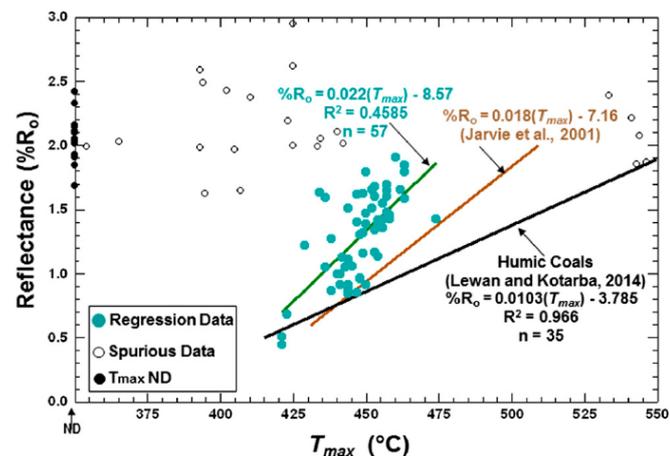
## Relación entre Tmax – Ro: Aproximación usando datos locales

Para poder encontrar una ecuación que relacione el Ro y la Tmax de nuestras muestras, se debió en primera instancia depurar la base de datos, pasando de 274 a 239 muestras. Las muestras eliminadas fueron aquellas que caen fuera de la tendencia regional (Spurious Data). Este es un método de discretización rápida y debe ser utilizado cuando existe gran cantidad de muestras (Fig. 2); aunque siempre es recomendable trabajar en conjunto con la petrografía del kerógeno y con los otros parámetros calculados en la pirolisis Rock-Eval (e.g. S1, S3, HI, OI), para tratar de entender de mejor manera cuál sería la causa de su desviación en relación a la tendencia de la misma cuenca y de la tendencia mundial.

**Tabla 3. Disponibilidad de datos. Muestras con Ro y Tmax dentro de la tendencia mundial.**

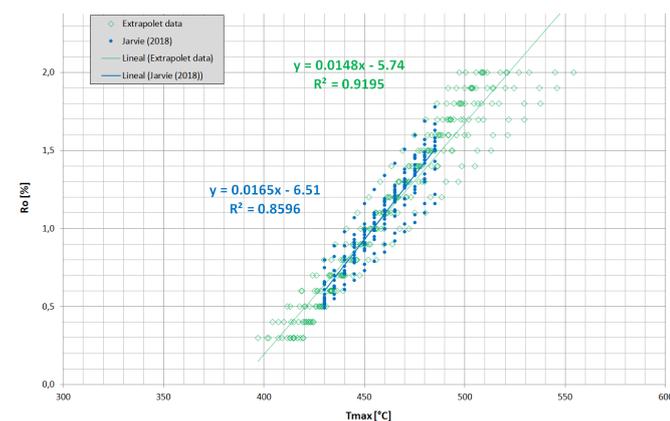
| Muestras      | Ro y Tmax (pares validados) |
|---------------|-----------------------------|
| Pozos         | 210                         |
| Afloramientos | 29                          |
| TOTAL         | 239                         |

La alta concentración de muestras con baja madurez termal, la falta de control de las muestras de moderada madurez y la ausencia de muestras con alta madurez termal, ocasionó a que la ecuación lineal obtenida por regresión lineal no sea correcta (Fig. 5).



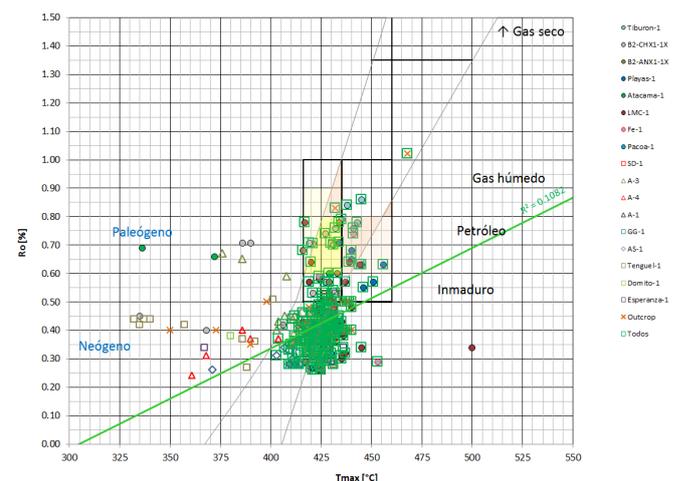
**Figura 3** Ploteo de temperatura en la máxima tasa de petróleo generado (Tmax) versus reflectancia medida de datos del USGS de las Lutitas Barnett (Lewan & Pawlewicz, 2017).

Por otro lado, Jarvie (2018) realiza una compilación de dieciséis ecuaciones, propuestas entre 1984 hasta 2017 (Fig. 2). Asigna valores de Tmax entre 430 y 485 °C en pasos de 5 °C; y calcula una RoE utilizando cada una de las ecuaciones; así obtuvo una matriz con 192 pares de datos, los cuales fueron ploteados y calculados la correspondiente regresión lineal. Esta técnica no es la apropiada ya que depende del rango establecido (Fig. 4). Es decir, que si ampliamos el rango observado entre 400 y 550 °C de Tmax y entre 0.3 y 2.0 %Ro, se obtiene una nueva ecuación. A pesar de que la ecuación cubre a nuestro set de datos, no se la debe utilizar, pues carece de validez matemática.



**Figura 4** Muestras con pares de datos de acuerdo a Jarvie (2018) en color azul. Muestras ampliadas su rango en color verde. Se evidencia que el rango de observación determina la ecuación de correlación, por lo que esta técnica sintética no resulta adecuada.

En el caso que un set de datos analizado no cuente con las condiciones adecuadas para calcular su propia ecuación de correlación, se debe seleccionar a la mejor ecuación de la bibliografía. En nuestro caso, funcionaría la ecuación propuesta por Gentzis et al. (1993).



**Figura 5** Set de datos filtrados (serie en color verde), se han eliminado los valores anómalos, especialmente de Tmax. La alta dispersión de los datos no permite obtener una regresión lineal adecuada.

En este trabajo no se considera caracterizar a la roca madre desde el punto de vista de la riqueza de la materia orgánica o tipo de kerógeno. Aunque las muestras seleccionadas para realizar la pirolisis Rock-Eval son aquellas que poseen más de 0.5% de carbono orgánico total

(TOC, por sus siglas en Inglés), es decir disponen de la cantidad de materia orgánica favorable para efectuar la pirolisis.

A la falta de obtener una buena correlación entre Tmax y Ro por regresión directa aplicada a todas las muestras, se procedió a buscar una solución alternativa. Para los cual, se seleccionaron los datos más fiables, analizando cada una de las muestras de afloramiento, así como también cada uno de los pozos. De todo el universo de muestras, se seleccionaron los pozos Tiburon-0001 y B2-ANX1-1X (Fig. 6), a los cuales se aplicó una regresión lineal y se obtuvo una ecuación, la que resulto tener una buena correlación. La ecuación propuesta se encuentra dentro de las observaciones propuestas en trabajos anteriores (Figs. 2 y 5).

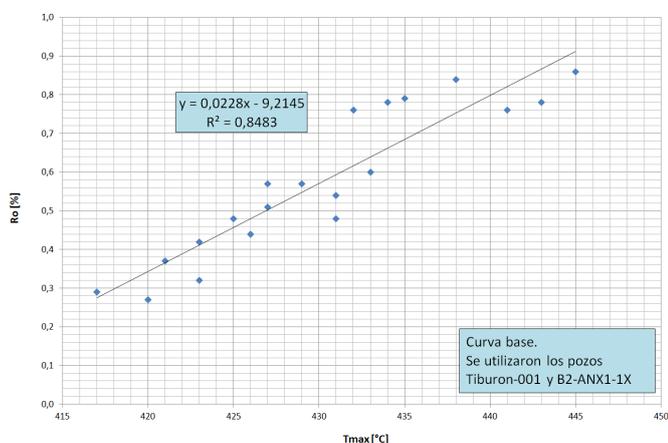


Figura. 6 Correlación realizada entre Ro y Tmax para dos pozos con excelentes medidas. Localización de los pozos en la Figura 1.

La ecuación obtenida (Ec. 1) servirá para calcular la reflectancia de la vitrinita equivalente (RoE), en el caso de disponer únicamente datos de Tmax.

$$Ro = (0.0228 * Tmax) - 9.21 \quad \text{Ec. (1)}$$

Validación gráfica de la ecuación propuesta

La ecuación propuesta (Ec.1) fue comparada (QC visual) con el resto de muestras del Sur-Oeste ecuatoriano; así también con muestras de otras cuencas de ante-país de Ecuador, Colombia (Hernández, 1998) y Perú (Calderón et al., 2018). También se la comparó con la cuenca de Sandino (Struss et al., 2008) en Nicaragua, por presentar similares condiciones geológicas. Finalmente, se montaron los datos de la cuenca de Maracaibo (Mongenot et al., 1996) por disponer de datos de alta madurez. En todos los casos, la Ecuación (1), los repre-

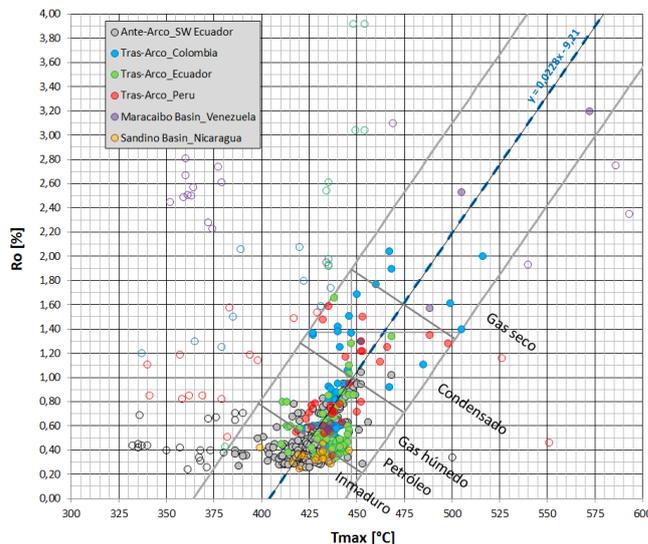


Figura. 7 Validación de la ecuación propuesta. Se incorporaron datos de las cuencas de ante-país de Colombia, Ecuador y Perú; así como de las cuencas de Sandino en Nicaragua y Maracaibo en Venezuela. Adicionalmente se incorporó una banda de tolerancia ( $T_{max} \pm 1\sigma$ ), los datos que caen fuera de dicha banda no deberían ser utilizados en la caracterización termal de la roca madre (marcadores sin relleno).

Por último y una vez determinada una ecuación de correlación representativa, se procedió a establecer una banda de confianza, la cual fue construida al adicionar y restar una desviación estándar ( $\pm 1\sigma$ ) del Tmax (Fig. 7). Las muestras que caen por fuera de esta banda, son consideradas como erróneas y por lo tanto no aptas para la caracterización termal de la muestra y por consiguiente no deben ser tomadas en cuenta para la interpretación a nivel de unidad geológica y cuenca.

Existe una considerable cantidad de muestras que presentan altos valores de reflectancia de vitrinita, pero bajos valores Tmax; estas muestras son consideradas como erróneas (Fig. 7). Se requiere un análisis petrográfico detallado de la materia orgánica presente en las muestras para determinar la causa de su desviación.

## DISCUSIÓN

En la figura 8 se muestra las diferencias entre la Tmax medida por pirolisis (Rock-Eval\_Temp) y la Tmax calculada a partir de la reflectancia de la vitrinita (Model\_Temp) usando la Ecuación (1), el valor planteado corresponde al valor promedio de todas las muestras que disponen de Tmax y Ro, para cada edad geológica (ver Tabla 3). Existe una marcada diferencia entre las paleo-temperaturas del Cretácico tardío - Paleoceno (e.g. Fm. Calentura; Fm. Azúcar),

respecto al Eoceno-Reciente. Estas diferencias también fueron delineadas en el mapa del gradiente geotermal realizado por Barba (2017), aunque en sentido contrario, ya que la Fm. Azúcar en el levantamiento de Santa Elena muestra un gradiente geotermal extremadamente bajo. La Fm. Azúcar no ha sido reconocida en otras partes del litoral ecuatoriano. La alta madurez termal de la Fm. Azúcar puede estar relacionada con el proceso de acreción ocurrido hace ~50 Ma.

la Vitritina (VRE-SB) de 0.61 %, de acuerdo a French et al. (2020). Este valor de reflectancia de la Vitritina es concordante con la Tmax obtenida de los ensayos de pirólisis Rock-Eval (Fig. 8).

Las temperaturas de enterramiento máximo (T-burial) fueron calculadas utilizando la Ecuación (2); siguiendo la aproximación de Barker & Pawlewicz (1994).

$$T\text{-burial} = [\ln(Ro) + 1.68] / 0.0124 \quad \text{Ec. (2)}$$

En un perfil geoquímico se colocan las T-burial calculadas (Fig. 9) a partir de la reflectancia de la Vitritina, así se puede determinar el paleo-gradiente de una cuenca sedimentaria. En el caso de no disponer de datos de Ro, se debe utilizar la VRE derivada a partir de la Tmax (VRE-Tmax).

El gradiente geotermal actual y el paleo-gradiente son dos de los insumos necesarios para delinear la ubicación de las cocinas de hidrocarburos. Los otros dos insumos corresponden a la caracterización de la roca madre (tipo de Kerógeno, Potencial generador, etc.) y los mapas estructurales (Tope y Base o al menos un mapa de un marcador cercano). No toda roca madre llega a ser efectiva, ya que puede tener la suficiente materia orgánica, pero no haber alcanzado la temperatura de generación; o pudo haber entrado en ventana de generación, pero ser una roca pobre en calidad o cantidad de materia orgánica. Con toda esta información, se puede dar el siguiente paso en la modelización de los procesos de generación y expulsión del sistema petrolífero.

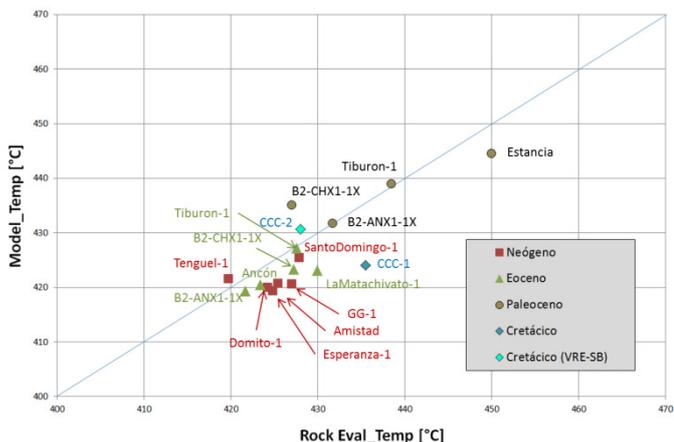


Figura. 8 Correlación entre los datos modelados y las medidas reales de Tmax. Se han planteado los valores promedio de las unidades geológicas presentes en el área. Fm. Calentura: CCC-1 = utilizando Ro; CCC-2 = utilizando VRE-SB.

Las unidades del Eoceno (e.g. pozos Tiburon-1, B2-CHX1-1X, La Matachivato-1, B2-ANX1-1X, afloramientos de Ancón) y del Neógeno (e.g. pozos Golfo de Guyaquil-1, Amistad-1, Amistad-4, Esperanza-1, Domito-1, Tengué-1) se encuentran en una etapa inmadura de generación de hidrocarburos (Fig. 8), este comportamiento es similar al observado en la cuenca Sandino, costa afuera al Oeste de Nicaragua (Struss et al., 2008).

La Fm. Calentura tiene un promedio de Tmax de 436 °C (mín = 427 °C; máx = 440 °C), lo que indica que habría entrado en ventana de generación temprana de petróleo. Por otro lado, la reflectancia de la vitritina reportada tiene un promedio de 0.46 % (mín = 0.40 %; máx = 0.50 %), según este parámetro, esta roca madre no habría entrado en ventana de generación. La materia orgánica que se encuentra presente en las rocas de la Fm. Calentura es de tipo algácea (Kerógeno sapropélico), con ausencia de vitritina; por lo tanto los valores reportados como Ro no son correctos. En una muestra de la Fm. Calentura se obtuvo una reflectancia del bitumen sólido (RSB, por sus siglas en Inglés) de 0.35 %, que equivale a una reflectancia de

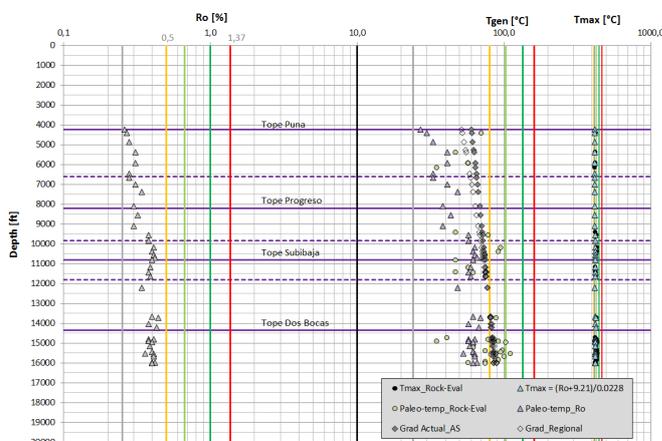


Figura. 9 Perfil geoquímico del pozo Amistad Sur-0001. Se evidencia que la Fm. Para comparación se ha añadido el gradiente geotermal actual del pozo y el gradiente actual promedio de la región, de acuerdo a las estimaciones realizadas por Barba (2017).

## CONCLUSIONES

Antes de proceder con la caracterización termal de una roca madre, se debe realizar una validación de los datos utilizando patrones mundiales, los datos que no sigan una tendencia conocida, son considerados como anómalos; si no existe una explicación de su desviación, deben ser considerados como erróneos.

Para calcular la ecuación de correlación se deben utilizar únicamente los mejores datos, caso contrario se puede inducir un error. En el presente trabajo se utilizaron los datos de  $T_{max}$  y  $R_o$  de los pozos Tiburon-0001 y B2-ANX1-1X, los cuales son considerados como los más idóneos para el área de estudio.

La curva propuesta logra representar a otros pares de datos, tanto de la misma región como de otras regiones (e.g. cuencas de Colombia, Ecuador, Perú, Nicaragua y Venezuela).

La ecuación de correlación permite complementar el set de datos inicial. El modelo predictivo propuesto ayuda en la caracterización termal de las muestras que sólo cuenten con  $T_{max}$  ó  $R_o$ .

Para la interpretación se deben utilizar los datos que caen en la zona validada por la ecuación propuesta, cuyos límites corresponden a  $T_{max} \pm 1\sigma$ . Esta metodología constituye una forma rápida de realizar una discretización de grandes cantidades de datos (data screening).

Para una correcta interpretación de los datos, se debe considerar la petrografía del kerógeno; como es el caso de la Fm. Calentura. En este ejemplo, la ausencia de vitrinita provoca que los valores de  $R_o$  sean incorrectos; debiéndose recurrir a otras técnicas, como por ejemplo la reflectancia del bitumen sólido, para posteriormente calcular su correspondiente reflectancia de la vitrinita equivalente (VRE-SB).

La caracterización termal del Sur-Oeste del Ecuador, da cuenta de la existencia de dos zonas que habrían alcanzado la suficiente madurez termal para generar hidrocarburos. La primera está asociada con las rocas del Cretácico tardío presentes en la Cordillera de

Chongón-Colonche y a rocas del Paleoceno del Levantamiento de Santa Elena. La segunda está relacionada con rocas del Neógeno y que se encuentran afectadas por el sistema de fallas Puná-Santa Clara. La madurez termal observada en estas zonas ha sido vinculada con procesos tectónicos, ya sea por la acreción de terrenos (Sistema Cretácico tardío – Paleoceno) y al escape del bloque Nor-Andino (Sistema Neógeno). La escasa distribución areal de las cocinas conlleva a un limitado potencial generador de las rocas madres involucradas.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la gerencia nacional de operaciones de PETROAMAZONAS EP quien ha permitido la publicación de los resultados generados durante la actualización de los diferentes modelos geológicos efectuada por la gerencia de exploración. Con este trabajo otorgamos un reconocimiento a los ex-colegas del Centro de Investigaciones Geológicas de Guayaquil (CIGG, ex-LABOGEO), quienes durante varias décadas ayudaron con los análisis geoquímicos y petrográficos de las diferentes campañas exploratorias efectuadas por CEPE, PETROPRODUCCION, PETROECUADOR EP y PETROAMAZONAS EP. Este trabajo formó parte del curso de Metodología para la Elaboración y Presentación de Artículos Técnicos dictado por FIGEMPA-IGAPO-PAM EP.

## REFERENCIAS

- Barba, D. (2017). Gradiente Geotermal de las Cuencas de Ante-arco del Ecuador. Resúmenes extendidos de las VIII Jornadas en Ciencias de la Tierra, EPN, 5 p.
- Barker, C., Pawlewicz M. (1994). Calculation of Vitrinite Reflectance from Thermal Histories and Peak Temperatures - A Comparison of Methods, in: Mukhopadhyay, P., Dow, W. (Eds.), Vitrinite Reflectance as a Maturity Parameter. American Chemical Society, 216–229.
- Calderón, Y., Baby, P., Vela, Y., Hurtado, C., Eude, A., Roddaz, M., Brusset, S., Calvès, G., and Bolaños, R. (2017). Petroleum Sys-

tems Restoration of the Huallaga–Marañon Andean Retroforeland Basin, Peru, in Mahdi A. AbuAli, Isabelle Moretti, and Hege M. Nordgård Bolås, eds., *Petroleum Systems Analysis—Case Studies: AAPG Memoir* 114, p. 95–116.

Espitalié, J., Laporte, L., Madec, M., Marquis, F., Leplate, P., Pault, J., Boutefeu, A. (1977). Methode rapid de caracterisation des rock meres, de leur potential petrolier et leur degre devolution. *Rev. Inst. Fr. Petrol.*, 32, 23-42.

Grobe, A., Urai J., Littke, R., Lünsdorf, N. (2016). Hydrocarbon generation and migration under a large overthrust: The carbonate platform under the Semail Ophiolite, Jebel Akhdar, Oman. *International Journal of Coal Geology*, Volume 168, Part 1, 3-19.

French, K., Birdwell, J., Lewan, M. (2020). Trends in thermal maturity indicators for the organic sulfur-rich Eagle Ford Shale. *Marine and Petroleum Geology*, <http://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2020.104459>.

Gentzis, T., Goodarzi, F., Snowdon, L. (1993). Variation of maturity indicators (optical and Rock-Eval) with respect to organic matter type and matrix lithology: an example from Melville Island, Canadian Arctic Archipelago, *Marine and Petroleum Geology*, v. 10, p. 507-513.

Hernández, V. (1998). Evaluación Potencial Generador Cordillera Oriental. <http://recordcenter.sgc.gov.co/B3/12005000520702/documento/pdf/0101207021101000.pdf>.

Issler, D. Jiang, C., Reyes, J., Obermajer, M. (2016). Integrated analysis of vitrinite reflectance, Rock-Eval 6, gas chromatography, and gas chromatography-mass spectrometry data for the Reindeer D-27 and Tununuk K-10 wells, Beaufort-Mackenzie Basin, northern Canada. *Geological Survey of Canada*, Open File 8047, 94 p.

Jarvie, D., Claxton, B., Henk, F., Breyer, J. (2001). Oil and shale gas from the Barnett Shale, Fort Worth Basin, Texas (abs.): AAPG Annual Convention, Denver, Colora-

do, June 3–6, 2001, accessed March 28, 2017.

Jarvie, D. (2018). Correlation of Tmax and Measured Vitrinite Reflectance, TCU Energy Institute Notes, 13 p.

Lewan, M. & Pawlewicz, M. (2017). Reevaluation of thermal maturity and stages of petroleum formation of the Mississippian Barnett Shale, Fort Worth Basin, Texas. *AAPG Bulletin*, v. 101, No. 12, 1945-1970.

McCarthy, K., Rojas, K., Niemann, M., Palmowski, D., Peters, K., Stankiewicz, A. (2011). Basic Petroleum Geochemistry for Source Rock Evaluation. *Oilfield Review Summer*, Schlumberger 23, No. 2, 12 p.

Mongenot, T., Tribovillard, N.-P., Desprairies, A., Lallier, E., Laggoun, F. (1996). Trace elements as palaeoenvironmental markers in strongly mature hydrocarbon source rocks: the Cretaceous La Luna Formation of Venezuela. *Sedimentary Geology*, 103, 23-37.

Struss, I., Artiles, V., Cramer, B., Winsemann, J. (2008). The Petroleum System in the Sandino Forearc Basin, Offshore Western Nicaragua. *Journal of Petroleum Geology*, v. 31(3), 221-244.

# CORDILLERA REAL: VARIACIÓN DE METAMORFISMO EN EL TRAYECTO ATILLO-NORMANDIA

## CORDILLERA REAL: METAMORPHISM VARIATION ALONG THE ATILLO-NORMANDY ROUTE

**Erazo Fierro, Gabriel Alejandro.**

Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental. Ecuador  
gaerazo@uce.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0003-2118-039X>

**Aldás Núñez, Roberth Joel.**

Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental. Ecuador  
rjaldas@uce.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0002-0017-7549>

### RESUMEN

La zona de estudio Atillo – Normandía pertenece a la vía Guamate - Macas, ubicada en la Cordillera Real, presenta una alta susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, debido a la inestabilidad del terreno e intensas precipitaciones de la zona. El basamento de la Cordillera Real corresponde a rocas metamórficas y plutónicas, que han sido afectadas por eventos tectono-metamórficos durante el Mesozoico, provocando variaciones locales en el grado metamórfico de secuencias litológicas de la región. Varios autores han determinado que el mayor grado metamórfico se ubica en el centro de la Cordillera y disminuye hacia los flancos. Al determinar la litología del trayecto Atillo – Normandía, definiendo la paragénesis, el mineral tipomorfo se estableció que, existen tres facies metamórficas: prehnita-pumpellyita, esquistos verde y epidota anfíbol. La última facie está plasmada en una roca verde con granates que, al tener el mayor grado metamórfico, marca el eje central de la variación del metamorfismo. Misma que no ha sido descrita en estudios anteriores de Cordillera Real, por lo tanto, mediante análisis DRX se determinó, que esta roca tiene un protolito basáltico, además sufrió un proceso de uralitización que es un proceso característico de retrometamorfismo.

**Palabras clave:** cordillera real; roca verde; facies metamórficas; uralitización.

### ABSTRACT

*The Atillo – Normandy study area belongs to the Guamate - Macas highway, located in the Cordillera Real, it has a high susceptibility to mass removal phenomena due to the instability of the terrain and intense rainfall in this area. The basement of the Cordillera Real corresponds to metamorphic and plutonic rocks, which have been affected by tectono-metamorphic events during the Mesozoic, causing local variations in the metamorphic grade of lithological sequences of the region. Several authors have established the highest metamorphic grade is in the center of the Cordillera and decreases towards the flanks. When determining lithology of the Atillo – Normandy route, defining: paragenesis and the tipomorphic mineral, three metamorphic facies was established: prehnite-pumpellyite, green schist and amphibole epidote. The last one it's reflected in a greenstone with garnets, this rock has the highest metamorphic grade, therefore, marks the central axis of the variation of metamorphism. This rock has not been described in previous studies of Cordillera Real, through DRX analysis it was determined, that this rock has a basaltic protolith, furthermore, suffered a process of uralitization that is a characteristic process of retrometamorphism.*

**Keywords:** cordillera real; greenston; metamorphic facies; uralitization.

## INTRODUCCIÓN

La Cordillera Real es una cadena montañosa con rumbo andino que se extiende por 650 Km, con una altura entre 3200-5800 m.s.n.m. Tiene un basamento conformado por rocas metamórficas y plutónicas, afectadas por eventos tectono-metamórficos durante el Mesozoico, los cuales han provocado variaciones en el grado metamórfico (Aspden, et al., 1992).

De acuerdo con el mapa geológico del Ecuador 2017 escala 1:1'000.000, la zona de estudio atraviesa las unidades metamórficas: Unidad Maguazo, conformadas por meta-grauvacas y metalavas; la Unidad Alao-Paute, compuesta por metalavas básicas y esquistos verdes; La unidad Agoyán conformada por esquistos y paragneis; La Unidad Chigüinda formada por filitas y cuarcitas; y la Unidad Upano formada por metagrauvas y metalavas. (INIGEMM, 2017)

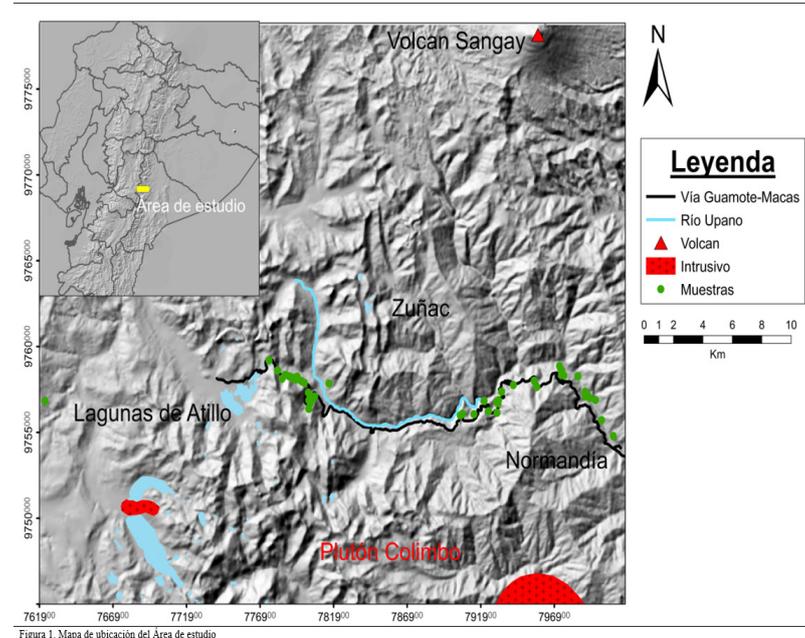


Figura. 1 Trayecto Atillo-Normandía

La Cordillera Real está dividida en cinco unidades litológicas delimitadas por estructuras tectónicas, que de oeste a este son: las Divisiones Guamote, Alao, Loja, Salado y Zamora con sus respectivas suturas, las Fallas: Pelte-tec, Baños, Llanganates y Cosanga-Mendez. (Pratt, et al., 2005). Litherland, et al, (1994) sostiene que el grado metamórfico asciende desde la División Guamote hasta llegar a su grado más alto en la División Loja, continuando hacia el este, hasta la División Zamora, el grado metamórfico desciende.

Según Litherland, et al, (1994) en el trayecto Atillo-Macas la Unidad Alao-Paute forma una franja de aproximadamente 15 Km de ancho que está en contacto con la Unidad Maguazo, esta Unidad en la zona de Atillo se conforma por: filitas negras ferruginosas, ortocuarcitas y cherts. La presencia de hornblenditas y gabros hornblendíticos, en el Río Villacruz, sugiere la existencia de un complejo máfico, ubicado al sur del Río Upano, a lo largo de la vía Atillo Macas; además, en esta zona se encuentran rocas de bajo grado metamórfico de la Unidad Upano.

El trayecto Atillo-Normandía se encuentra ubicado en el flanco Oriental de la Cordillera Real y pertenece a la vía Guamote-Macas. El cual es paralelo al cauce del río Upano y está cerca de intrusiones granodioríticas, el intrusivo de Magtayán hacia el suroeste y el Plutón de Colimbo al sureste. (Litherland, et al., 1994) Figura 1.

Francisco Viteri (2018) en entrevista personal sostiene que en el Río Upano dentro de la zona de estudio se reportaron clastos de una roca verde con granates, sin embargo, no se ha registrado algún afloramiento con este tipo de roca a lo largo de la vía

Atillo-Normandía.

Debido a su difícil acceso y susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, el trayecto no ha sido analizado geológicamente, por ende el objetivo de este estudio es encontrar el afloramiento de rocas verdes con granates, brindar un análisis petrográfico y constatar la tendencia del grado metamórfico de la Cordillera Real, para esto es necesario tomar muestras en campo y realizar un análisis petrográfico.

## METODOLOGÍA

En el trayecto Atillo - Normandía se realizó varias campañas de campo, durante los meses de diciembre de 2018 y enero de 2019, donde se recolectó 46 muestras de roca. Los afloramientos están cubiertos por depósitos coluviales lo que limitó la cantidad de muestras recolectadas.

Se realizó el estudio petrográfico de las rocas, sin embargo, algunas muestras, por su dificultad de análisis macroscópico fueron

sometidas a estudios microscópicos y de Difracción de Rayos X (DRX) con el difractor D8 ADVANCE PLUS de la Escuela Politécnica Nacional, para describir la petrografía de la zona.

Con los análisis petrográficos se determinó mineralogía, mineral tipomorfo y se asignó facies metamórficas, con la ayuda de tablas de paragénesis diagnósticas para rocas metamórficas (Best, 2003)(Bucher & Grapes, 2011).

Además con los resultados se comparó la variación del grado metamórfico establecido por (Aspden, et al., 1992) (Litherland, et al., 1994) (Pratt, et al., 2005) para Cordillera Real.

## RESULTADOS

### *El metamorfismo de la Cordillera Real trayecto Atillo- Normandía*

Las muestras fueron divididas en cuatro grupos según su protolito, así se puede determinar fácilmente el mineral tipomorfo, estos grupos presentan 3 facies metamórficas que, en orden ascendente respecto al grado metamórfico son: Prehnita-Pumpellyita, Esquisto Verde y Epidota-Anfibol. A pesar de tener una misma facie metamórfica, las paragénesis no son iguales, esto causa una irregularidad en el mineral tipomorfo.

### Petrografía

#### Metapelitas

##### *Chert*

Características: Color blanquecino, estructura masiva, micro-granular, cohesiva.

##### *Meta-pelita*

Características: Color oscura, estructura masiva, fino granular, poco grafitoso, con facie Prehnita-Pumpellyita y su mineral tipomorfo es el grafito.

#### Rocas verdes y metavolcánicas

##### *Esquistos cloríticos*

Características: Color verde oscuro, estructura esquistosa, fino granular, presencia de clorita y biotita, con facie Esquistos verdes y su mineral tipomorfo es la biotita.

##### *Esquistos grafitosos*

Características: Color negro, estructura esquistosa, fino granular, vetillas de cuarzo y calcita, con facie Prehnita-Pumpellyita y su mineral tipomorfo es el grafito.

##### *Esquistos cuarzo-sericítico*

Características: Color grisáceo, estructura bandeada, fino granular, presencia de carbonato y sulfuros, especialmente pirita, con facie Prehnita-Pumpellyita y su mineral tipomorfo es sericita.

##### *Meta-volcánicos*

Características: Color verde oliva, estructura esquistosa, fino granular, presencia de carbonato y sulfuros, con facie Prehnita-Pumpellyita y su mineral tipomorfo es clorita.

#### Metasedimentos y rocas verdes

##### *Cuarcita*

Características: Color gris claro, presenta lineamientos, es granular, con facie Prehnita – pumpellita y su mineral tipomorfo es moscovita.

##### *Rocas verdes con granate*

Características: Color verde oscuro, sin estructura ni textura, con porfiroblasto euhedral fracturados de granate color marrón rojizo y reemplazados parcialmente por clorita, además existen trazas de calcita, la facie metamórfica es epidota anfibol y su mineral tipomorfo es granate. Figura 2.

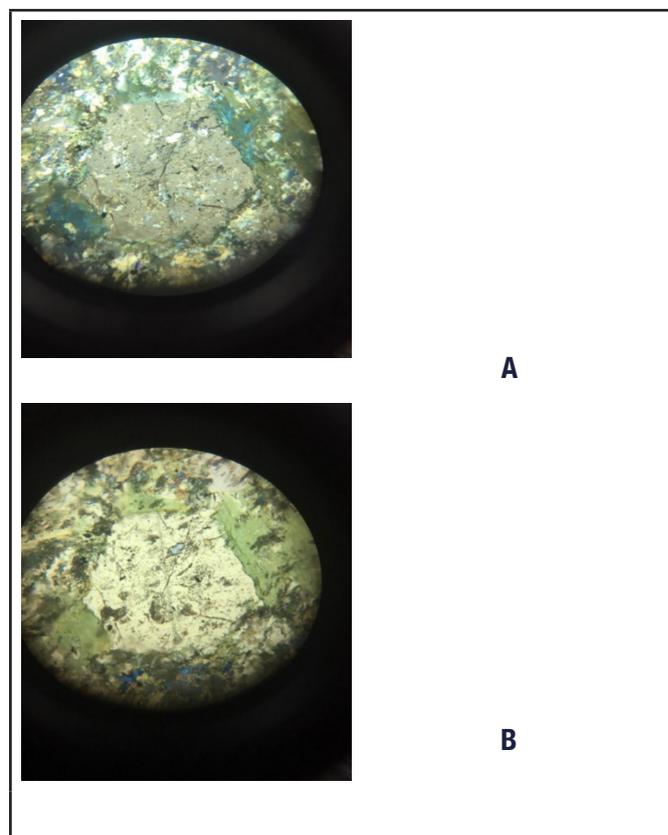


Figura 2. Lámina delgada PM-M4B. A) Fotografía luz polarizada. B) Fotografía en luz natural. Se observa granate fracturado, clorita que está rodeando y reemplazando al granate.

### Esquisto sericítico

**Características:** Color negro, estructura esquistosa, fino granular, con facie Prehnita-Pumpellyita y su mineral tipomorfo es sericita.

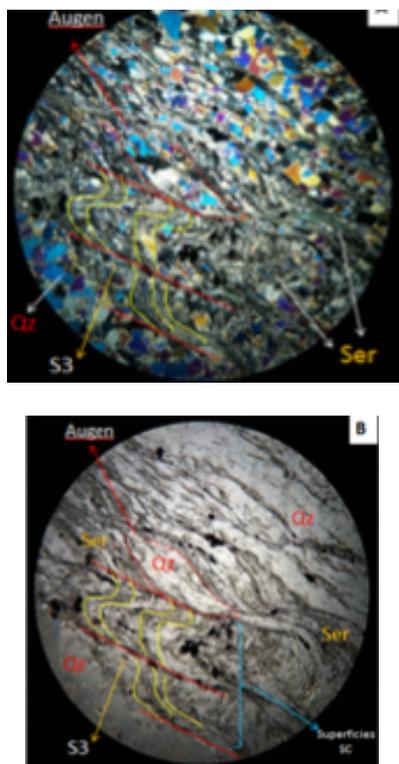
### Meta-sedimentos afectadas por intrusión

#### Cuarcitas

**Características:** Color amarillento, estructura no bandeada, granular, presencia de hidróxidos y sulfuros, especialmente limolita y piritita respectivamente, con facie Prehnita-Pumpellyita y su mineral tipomorfo es sericita.

#### Esquistos sericítico

**Características:** Color grisáceo, estructura esquistosa y microestructuras S-C. Figura 3, fino granular, presenta trazas de carbonato y sulfuros, auges de cuarzo, con facie Prehnita-Pumpellyita y su mineral tipomorfo es sericita.



**Figura 3.** Lámina delgada P15-D2-M1. A) Fotografía luz polarizada. B) Fotografía en luz natural. Se observa estructuras S-C, disminución de tamaño de grano, Augens de cuarzo lo cual es un indicador de tectonismo

**Tabla 1. Resultados del análisis DRX**

| Mineral            | Fórmula                                                                                                       | (%) |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Grupo plagioclasas | (Na, Ca) Al (Si, Al) Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>                                                           | 44  |
| Magnesihornblenda  | (Ca, Na) <sub>2-26</sub> (Mg, Fe, Al) <sub>5,15</sub> (Si, Al) <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub> | 14  |
| Tremolita          | Ca <sub>2</sub> Mg <sub>5</sub> (OH, F) <sub>2</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub>                          | 10  |
| Clinocloro         | (Mg, Fe) <sub>5</sub> (Si, Al)4O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>                                              | 6   |
| Moscovita          | KAl <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ) (OH) <sub>2</sub>                                       | 6   |
| Cuarzo             | SiO <sub>2</sub>                                                                                              | 5   |

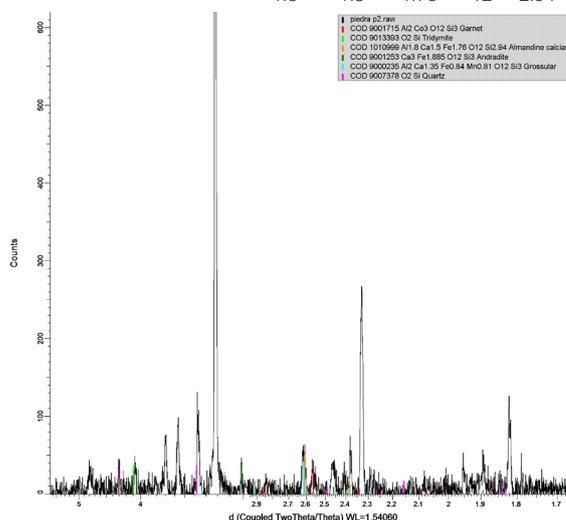
|           |                                                                                                             |   |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| Coesita   | SiO <sub>2</sub>                                                                                            | 5 |
| Chamosita | (Fe <sup>2+</sup> , Mg, Fe <sup>3+</sup> ) <sub>6</sub> AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub> | 4 |
| Diópsido  | CaMgSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>                                                                          | 3 |
| Granate   | (Ca,Fe,Mn) <sub>3</sub> (Al,Fe,Mn) <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>                            | 3 |

Fuente: Escuela Politécnica Nacional (2019)

### Muestra PM-M4B

La muestra PM-M4B fue sometida a análisis de DRX, debido a la presencia de granates y fue analizada en los laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional, donde se utilizó el difractómetro D8 ADVANCE y el programa Diffrac plus (EVA Y TOPAS) para la cualificación y semi-cuantificación, los resultados se observan en la Tabla 1, además, la muestra también fue analizada en los laboratorios de Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC) y sus resultados se muestran en la Fig. 4.

El análisis realizado en INPC fue ejecutado especialmente sobre las zonas dónde se concentraban los granates, los cuales son:



**Figura 4.** Difractograma de la muestra PM-4B

### Grado metamórfico

El grupo de las metapelitas, ubicadas en la parte más Occidental del trayecto tiene la facie prehnita-pumpellyita, siguiendo hacia el este el grupo de las rocas verdes y metavolcánicas son dominadas por dos facies prehnita-pumpellyita y esquisto verde, con la aparición de clorita como mineral tipomorfo. El grupo de metasedimentos y rocas verdes está dominado por la

Tabla 2. Tabla de datos resumen para las 46 muestras del tramo Atillo-Normandía.

| Punto | x      | y       | S1     | S2     | Muestra    | Litología                                    | *Facies M. Tipomorfo | Protolito Petrográficas | Unidades                               |
|-------|--------|---------|--------|--------|------------|----------------------------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------------------------|
| 1     | 762323 | 9756820 | 355/30 | -      | P1M1/M2    | Metasedimentaria/<br>Chert                   | P-P<br>Pelítico      | Grafito                 | Básico/<br>Metapelita                  |
| 2     | 777554 | 9759182 | 121/80 | -      | G2D2P3     | Metavolcánica                                | Ev<br>Clorita        | Básico                  | Rocas verdes<br>y Metavolcánicas       |
| 3     | 778132 | 9758599 | 260/35 | 194/76 | G2D2P5     | Esquisto clorítico                           | Ev<br>clorita        | Básico                  |                                        |
| 4     | 778448 | 9758121 | 262/36 | -      | G2D2P7     | Esquisto clorítico                           | P-P<br>clorita       | Pelítico                |                                        |
| 5     | 778666 | 9758338 | 268/35 | -      | G2D2P6     | Metavolcánica                                | Ev<br>clorita        | Básico                  |                                        |
| 6     | 778919 | 9758256 | 283/50 | -      | G2D2P9     | esquisto grafitoso<br>con sericita           | P-P<br>grafito       | Pelítico                |                                        |
| 7     | 779150 | 9758185 | 298/55 | -      | G2D2P10    | Metavolcánica                                | Ev<br>Clorita        | Básico                  |                                        |
| 8     | 779220 | 9758100 | 263/83 | 186/74 | G2D2P11    | Esquisto grafitoso                           | Ev<br>Grafito        | Básico                  |                                        |
| 9     | 779380 | 9758069 | 290/38 | -      | G2D2P12    | Esquisto clorítico                           | P-P<br>Clorita       | Básico                  |                                        |
| 10    | 779387 | 9758157 | 245/58 | 275/85 | G3S2P6M1   | Esquisto moscovítico<br>con grafito y cuarzo | P-P<br>Moscovita     | Pelítico                |                                        |
| 11    | 779477 | 9758234 | 270/69 | 310/70 | G3S2P7M1   | Metavolcánica                                | P-P<br>Clorita       | Básico                  |                                        |
| 12    | 779749 | 9757988 | 272/65 | -      | G3S2P8M1   | Esquisto moscovítico<br>con grafito y cuarzo | P-P<br>Moscovita     | Pelítico                |                                        |
| 13    | 779956 | 9757878 | 257/72 | -      | G3S2P9M1   | Metavolcánica                                | P-P<br>Clorita       | Básico                  |                                        |
| 14    | 780228 | 9757303 | 281/71 | -      | G3S2P11M1  | Esquisto moscovítico<br>con grafito y cuarzo | P-P<br>Moscovita     | Pelítico                |                                        |
| 15    | 780255 | 9756360 | -      | -      | G3S2P12M1  | Esquisto biotítico                           | P-P<br>Clorita       | Pelítico                |                                        |
| 16    | 780260 | 9756863 | 290/55 | -      | G3S2P13M1  | Metavolcánica                                | P-P<br>Moscovita     | Básico                  |                                        |
| 17    | 780357 | 9756682 | 283/57 | -      | G3S2P14M1  | Esquisto moscovítico<br>con grafito y cuarzo | P-P<br>Sericita      | Pelítico                |                                        |
| 18    | 780551 | 9756940 | 210/50 | -      | G3S2P17M1  | Esquisto moscovítico<br>con clorita y cuarzo | Ev<br>Clorita        | Pelítico                |                                        |
| 19    | 780655 | 9757089 | 270/62 | 060/47 | G3S2P18M1  | Esquisto grafitoso<br>con cuarzo             | P-P<br>Grafito       | Pelítico                |                                        |
| 20    | 781628 | 9757836 | -      | -      | P12-M1-D3  | Cuarcita                                     | P-P<br>Moscovita     | Qz-Fk                   |                                        |
| 21    | 790560 | 9755979 | 270/42 | -      | PM – M3    | Esquisto biotítico                           | Ev<br>Biotita        | Pelítico                | Metasedimentos<br>y Rocas verdes       |
| 22    | 790702 | 9756080 | 294/45 | -      | PM – M4A-C | Cuarcita/ Roca verde/<br>esquisto pelítico   | E-A<br>Granate       | Básico/Qz-Fk            |                                        |
| 23    | 791484 | 9756054 | 220/25 | -      | PM – M7    | Esquisto grafitoso                           | P-P<br>Grafito       | Pelítico                |                                        |
| 24    | 792176 | 9756825 | 330/12 | -      | PM – M7/M8 | Esquisto grafitoso/<br>Cuarcita              | P-P<br>Grafito       | Pelítico                |                                        |
| 25    | 792475 | 9756225 | 225/50 | -      | G7_D1P7M1  | Esquisto cuarzo<br>sericítico con biotita    | Ev<br>Moscovita      | Pelítico                |                                        |
| 26    | 793040 | 9756740 | 223/71 | -      | G7_D2P4M1  | Esquisto clorítico<br>con sericita           | Ev<br>Sericita       | Pelítico                |                                        |
| 27    | 793056 | 9756132 | 265/50 | -      | G7-D2P6M1  | Cuarcita                                     | Ev<br>Sericita       | Qz-Fk                   |                                        |
| 28    | 793122 | 9756675 | 060/30 | 072/22 | G7_D1P3M1  | Esquisto grafitoso<br>con sericita           | Ev<br>Sericita       | Pelítico                |                                        |
| 29    | 793160 | 9756874 | 185/20 | -      | G7_D2P5M1  | Esquisto grafitoso<br>con sericita           | Ev<br>Sericita       | Pelítico                |                                        |
| 30    | 793364 | 9757363 | 250/77 | -      | G7_D1P2M1  | Esquisto clorítico<br>con sericita           | Ev<br>Sericita       | Pelítico                |                                        |
| 31    | 794162 | 9757748 | 165/28 | 210/21 | G7_D2P15M1 | Esquisto grafitoso<br>con sericita           | Ev<br>Sericita       | Pelítico                |                                        |
| 32    | 795574 | 9758000 | 218/22 | -      | G7_D2P13M1 | Esquisto cuarzo-<br>grafitoso                | P-P<br>Grafito       | Pelítico                |                                        |
| 33    | 795757 | 9757635 | 183/31 | 250/20 | G7_D2P12M1 | Esquisto grafitoso<br>con cuarzo             | P-P<br>Sericita      | Pelítico                |                                        |
| 34    | 797305 | 9758850 | 31/40  | -      | P18-D2-M1  | Esquisto grafitoso                           | P-P<br>Grafito       | Pelítico                |                                        |
| 35    | 797435 | 9758350 | 145/32 | -      | P16-D2-M1  | Esquisto grafitoso                           | P-P<br>Grafito       | Pelítico                | Metasedimentos<br>afectadas por Intrus |
| 36    | 797450 | 9758600 | 95/07  | 68/56  | P17-D2-M1  | Esquisto moscovítico                         | P-P<br>Moscovita     | Pelítico                |                                        |
| 37    | 797600 | 9758300 | 142/22 | 56/54  | P15-D2-M1  | Esquisto sericítico                          | P-P<br>Sericita      | Pelítico                |                                        |
| 38    | 798550 | 9758250 | 270/27 | -      | P19-D2-M1  | Esquisto Cuarzo<br>sericítico                | P-P<br>Sericita      | Pelítico                |                                        |
| 39    | 799050 | 9757100 | 218/12 | 276/27 | P11-D2-M1  | Esquisto grafitoso                           | P-P<br>Grafito       | Pelítico                |                                        |
| 40    | 799050 | 9757370 | 195/20 | -      | P14-D2-M1  | Esquisto grafitoso                           | P-P<br>Grafito       | Pelítico                |                                        |
| 41    | 799250 | 9757100 | 191/31 | 143/20 | P10-D2-M1  | Esquisto sericítico                          | P-P<br>Sericita      | Pelítico                |                                        |

|    |        |         |        |        |           |                                 |     |          |          |
|----|--------|---------|--------|--------|-----------|---------------------------------|-----|----------|----------|
| 42 | 799250 | 9757350 | 315/59 | 120/66 | P13-D2-M1 | Esquisto sericítico con clorita | P-P | Sericita | Pelítico |
| 43 | 799350 | 9757000 | 115/64 | -      | P9-D2-M1  | Esquisto sericítico             | P-P | Sericita | Pelítico |
| 44 | 799750 | 9756880 | 150/48 | -      | P8-D2-M1  | Esquisto moscovítico            | P-P | Sericita | Pelítico |
| 45 | 800158 | 9755700 | 220/36 | -      | P7-D2-M1  | Esquisto cuarzo sericítico      | P-P | Sericita | Pelítico |
| 46 | 800960 | 9754775 | 178/56 | -      | P5-D2-M1  | Esquisto clorítico con sericita | Ev  | Clorita  | Pelítico |

Las 46 muestras fueron analizadas macroscópicamente y 4 microscópicamente

\*Nomenclatura para facies metamórficas: Prehnita-Pumpellyita (P-P), Esquisto Verde (Ev), Epidota-Anfíbol (E-A)

sin embargo, en un punto la facie metamórfica es de epidota-anfíbol a causa de la aparición de granates, finalmente el grupo de metasedimentos afectados por intrusión domina una facie metamórfica prehnita-pumpellyita.

Dentro del estudio destaca las muestras analizadas en el Km 63 (al oeste de Zuñac), con la siguiente paragénesis: clorita ± plagioclasa ± cuarzo, ± granate, ± piroxenos ± anfíboles, debido a la aparición de granates se infiere que esta zona fue sometida a mayores condiciones de metamorfismo.

## DISCUSIÓN

### Metamorfismo de la muestra PM-M4B

La composición química inicial de una roca tiene un profundo efecto en la mineralogía resultante después del proceso metamórfico. Los protolitos comprenden todo el espectro de rocas ígneas y sedimentarias. Se pueden distinguir 5 principales grupos composicionales (Winter, 2001)(Best, 2003), como se indica en la Tabla 2.

**Tabla 3 . Categorías composicionales**

| Categoría composicional | Elementos más importantes | Protolito común                    |
|-------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| Ultramáfico             | Mg, Fe, Ni, Cr            | Rocas mantélicas                   |
| Máfico                  | Mg, Fe, Ca                | Basaltos, gabros, grauwacas grises |
| Pelítico                | Al, K, Si                 | Lutitas, limolitas                 |
| Carbonatado             | Ca, Mg                    | Calizas y Dolomitas                |
| Cuarzo Feldespático     | Si, Na, K, Al, Fe,        | Rocas ígneas ácidas, arcosas       |

Basado en: (Winter, 2001) (Best, 2003) (Castro, 2015)

Las facies metamórficas de alta presión y temperatura se caracterizan por una paragénesis de minerales anhidridos y de mayor densidad (Valín, et al., 1994). En la muestra PM-M4B hay un porcentaje (4%) de minerales con estas características como diópsido y granate, este último se infiere que es un mineral relictos, porque la clorita está rodeando al granate en forma de corona. Fig. 2.

Best (2003) sostiene que la paragénesis, plagioclasa, diópsido y granate son características de un protolito Máfico (Basalto), el cual llegó a una facie metamórfica de anfíbolita.

Según Valín et al. (1994) en su estudio observó la transformación de piroxeno a anfíbol (uralitización), en los resultados obtenidos por DRX. Se observan estas dos fases minerales un piroxeno, diópsido (Ca, Mg) y 2 anfíboles: 1) magnesihornblenda (Ca, Na, Mg, Fe), 2) tremolita (Ca, Mg), por lo cual se asume que esta roca sufrió un proceso de uralitización debido a que el porcentaje anfíboles (24%) es mayor que el diópsido (3%), Tabla 1.

El reemplazo de minerales anhidridos, por minerales hidratados estables en bajas temperaturas, solo ocurre si hay disponibilidad de agua. (Best, 2003) (Bucher & Grapes, 2011) Ec.1



Tr: Tremolita      Prp: Piropo      Qz: Cuarzo  
An: Anortita      Di: Diópsido      H<sub>2</sub>O: Agua

Por su parte, Suárez y González (2018) explican el desequilibrio mineralógico en rocas de cuencas extensionales basándose en el concepto

de metamorfismo de soterramiento asociado a facies metamórficas de bajo a medio grado. Se produce una sedimentación en la cuenca lo cual genera una carga litostática, sobre las rocas más antiguas esto se evidencia en el afloramiento del Km 63 (vía Guamate-Macas) de donde, se obtuvo la muestra PM-M4B que está en contacto y subyaciendo a cuarcitas además de estar rodeado de esquistos pelíticos.



Figura 5. Afloramiento del Km 63, Se muestra el contacto entre cuarcitas (Q) y Rocas verdes con granates (Rxg), a la izquierda de la imagen están los esquistos pelíticos (Xsb)

Según, Best (2003) arcillas sometidas a una temperatura mayor a 320°C se transforman en cloritas (Chamosita), lo cual explica la presencia de chamosita en la muestra.

Los granates presentan fracturas Figura 2. lo cual evidencia actividad tectónica (descompresión), además de que este mineral está rodeado y tiene inclusiones de clorita, características de procesos de retrometamorfismo, lo cual puede ser producto de fallas locales evidenciado en las estructuras S-C (Figura 2) y del Plutón de Colimbo Figura 1 (INIGEMM, 2017).

Según Valín et al. (1994) existe una clara correlación entre las zonas de cizalla y la variación del metamorfismo a nivel local; el autor se basa en la variación mineralogía y textural de la roca, pudiendo pasar de tener una textura definida a perderla completamente, esto explicaría la ausencia de textura en la muestra.

## Variación del Metamorfismo

En este trayecto la facie prehnita-pumpellyita es la de menor grado metamórfico, principalmente está en la parte más occidental y oriental de la zona de estudio y hacia el centro, cerca del sector de Zuñac, la facie dominante es esquistos verde, pero resalta la ocurrencia de la facie epidota anfíbol, en consecuencia, este es el sector con mayor grado metamórfico.

Localmente la variación es irregular debido a tectonismo local y los distintitos protolitos de las rocas analizadas. Según Reyes (2009) esto está relacionado con los diferentes eventos geológicos tanto a nivel regional como local, asociado a procesos syn-tectónicos durante el levantamiento de la Cordillera Real

La variación del grado metamórfico a lo largo del tramo de investigación Atillo-Normandía es semejante a la variación general del metamorfismo de la Cordillera Real. Litherland (1994) sostiene que el mayor grado se concentra en el centro de la Cordillera real y disminuye hacia sus extremos.

## CONCLUSIONES

Entre las litologías encontradas en la zona existen varios tipos de esquistos como: esquistos grafitoso, esquistos clorítico, esquistos sericítico, esquistos moscovítico, esquistos biotítico, además de cuarcitas, rocas metavolcánicas, rocas verdes con granates y metapelitas, por lo tanto, tiene distintitos protolitos.

La asociación mineralógica de la muestra PM-M4B es: clorita ± plagioclasa ± cuarzo, ± granate, ± piroxenos ± anfíboles. Debido a que presenta silicatos de Mg, Fe, Ca son indicadores de un protolito basáltico.

La roca verde fue producto de retrometamorfismo, debido a que hay un menor porcentaje de minerales anhidridos (diópsido) que de minerales hidratados (anfíboles, cloritas), eso se evidencia en los resultados de la DRX, además, del parcial reemplazamiento de clorita por granate.

La variación del grado metamórfico, a lo largo del tramo Atillo-Normandía, aumenta hacia el

centro del trayecto (sector Zuñac) y decrece hacia los costados, lo cual sigue la tendencia general de la Cordillera Real, donde la División Loja ubicada hacia el centro de la Cordillera, tiene el grado metamórfico más alto, además, esta variación es irregular debido al tectonismo local, evidenciado en las fracturas de los granates Figura 2 y las estructuras S-C Figura 3.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC), en especial a la Dra. Martha Romero y a la Escuela Politécnica Nacional (EPN), Institución en la que se realizaron los estudios de Difractometría de rayos X. Adicionalmente, presentamos nuestro agradecimiento a Ing. Francisco Viteri por incentivar este estudio, a los Ing. Jorge Bustillos e Ing. Gorki Ruiz, docentes de la Carrera de Geología, por sus comentarios y facilidades prestadas al estudio. Finalmente, a Ing. Stalin Solano por la revisión técnica y a nuestros compañeros de la materia de Petrografía Metamórfica 2018-2019.

## REFERENCIAS

Aspden, J. y otros, 1992. Regional S-type granites in the Ecuadorian Andes: Possible remnants of the breakup of western Gondwana.. *Journal of South American Earth Sciences*, 6(3), pp. 123-132.

Aspden, J. & Litherland, M., 1992. The geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador. *Tectonophysics*, pp. 187-204.

Best, M., 2003. *Igneous and Metamorphic Petrology*. Second ed. Melbourne: Blackwell.

Bucher, K. & Grapes, R., 2011. *Petrogenesis of metamorphic rocks*. 8th ed. London: Springer.

Castro, A., 2015. *Petrografía de Rocas Ígneas y Metamórficas*. Primera ed. Madrid: Paraninfo.

INIGEMM, 2017. Mapa geológico de la República del Ecuador, 2017. Instituto nacional de investigación Geológico Minero Metalúrgico. [En línea] Available at: [www.geoinvestigacion.gob.ec/](http://www.geoinvestigacion.gob.ec/)

[mapas-geologicos-2017/](#)[Último acceso: 20 03 2019].

Litherland, M., Aspden, J. & Jemielita, R., 1994. *The metamorphic belts of Ecuador*. First ed. Keyworth: NERC.

Pratt, W., Duque, P. & Ponce, M., 2005. An autochthonous geological model for the eastern Andes. *Tectonophysics*, Volumen 399, pp. 251-278.

Reyes, P., 2009. Discusión sobre la evolución Jurásico-Cretácico de la Cordillera Real y el Bloque Amotape. *Revista Politécnica*, 30(1), pp. 6-22.

Suárez, R. & Gonzáles, P., 2018. Caracterización geológica del metamorfismo diastaternal Mesozóico en la Cuenca Neuquina y su relación con la anomalía térmica en el sinrift. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 75(3), pp. 457-472.

Valín, M., Pérez - Estaun, A., Martín - Izard, A. & Marcos, A., 1994. Variación de la textura y química mineral de rocas metabásicas en una zona de cizalla (Complejo de Cabo Ortegale, NW de España). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 7(1-2), pp. 179-189.

Winter, O. D., 2001. *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Upper Saddle River: Prentice-Hall Inc.

# MICROBIOLOGÍA DEL AGUA TERMAL DEL BALNEARIO ILALÓ. PICHINCHA, ECUADOR

## THERMAL WATER MICROBIOLOGY OF THE ILALÓ SPA. PICHINCHA. ECUADOR

**Sacoto Acaro Diana**

Consultora Independiente en Ing. Ambiental  
Ecuador  
dianyesenya123@hotmail.com  
<https://orcid.org/0000-0002-8467-5595>

**Andueza Leal Félix Daniel.**

Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleo y Ambiental.  
Universidad Central del Ecuador. Ecuador  
fdandueza@uce.edu.ec.  
<https://orcid.org/0000-0002-9046-8883>

### RESUMEN

Cada manantial de agua termal posee una microbiota característica y específica, en relación con sus características fisicoquímicas. Por ello, el objetivo de la investigación fue estudiar la microbiología del agua termal del balneario Ilaló, ubicado en la Provincia de Pichincha. Se recolectaron muestras de agua, entre noviembre y diciembre del 2018. Se determinaron “*In situ*” los valores de pH, temperatura, conductividad, salinidad, oxígeno disuelto y sólidos totales. Se realizó la cuantificación, aislamiento e identificación de las cepas bacterianas de acuerdo con las pruebas sugeridas por Barrow y Feltham (2003), siguiendo los esquemas propuestos por MacFaddin (2004), complementadas con el kit de identificación bacteriana Microgen. La caracterización microbiológica se hizo de acuerdo con lo señalado por Andueza (2007). Los valores promedios obtenidos en el balneario Ilaló fueron: temperatura del agua termal 32,4 °C; temperatura ambiente de 21,30 °C; salinidad de 0,8 %; pH de 7,39; conductividad eléctrica de 1675,53  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; oxígeno disuelto de 4,30 mg/L, sólidos totales disueltos de 1675,53 mg/L, bacterias *heterótrofas* 24,8 UFC/mL, *Pseudomonas* 0,40 UFC/mL y no hubo presencia de *Staphylococcus*. Se identificaron las colonias aisladas como *Bacillus spp*, *Corynebacterium spp*, *Pseudomonas spp*, *Vibrio alginolyticus*, *Pseudomonas stutzeri*, *Acinetobacter iwoffii*, *Actinomyces spp*, *Moraxella spp*, *Kurthia spp*, *Enterobacter agglomerans* y *Brevibacterium spp*. El 100 % de las colonias resultaron lipolíticas, degradadoras de hidrocarburos y resistentes al plomo. El 90,90 % fueron amilolíticas, 81,81 % proteolíticas y el 18,18 % celulíticas. El agua del balneario Ilaló presenta una población microbiana escasa, pero diversa, con propiedades biotecnológicas destacadas.

**Palabras clave:** microbiología; aguas termales; balneario Ilaló

### ABSTRACT

*Each hot spring has a characteristic and specific microbiota in relation to its physicochemical characteristics. Therefore, the objective of the research was to study the microbiology of the thermal water of the Ilaló spa, located in the Province of Pichincha. Water samples were collected between November and December 2018. The values of pH, temperature, conductivity, salinity, dissolved oxygen and total solids were determined “In situ”. Quantification, isolation and identification of the bacterial strains was performed according to the tests suggested by Barrow and Feltham (2003) following the schemes proposed by MacFaddin (2004), complemented with the Microgen bacterial identification kit. The microbiological characterization was done according to Andueza (2007). The average values obtained at the Ilaló spa were: thermal water temperature 32.4 °C; environmental temperature of 21.30 °C; salinity of 0.8%; pH 7.39; electrical conductivity of 1675.53  $\mu\text{S} / \text{cm}$ ; Dissolved oxygen of 4.30*

mg / L, total dissolved solids of 1675.53 mg / L, heterotrophic bacteria 24.8 CFU / mL, *Pseudomonas* 0.40 CFU / mL and there was no presence of *Staphylococcus*. Isolated colonies were identified as *Bacillus* spp, *Corynebacterium* spp, *Pseudomonas* spp, *Vibrio alginolyticus*, *Pseudomonas stutzeri*, *Acinetobacter iwoffii*, *Actinomyces* spp, *Moraxella* spp, *Kurthia* spp, *Enterobacter agglomerans* and *Brevibacterium* spp. 100% of the colonies were lipolytic, hydrocarbon degraders and lead resistant. 90.90% were amyolytic, 81.81% proteolytic and 18.18% cellulitic. The water of the Ilaló spa has a small microbial population, but diversity, with outstanding biotechnological properties.

**Keywords:** microbiology; hot springs; spa Ilaló.

## INTRODUCCIÓN

El balneario Ilaló es un complejo turístico ubicado en el barrio Guantugloma de la Parroquia la Merced perteneciente al Distrito Metropolitano de Quito, Provincia de Pichincha (Fig. 1), su superficie aproximada es de 3 hectáreas, se encuentra rodeado de bosque primario. Su clima es templado. La temperatura ambiente oscila entre 14 °C hasta los 17 °C y se encuentra a una altura 2598 m.s.n.m. (Sacoto, 2019). El balneario cuenta con un tanque de distribución con una temperatura promedio de 34°C y con tres piscinas de agua termal, la piscina grande con una temperatura promedio de 33°C, la piscina mediana con temperatura promedio de 32°C y la piscina pequeña con temperatura promedio de 30°C, los cuales se consideraron en el estudio. El agua termal es abastecida desde el volcán Ilaló, mediante tuberías que llegan al tanque de distribución, para luego repartirse a las tres piscinas (GADP La Merced, 2012).

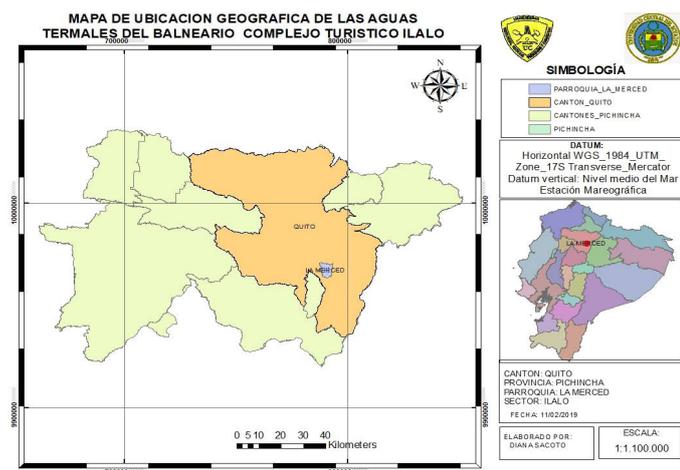
estudiadas, desde un punto de vista microbiológico.

Las aguas termales son medicinales por su alto contenido de minerales y por la microbiota que puede exhibir: diversas actividades biológicas con efectos farmacológicos, que ayudan a mejorar la salud de los bañistas. Además de estos beneficios, estas aguas presentan condiciones ambientales adecuadas para el crecimiento de una gran diversidad de microorganismos autóctonos (De La Rosa & Mosso, 2000; Medina-Ramirez et al., 2016; Andueza et al., 2020b).

De acuerdo con lo indicado por Andueza (2007), el agua de los manantiales termales no es estéril y posee una población microbiana escasa que depende, básicamente de sus condiciones fisicoquímicas, ambientales y ecológicas. Las condiciones ecológicas son similares a las que exhiben el agua de mar y las aguas subterráneas, ya que todas ellas son aguas oligotróficas, muy pobres en nutrientes (De La Rosa & Mosso, 2000).

En los últimos años se han realizado diversos estudios microbiológicos para conocer la microbiota del agua de los principales manantiales termales que existen en el Ecuador a fin de conocer, por un lado, la biodiversidad microbiana y, por el otro, determinar las características biológicas, biotecnológicas, ecológicas, farmacológicas y sanitarias de esta población (Andueza et al., 2015; Guallpa, 2016; Medina-Ramirez et al., 2016; Andueza et al., 2018; Andueza et al., 2020a; Andueza et al., 2020b)

**Figura 1. Mapa de la ubicación geográfica del Balneario "Ilaló", Parroquia la Merced, Provincia de Pichincha, Quito, Ecuador**



Según el INAMHI (2013), el Ecuador al encontrarse en el círculo de Fuego del Pacífico, cuenta con varias fuentes de agua termal y mineral que, por su composición química poseen propiedades medicinales, aunque no han sido

Tomando en consideración lo indicado anteriormente, el objetivo de esta investigación fue: determinar la microbiota presente en el agua termal del balneario Ilaló, mediante análisis microbiológicos con la finalidad de buscar, aislar e identificar microorganismos, con posibles aplicaciones biotecnológicas e industriales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Toma de muestras

Se analizaron un total de 18 muestras de agua termal del balneario Ilaló, ubicado en el sector La Merced, perteneciente al Distrito Metropolitano de Quito, Provincia de Pichincha (Sacoto, 2019). Las muestras de agua fueron recolectadas de manera aséptica, utilizando frascos de **plástico esterilizados de 100 ml. Las mismas fueron trasladadas en un cooler con hielo para** mantener condiciones de temperatura de 5°C, hasta llegar al centro de biología de la Universidad Central del Ecuador, donde se realizaron los análisis microbiológicos (Sacoto, 2019).

### Análisis fisicoquímico “*In situ*”

Los análisis fisicoquímicos se realizaron con un medidor multiparámetro de marca HANNA, se tomó lectura de cada uno de los parámetros (pH, temperatura, conductividad, salinidad, sólidos totales y oxígeno disuelto), para cada punto de muestreo (Sacoto, 2019).

### Análisis microbiológico

Se realizó la siembra y cuantificación de las colonias de bacterias heterótrofas, utilizando los agares PCA y R2A, siguiendo las indicaciones del fabricante. Se inoculó placas por duplicado con 0,1 ml de cada una de las muestras del balneario. Las placas se incubaron a una temperatura de 37 °C, por un período de 24 horas. Para el análisis de las cepas de *Pseudomonas* se utilizó agar Cetrimide. Se inoculó por duplicado, con 0,1 ml de cada una de las muestras del balneario. Las placas se incubaron a una temperatura de 37 °C, por un período de 48 horas (Sacoto, 2019).

### Identificación taxonómica de las colonias bacterianas aisladas

Las cepas de bacterias aisladas se identificaron de acuerdo con sus características morfológicas, fisiológicas y bioquímicas (Barrow y Feltham, 1993; MacFaddin, 2004), complementadas con el kit de identificación bacteriana Microgen (Microgen, 2004). Las cepas aisladas e identificadas se caracterizaron, de acuerdo con sus propiedades amilolíticas, celulíticas, lipolíticas, proteolíticas y capacidad para degradar hidrocarburos (Sacoto, 2019).

### Caracterización biotecnológica de las colonias bacterianas

Para evaluar la capacidad amilolítica de cada cepa analizada, se emplearon tubos de vidrio estéril contentivos del caldo para bacterias amilolíticas con almidón soluble. Cada tubo se inoculó con un asa de cada colonia bacteriana, cultivada en medio sólido. Todos los tubos se incubaron a 25° C durante 30 días. Los tubos se analizaron cada semana, tomando 0,1 ml de medio en un tubo de hemólisis y añadiendo 1-2 gotas de una solución de yodo-yodurada y 1 ml de agua destilada. Se consideró la reacción positiva cuando apareció un color amarillo ámbar; el color azul se consideró como una reacción negativa (Sacoto, 2019).

En el estudio de los microorganismos celulíticos se emplearon tubos de vidrio estéril contentivos del caldo para bacterias celulíticas y una tira de papel filtro sumergido hasta la mitad del contenido líquido del tubo. Cada tubo se inoculó con un asa de cada colonia bacteriana cultivada en medio sólido. Todos los tubos se incubaron a 25° C durante 30 días. Los tubos se observaron, diariamente, para comprobar la aparición de manchas o roturas en las tiras de papel, considerando esta característica como una prueba positiva. (Sacoto, 2019).

Para el análisis de las propiedades proteolíticas de las cepas bacterianas estudiadas, se emplearon tubos de vidrio estéril contentivos del caldo para bacterias proteolíticas con gelatina. Cada tubo se inoculó con un asa de cada colonia bacteriana cultivada en medio sólido. Todos los tubos se incubaron a 25° C durante 30 días, observándose semanalmente para comprobar si había licuación de la gelatina, para lo cual se colocaron en un refrigerador a 5° C durante 1 hora, junto con un tubo testigo y se verificó su estado. Si la prueba estaba líquida, se consideró positiva, caso contrario se consideró negativa. (Sacoto, 2019).

Las propiedades lipolíticas de las cepas bacterianas estudiadas, se realizó, utilizando cajas de Petri contentivas de agar mínimo, suplementado con aceite comestible estéril, usado como única fuente de carbono. Cada caja de Petri se inoculó por estrías con un asa de cada colonia bacteriana cultivada en medio sólido. Las cajas se incubaron a 37° C durante 7 días, observán-

dose semanalmente para comprobar si había crecimiento o no. La presencia de crecimiento de colonias se consideró la prueba como positiva, la ausencia de crecimiento se consideró como negativa. (Sacoto, 2019).

La capacidad para degradar hidrocarburo se valoró, utilizando cajas de Petri contentivas de agar mínimo, con una muestra de petróleo pesado ecuatoriano como única fuente de carbono. Cada caja de Petri se inoculó por estrías, con un asa de cada colonia bacteriana, cultivada en medio sólido. Las cajas se incubaron a 37° C durante 7 días, observándose semanalmente para comprobar si había crecimiento o no. La presencia de crecimiento de colonias se consideró la prueba como positiva, la ausencia de crecimiento se consideró como negativa. (Sacoto, 2019).

La resistencia al plomo, Pb2 + Pb(NO2)3 se evaluó en cajas de Petri con agar soya triptica, conteniendo concentraciones de 30 ppm del metal. Las colonias fueron inoculadas por estrías, en cada uno de estos medios. La presencia de crecimiento, al cabo de 7 días de incubación, a la temperatura de 37° C, se consideró como una prueba positiva, indicativo que el aislado es resistente a la concentración del metal evaluada. (Sacoto, 2019).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Parámetros fisicoquímicos

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos se obtuvieron del promedio de los tres muestreos, en los cuatro diferentes puntos establecidos para el estudio dentro del balneario Ila-ló.

Tabla 1. Resultados de los parámetros fisicoquímicos “in situ” de las aguas del balneario Ila-ló

| Parámetros Fisicoquímicos “in situ” |                        |                |                 |                 |          |
|-------------------------------------|------------------------|----------------|-----------------|-----------------|----------|
|                                     | Tanque de Distribución | Piscina Grande | Piscina Mediana | Piscina Pequeña | Promedio |
| Temperatura ambiente (°C)           | 21,30                  | 21,30          | 21,30           | 21,30           | 21,30    |
| Temperatura de la muestra (°C)      | 34,30                  | 33,00          | 32,30           | 30,00           | 32,40    |
| Salinidad (%)                       | 0,80                   | 0,80           | 0,80            | 0,80            | 0,8      |
| pH                                  | 7,14                   | 7,26           | 7,46            | 7,69            | 7,39     |
| Conductividad (µS/cm)               | 1676,30                | 1678,60        | 1671,60         | 1675,60         | 1675,53  |

|                         |         |         |         |         |         |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Oxígeno disuelto (mg/L) | 2,62    | 4,51    | 4,82    | 5,26    | 4,30    |
| TDS (mg/L)              | 1676,30 | 1678,60 | 1671,60 | 1675,60 | 1675,53 |

De las mediciones realizadas “in situ” de los tres muestreos en las aguas del balneario Ila-ló, se registró que la temperatura promedio del agua fue de 32,4 °C; la temperatura ambiente promedio de 21,3 °C; el pH promedio de 7,3; la conductividad eléctrica promedio de 1675 µS/cm, el oxígeno disuelto promedio de 4,30 mg/L, y los sólidos totales disueltos de 1675 ppm (Ver tabla 1).

De acuerdo con los datos de la tabla 1, todas las temperaturas medidas cumplen con la diferencia de 5 °C, con respecto a la temperatura ambiente del lugar, por lo que estas aguas pueden ser clasificadas como aguas termales, tal y como lo indica Burbano et al., (2013).

En el estudio realizado por el INAMHI (2013) en las aguas termominerales en el Ecuador, menciona que las aguas del balneario Ila-ló son de tipo termal con una temperatura de 37,20 °C, es decir 4,8 °C de diferencia con la temperatura actual, sin embargo, estas aguas siguen siendo termales. La disminución de la temperatura puede ser consecuencia del cambio climático (Sacoto, 2019).

El valor promedio del pH fue de 7,3 correspondiendo de esta manera a aguas de tipo alcalinas, conforme a lo indicado por Fagundo et al., (2007). En el estudio realizado por el INAMHI (2013), menciona que el pH de las aguas termales del balneario Ila-ló es 7,6, es decir 0,3 de diferencia con el pH actual.

El valor promedio de los sólidos totales disueltos en el balneario fue de 1675 ppm. Según Burbano et al., (2013) la concentración de sales disueltas en agua y los sólidos disueltos totales, están relacionados con la conductividad eléctrica e indica la capacidad del agua de conducir corriente eléctrica. De acuerdo con los datos obtenidos, la salinidad del agua en el balneario Ila-ló es muy alta (Sacoto, 2019).

La cantidad de sólidos totales, disueltos en las aguas del balneario Ila-ló, fue superior al de las aguas del Balneario “Urauco” de la misma provincia, cuya cantidad de sólidos totales disueltos fue de 1565 ppm (Guaila, 2015) y similar

a lo indicado en balnearios españoles (De La Rosa et al., 2009)

El valor promedio de conductividad en el balneario fue de 1675  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En el estudio realizado por el INAMHI (2013), se menciona que la conductividad es de 1612  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , es decir no existe una mayor variación con la conductividad actual.

Los datos de conductividad indican que se trata de un agua de mineralización excesiva (conductividad eléctrica superior a 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y no son aptas para consumo humano, de acuerdo con la clasificación dada por Rodier (1998).

El valor promedio de oxígeno disuelto en el balneario fue de 4,30 mg/L. Las posibles razones por las cuales el oxígeno en el agua tiende a disminuir son: porque el agua está muy caliente o existe gran cantidad de minerales, lo cual disminuye la solubilidad del oxígeno en el agua, lo cual concuerda, a su vez, con las medidas de conductividad obtenidas (Sacoto, 2019).

### Recuento de bacteria heterótrofas, *Pseudomonas* y *Staphylococcus*.

Se obtuvo un valor promedio total de bacterias heterótrofas de 24,6 UFC/mL, de *Pseudomonas* de 0,40 UFC/mL, y no hubo presencia de *Staphylococcus* (Ver tabla 2).

Los datos obtenidos indican que los valores son muy bajos, en comparación con los valores obtenidos por otros autores para aguas termales ecuatorianas y de otras partes del mundo (De la Rosa et al., 2004; De la Rosa et al., 2015; Andueza et al., 2018; Gutiérrez et al., 2018; Ibaza, 2018; Andueza et al., 2020b)

**Tabla 2. Resultados del análisis microbiológico de las aguas del balneario Ilaló**

| Análisis Microbiológico |                        |                |                 |                 |                            |
|-------------------------|------------------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------------------|
|                         | Tanque de Distribución | Piscina Grande | Piscina Mediana | Piscina Pequeña | Recuento promedio (UFC/mL) |
| Bacterias Heterótrofas  | 1,53*10                | 3,60*10        | 2,92*10         | 1,77*10         | 24,6                       |
| <i>Pseudomonas</i>      | 0,50                   | 0,60           | 0,20            | 0,30            | 0,40                       |
| <i>Staphylococcus</i>   | 0                      | 0              | 0               | 0               | 0                          |

### Aislamiento de especies bacterianas

De las 29 colonias bacterianas aisladas, 13 se encontraron en el tanque de distribución: 4 en la piscina grande, 8 en la piscina mediana y 4 en la piscina pequeña.

De las 29 cepas aisladas en las aguas termales del balneario Ilaló se determinó que, el 31,1 % son bacterias Gram negativas y el 68,9 % son bacterias Gram positivas, y en base a su morfología se reportó que el 52 % eran bacilos Gram positivos, el 31 % bacilos Gram negativos y el 17 % cocos Gram positivos.

Según De la Rosa & Mosso (2000), en el estudio de diversidad microbiana de las aguas minerales termales, menciona que las bacterias Gram positivas predominan en los manantiales termales debido a las altas temperaturas, premisa que concuerda con los resultados obtenidos, ya que en las aguas del balneario Ilaló, el 68,9 % de las colonias detectadas fueron bacterias Gram positivas.

Asimismo, en el estudio realizado Benavidez (2017), en las aguas termales del balneario Cunuyacu, ubicado en la Parroquia Pastocalle perteneciente a la Provincia de Cotopaxi, se menciona que, el 71 % de las colonias aisladas e identificadas fueron bacterias Gram positivas, resultado similar al obtenido en el presente trabajo.

### Identificación de las especies aisladas en las aguas termales del balneario Ilaló

Se identificó un total de 11 especies diferentes. En la muestra de agua termal del tanque de distribución se encontró seis especies: *Bacillus spp*, *Corynebacterium spp*, *Pseudomonas spp*, *Actinomyces spp*, *Acinetobacter iwoffii* y *Enterobacter agglomerans*; en la piscina grande se encontró cuatro especies: *Moraxella spp*, *Pseudomonas stutzeri*, *Bacillus spp* y *Kurthia spp*, en la piscina mediana se encontró seis especies: *Pseudomonas stutzeri*, *Vibrio alginolyticus*, *Bacillus spp*, *Corynebacterium spp*, *Pseudomonas spp*, y *Brevibacterium spp*; en la piscina pequeña se encontró tres especies: *Vibrio alginolyticus*, *Bacillus spp* y *Acinetobacter iwoffii*.

El género predominante en el balneario Ilaló fue *Bacillus spp*, con un 31 % de frecuencia de

aislamiento, estos son bacilos Gram positivos o Gram variables, catalasas variables, movilidad por lo común positiva, oxidasa variable, O/F de la glucosa: Fermentativos u Oxidativos o ambos, con temperatura óptima de crecimiento de 35 °C (MacFaddin, 2004).

En el estudio realizado por Naranjo (2015), en las aguas termales del balneario “Termas la Merced”, ubicado en la parroquia La Merced, perteneciente a la Provincia de Pichincha, Ecuador, menciona la presencia de especies bacterianas Gram negativas tales como *Brevundimonas diminuta*, *Citrobacter amalonaticus*, *Aeromonas schubertii*, *Budvicia aquatica*, *Xenorhabdus beddingii*, *Acinetobacter haemolyticus*, *Pseudomonas stutzeri* y de bacterias Gram positivas como *Bacillus spp.*, resultado diferente a los obtenidos en la presente investigación y que refuerza lo indicado por De la Rosa y Mosso (2000), de que la población microbiana de cada manantial termal es única y específica

De igual forma, Núñez (2015), en el estudio microbiológico realizado de las aguas Termomineromedicinales del balneario “El Salado” ubicado en baños de Agua Santa en la Provincia de Tungurahua, Ecuador, menciona la presencia de especies bacterianas tales como: *Bacillus spp*, *Escherichia coli*, *Citrobacter freundii*, *Enterobacter gergoviae*, *Budvicia aquatica*, *Cedecea davisae*, *Shewanella putrefaciens*, *Edwardsiella ictaluri*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus spp* y *Staphylococcus aureus*.

Los resultados obtenidos en los diferentes estudios microbiológicos de las aguas termales del Ecuador, son semejantes a los que encontramos en el balneario Ilaló, en lo que se refiere a los géneros mayoritarios, sin embargo, varían en la diversidad y la frecuencia de aislamiento, lo cual ratifica lo postulado por diversos autores en el sentido de que cada manantial de agua termal posee una población microbiana característica y que depende de las condiciones fisicoquímicas del agua (De la Rosa y Mosso, 2000; Andueza et al., 2018)

### Caracterización biotecnológica

En el balneario se determinó que las 11 especies bacterianas identificadas presentan

propiedades lipolíticas y tienen la capacidad para degradar hidrocarburos y ser resistentes a altas concentraciones de plomo, 10 especies presentan propiedades amilolíticas, 9 especies presentan propiedades proteolíticas y 2 especies presentan propiedades celulíticas

Se pudo determinar que la mayoría de las bacterias identificadas, consumen la fuente de carbono proporcionada en cada medio, es decir: almidón, gelatina, celulosa, aceite, plomo y derivados del petróleo, siendo estos los principales compuestos que se encuentran en abundancia en la naturaleza que, al presentarse en grandes proporciones actúan como contaminantes para el ambiente (Buitrago et al., 2014).

Realizando la caracterización biotecnológica de las cepas bacterianas de las aguas termales del balneario Ilaló, se encontró que las bacterias amilolíticas capaces de producir estas enzimas fueron: *Bacillus spp*, *Corynebacterium spp*, *Pseudomonas spp*, *Vibrio alginolyticus*, *Pseudomonas stutzeri*, *Acinetobacter iwoffii*, *Moraxella spp*, *son Kurthia spp*, *Enterobacter agglomerans*, *Brevibacterium spp*. Además, se encontró que las bacterias celulíticas capaces de producir estas enzimas fueron: *Vibrio alginolyticus*, *Pseudomonas stutzeri*.

En el trabajo realizado por Andueza et al (2018), en las aguas termales del cantón Baños en la Provincia de Tungurahua, se menciona que las bacterias amilolíticas pertenecen a las especies *Psychrobacter immobilis*, *Alcaligenes latus* y *Staphylococcus spp*; las bacterias celulíticas pertenecen a las especies *Peptostreptococcus saccharolyticu*.

Estas bacterias con actividades proteolíticas, amilolíticas, celulíticas son de gran interés ecológico, debido a que intervienen en los procesos biogeoquímicos del carbono. Estos microorganismos poseen diversas capacidades metabólicas, transformando los compuestos orgánicos en inorgánicos lo que contribuye a la autodepuración de las aguas. Siendo posible su utilización para diseñar procesos de biorremediación de aguas residuales (De La Rosa et al., 2015; Medina-Ramirez et al., 2017).

## CONCLUSIONES

Los valores de conductividad eléctrica, pH y temperatura obtenidos, confirman que se trata de aguas termales de tipo bicarbonatada magnésica, alcalinas y de mineralización excesiva.

En relación con los valores obtenidos en la parte microbiológica, los mismos señalan la presencia de una microbiota escasa, lo cual indica que la calidad sanitaria de estas aguas es buena, por lo que el balneario Ilaló no presenta problemas de higiene y de contaminación del agua por bacterias, durante el periodo que se realizó el estudio.

Las bacterias que demostraron tener actividades proteolíticas, amilolíticas, celulolíticas pueden ser utilizadas para diseñar procesos de biorremediación de aguas residuales y en otros procesos biotecnológicos.

Se concluye que las aguas termales del balneario Ilaló, presentan una diversidad microbiana escasa pero diversa con propiedades biotecnológicas aprovechables.

## AGRADECIMIENTO

A la Dirección de Investigación de la Universidad Central del Ecuador, por el financiamiento dado a través del proyecto avanzado 11.

## REFERENCIAS

Andueza, F. (2007) Diversidad Microbiana de las Aguas Mineromedicinales de los Balnearios de Jaraba. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Madrid. España.

Andueza, F.; Albuja A.; Arguelles P.; Escobar S.; Espinoza C.; Araque J. & Medina G., (2015). Antimicrobial resistance in strains *Pseudomonas aeruginosa* isolated from thermal Waters at Chimborazo, Ecuador. *Rev. Anal. Real Acad. Farm.* Vol. 81: 158-163.

Andueza, F.; Aguirre M.; Arciniegas S.; Parra Y.; Escobar S.; Medina G.; Araque J., (2018). Calidad bacteriológica del agua de los manantiales termales del balneario "Santa Ana" Cantón Baños, Tungurahua, Ecuador. *Rev. Perspectiva* 19 (4): 529-536

Andueza, F.; Chauca, S.; Vinuesa, R.; Escobar, S.; Medina-Ramírez, G.; Araque, J. (2020a). Calidad microbiológica de las aguas termales del Balneario "El Tingo". Pichincha. Ecuador. *Revista Ars Pharmaceutica*. Vol. 61 (1): 1-9. <http://dx.doi.org/10.30827/ars.v61i1.8378>.

Andueza, F.; Araque, J.; Parra, Y.; Arciniegas, S.; Guaila, R.; Escobar, S.; Medina, G.; (2020b). Diversidad bacteriana en aguas mineromedicinales del balneario "Urauco". Pichincha. Ecuador. *An. Real Acad. Farm.* Vol. 90 (1): 9 – 18. <http://dx.doi.org/10.15568/anranf.2020.89.or01>

Barrow, G. and R. Feltham, (eds.) (2003) *Manual for the identification of medical bacteria*. Edición 3, Cambridge University Press. Cambridge. UK.

Benavides, C. (2017) Análisis microbiológico de las aguas termales en la comunidad Cunuyacu ubicado en la parroquia Pastocalle perteneciente a la Provincia de Cotopaxi. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. Ecuador

Burbano, N.; Becerra, S. & E. Pasquel, (2013). Aguas termo minerales del Ecuador" en INAMHI. [En línea]. Quito - Ecuador, disponible en: <https://issuu.com/inamhi/docs/termalismo> [Recopilado: 12/02/2020]

De la Rosa, M.; Andueza, F.; Sánchez, A.; Rodríguez, M.; Mosso, M. (2004). Microbiología de las aguas mineromedicinales de los Balnearios de Jaraba. *Rev. Anal. Real Acad. Farm.* Vol. 26: 521-542.

De la Rosa, M.; Pintado, C.; Rodríguez, C.; Mosso, M. (2009). Microbiología del manantial mineromedicinal del Balneario Alicún de las Torres. *Rev. Anal. Real Acad. Farm.* Vol. 75 (E): 763-780.

De la Rosa, M.; Pintado, C.; Rodríguez, C. (2015). Microbiología del agua mineromedicinal del Balneario de Villavieja. *Rev. Anal. Real Acad. Farm.* Vol. 81: 54-63.

De la Rosa, M.; Mosso, M. (2000). Diversidad microbiana de las aguas minerales termales.

En: Panorama actual de las aguas minerales y mineromedicinales de España, pp. 153-158. Ed. A. López y J.L. Pinuaga. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid. España.

Fagundo, F.; Cima, A. & P. González, (2007). Revisión bibliografía sobre clasificación de las aguas minerales y mineromedicinales” en sld.cu. [En línea]. Centro Nacional de Termalismo “Víctor Santamarina”. Disponible en: [http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-bal/clasificacion\\_aguas\\_minerales.pdf](http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-bal/clasificacion_aguas_minerales.pdf)  
Recopilado: 04/02/2020

GADP La Merced, (2012) “Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de La Merced 2012-2025”. La Merced. Ecuador

Guaila, R., (2015) Estudio microbiológico de los manantiales termales del balneario “Urauco” ubicado en la parroquia Lloa perteneciente a la provincia de Pichincha. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. Ecuador

Gualpa, S. (2016) Estudio microbiológico de las aguas termales del balneario Cununyacu ubicado en las faldas Noroccidentales del cerro Ilaló de la Parroquia Tumbaco perteneciente a la Provincia de Pichincha. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. Ecuador.

25

Gutiérrez, MG.; Andueza, F.; Araque, J.; Lugo, A.; Chacón, Z. (2018). Caracterización microbiológica y potencial biotecnológico de microorganismos aislados de las aguas termales de la Musuy, Municipio Rangel del Estado Mérida. Venezuela. Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología. Vol. 38 (1): 27-32.

Ibaza, D., (2018). Biodiversidad microbiana de las aguas termales “Santagua de Chachimburo” en la Provincia de Imbabura: búsqueda de microorganismos con propiedades biotecnológicas. Tesis de Grado. Universidad Central del Ecuador. Quito. Ecuador.

INAMHI, (2013). Aguas termo minerales en el Ecuador. Quito-Ecuador. [En línea] disponible en: <https://issuu.com/inamhi/docs/termalismo/3?e=0> [Recopilado: 05/02/2020].

MacFaddin, J. (2004) Pruebas bioquímicas para la identificación de bacterias de importancia clínica. Edición 3. Editorial Médica Panamericana S.A. Montevideo. Uruguay.

Medina-Ramírez, G.; Naranjo, K.; Escobar, S.; Araque, J.; Djabayan, P.; Andueza, F. Microbiota extremófila y resistomas ambientales de la fuente termal “Termas La Merced”. Quito. Ecuador. FIGEMPA: Investigación y desarrollo. Vol. 2 (7): 33-38.  
<https://doi.org/10.29166/revfig.v1i2.867>

MicrogenTM, (2004) Identificación de MicrogenTM GN-ID [en línea]. Camberley-Reino Unido. Disponible en: <http://www.medica-tec.com/chi/files/MICROGEN-GN-ID-MID64-641-65.pdf> [Recopilado: 19/02/2020].

Naranjo, C., (2015) Estudio microbiológico del manantial termal del balneario “Termas La Merced” ubicado en la parroquia La Merced perteneciente a la provincia de Pichincha. Tesis de pregrado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Bioquímica y Farmacia. Riobamba. Ecuador

Núñez, S., (2015) Estudio microbiológico de las aguas termo mineromedicinales del balneario “El Salado” de Baños de Agua Santa-Tungurahua. Tesis de grado. Riobamba Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. Ecuador

Rodier, J., (1998). Análisis de las aguas. Aguas naturales, aguas residuales, agua de mar. 3ra Edición. Editorial Omega. Barcelona-España.

Sacoto, D. (2019). Microbiota del agua termal del Balneario Ilaló en la provincia de Pichincha-Ecuador y sus propiedades biotecnológicas e industriales. Tesis de pregrado. Universidad Central del Ecuador. Quito. Ecuador.

# DIFERENCIAS EN EL CLIMA QUE PRODUCE INCENDIOS FORESTALES Y DE OLAS DE CALOR EN VICTORIA, AUSTRALIA

Climate changes caused by bushfire and heatwave in Victoria, Australia

Pazmiño Daniel

Escuela de Ciencias de la Tierra, Universidad de Melbourne, Parkville, VIC, Australia

daniel.pazmino.v@gmail.com.  
<https://orcid.org/0000-0001-8020-5476>

## RESUMEN

Los incendios forestales y las olas de calor son peligrosas amenazas naturales en Australia. Ambos riesgos se caracterizan por anomalías de la temperatura del aire superiores al promedio climatológico. Sin embargo, el clima de incendios forestales y el de olas de calor se diferencian en algunos otros aspectos climatológicos. Este artículo compara los patrones del clima, asociados a estos dos tipos de eventos climatológicos extremos, en el estado de Victoria, Australia. Los resultados muestran que solo el 13 % de los incendios forestales, en esta región, co-ocurren con olas de calor. Desde un punto de vista sinóptico, la principal diferencia entre los dos eventos es la circulación de un frente frío y sus fuertes vientos asociados, en el día en que los incendios forestales ocurren. Adicionalmente, las olas de calor se caracterizan por patrones de humedad por sobre el promedio climatológico en el continente australiano, mientras que el clima de incendios forestales se presenta cuando en Australia existe sequía. En promedio, un patrón de “El Niño” persiste en el Océano Pacífico Tropical cuando ocurren incendios forestales en Victoria. Por otra parte, las olas de calor en esta región, ocurren generalmente en condiciones neutras del fenómeno de “El Niño”. Los análisis de esta investigación usaron datos de estaciones meteorológicas y también de “reanálisis”. Estos hallazgos sugieren que usar patrones de fenómenos climatológicos remotos (como “El Niño”) asociados a incendios forestales, pueden incidir en mejorar las predicciones, por temporada del clima, que produce incendios forestales.

**Palabras clave:** peligro de incendios forestales; clima; riesgo; historia de incendios; prevención de incendios.

## ABSTRACT

*Forest fires and heat waves are dangerous natural threats in Australia. Both risks are characterized by air temperature anomalies above the climatological average. However, forest fire and heat wave climates differ in some other weather aspects. This article compares the weather patterns associated with these two types of extreme weather events in the state of Victoria, Australia. The results show that only 13% of forest fires in this region co-occur with heat waves. From a synoptic point of view, the main difference between the two events is the circulation of a cold front and its associated strong winds, on the day that forest fires occur. Additionally, heat waves are characterized by humidity patterns above the average climate on the Australian continent, while the forest fire climate occurs when there is drought in Australia. On average, an “El Niño” pattern persists in the Tropical Pacific Ocean when forest fires occur in Victoria. On the other hand, heat waves in this region generally occur in neutral conditions of the “El Niño” phenomenon. The analyzes of this research used data from meteorological stations and also from “reanalysis”. These findings suggest that using patterns of remote climatological phenomena (such as “El Niño”) associated with forest fires, may have an impact on improving the predictions, by season of the climate, that produces forest fires.*

**Keywords:** fire danger; climate; risk; fire history; fire prevention.

## INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales y las olas de calor son peligrosas amenazas naturales para Australia. En los últimos 100 años, las olas de calor fueron la principal amenaza natural para quienes habitan en este país Haynes et al. (2010). Los incendios forestales son: la cuarta amenaza natural más peligrosa en este país. Estos eventos también tuvieron importantes consecuencias para la economía australiana. Los incendios forestales son la tercera amenaza natural más destructiva McAneney et al. (2009). Estos eventos fueron los responsables del 20 % de daños a la propiedad, durante el período 1900 a 2003. Por otra parte, las olas de calor incrementan la demanda de energía, por su uso intenso, en los sistemas de aire acondicionado. Las olas de calor, también pueden afectar la integridad física de la infraestructura civil Boschhat et al. (2014)–Pezza et al. (2012). Estos eventos producen impactos significativos para Australia. Por lo tanto, se han dedicado grandes esfuerzos para entender cómo se producen estos eventos. Los incendios forestales y las olas de calor se encuentran vinculados por aspectos meteorológicos. Sin embargo, en este estudio se demuestra que el clima que produce incendios forestales y el asociado a olas de calor, (paradójicamente) muestran importantes diferencias.

Las variables meteorológicas que, usualmente se asocian al clima de incendios forestales son: la temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento, y precipitación. Estas variables son controladas por patrones del clima de gran escala. Estos patrones presentan características particulares en diferentes regiones de Australia BoM (2009). Los patrones del clima, asociados a incendios forestales, tienen en común la advección de aire caliente y seco. Frecuentemente, la circulación de un frente frío en zonas proclives a incendios forestales es otra característica HaynesBradstock et al. (2012). Por ejemplo, el clima que produce incendios forestales, en el sudeste de Australia, se caracteriza por un centro de alta presión en la región del mar de Tasmania. Un fuerte frente frío que proviene del oeste también está usualmente presente BoM (2009). La circulación de un frente frío está asociada a fuertes vientos y cambios bruscos de dirección de este. Estas condicio-

nes pueden transformar un incendio forestal pequeño en una catástrofe. De hecho, Mills Mills (2005) demostró que un fuerte gradiente de temperatura al nivel de 850 hPa (asociado con la circulación de frentes fríos) está altamente correlacionado con incendios forestales extremos en Victoria, Australia.

Las características comunes de los incendios forestales y olas de calor en Victoria son el ambiente cálido y seco. Los vientos del norte asociados a un anticiclón en el mar de Tasmania se asocian a estas condiciones. Sin embargo, los precursores de estos eventos pueden ser muy diferentes.

Pezza et al. (2012). demostraron que un anticiclón (o centro de alta presión) en el mar de Tasmania es el principal precursor de las olas de calor en Victoria. En este estudio, las olas de calor se definen como cualquier evento que alcance tres o más días consecutivos con temperaturas máximas, iguales o superiores al percentil 90 de la media climatológica mensual. La temperatura mínima no debe caer por debajo del percentil 90, en el segundo y tercer día. Las olas de calor fueron asociadas con ciclones y anticiclones, usando un sistema de rastreo Murray and Simmonds (1991) para el período 1979-2008. La estabilidad del centro de alta presión en el mar de Tasmania mantiene la advección de aire seco, al sudeste de Australia. Esto impide la circulación de frentes fríos, lo cual hace a este centro de alta presión, un anticiclón que bloquea la circulación. Aunque existe una clara relación en incendios forestales y olas de calor, estos eventos no han sido investigados de forma integral.

Para entender la relación entre estos eventos, vale la pena revisar su conexión con uno de los precursores climáticos más importantes del clima de Australia: El Niño Oscilación del Sur (ENOS) Risbey et al. (2009)–Klingaman et al. (2013) a cold surge (CS). Varios estudios han investigado la relación entre ENOS y el clima de incendios forestales en Australia Williams y Karoly (1999)–Verdon et al. (2004). La mayoría de estos estudios aseveran que existe una relación significativa entre la fase “El Niño” de ENOS y el clima que produce incendios forestales. Sin embargo, la ocurrencia de incendios solo se encuentra, moderadamente asociada a ENOS en Victoria Harris et al (2013). Por otra parte, Perkins et al. Perkins et al. (2012) su-

gieren que las fases ENOS pueden modular la duración y amplitud de las olas de calor, a nivel mundial. No obstante, las olas de calor en el sudeste de Australia no se encuentran moduladas por la dinámica climática del trópico, esto ha sido corroborado para olas de calor en Melbourne Bosch et al. (2014).

Los incendios forestales ocurren en condiciones cálidas y secas que, por lo general acontecen durante las olas de calor. Intuitivamente se asume que los incendios forestales se dan durante o en los días subsiguientes a las olas de calor. El objetivo de este estudio es comparar los patrones climáticos de incendios forestales y olas de calor. La investigación se enfoca en el estado de Victoria, en el sudeste de Australia, durante el período 1961-2011. Este estudio es importante porque Victoria es una región que se ve afectada, frecuentemente, por severos incendios forestales y olas de calor.

Las diferentes secciones del artículo se organizan de la siguiente manera: la sección dos describe el área de estudio, la sección tres detalla las características de las bases de datos usadas en esta investigación, se establecen las metodologías de cálculo, incluyendo los análisis estadísticos, la sección cuatro presenta una comparación entre el clima de incendios forestales y olas de calor en Victoria, Australia; finalmente, la sección cinco discute los resultados y presenta las conclusiones del estudio.

### Área de Estudio

Victoria se encuentra en el sureste de Australia entre las latitudes 34° 2' S a 39° 8' S (ver Figura 1). Este estado tiene una extensión de 227,618 Km<sup>2</sup> Sherbon (1975) y una población de 5.9 millones ABS (2016). Victoria tiene un clima templado, de acuerdo con el sistema de clasificación de Köppen. En general, los veranos son cálidos y secos, mientras que los inviernos son fríos y húmedos. La precipitación en Victoria varía desde los 250 mm hasta 1,000 mm al año Luke y McArthur (1978).

Varios factores inciden en la susceptibilidad de esta región a incendios forestales. En primer lugar, su vegetación la hace muy propensa a este riesgo Williams (2012). El *Eucalyptus* (Myrtaceae) es la especie dominante en

sus boques Williams (2012), los mismos que cubren un tercio de su territorio Luke y McArthur (1978). Adicionalmente, es el área urbanizada más densamente poblada de Australia Williams (2012). Aunque Victoria representa solo el 5 % del territorio de este país Luke y McArthur (1978), el 24.7 % de su población reside en este estado. Esta región tiene una larga temporada de incendios forestales que abarca el verano austral, de diciembre a febrero BoM (2009), Luke y McArthur (1978).

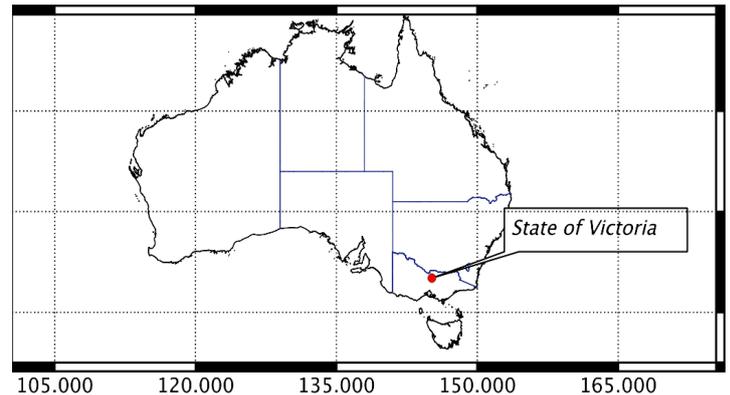


Figura 1: Ubicación de Victoria, Australia

## DATOS Y MÉTODOS

### Bases de Datos

El Departamento de Ambiente, Suelo, Agua y Planificación (DELWP por sus siglas en Inglés), que pertenece al Gobierno del Estado de Victoria, de forma continua actualiza una base de datos oficial de ocurrencias de incendios forestales. Esta es la principal base de datos usada en esta investigación. Para este estudio se define a un incendio forestal como todo evento que afectó al menos 10,000 hectáreas. Esta definición permitió probar la robustez de la información comparándola con una base de datos alternativa provista por el Centro de Investigación "Riesgos sin Fronteras". La base de datos "DELWP" registró 31 eventos durante la temporada diciembre-enero-febrero (DJF por sus siglas en Inglés) para el período 1961-2011. Las otras tres temporadas del año registraron 11 eventos durante el mismo período. Por lo tanto, el análisis se realizó para la temporada más propensa a incendios (diciembre-enero-febrero).

Los investigadores en Risk Frontiers (Universidad Macquarie) recopilaron una base de datos de sucesos de peligros naturales y consecuen-

cias. El nombre de la base de datos es “PerilAUS”. Incluyendo eventos tales como ciclones tropicales, inundaciones e incendios forestales en Australia. La información abarca más de doscientos años, hasta el presente Haynes et al. (2010). Esta base de datos recopila información de los periódicos Sydney Gazette y Sydney Morning Herald Coates (1996). Estos periódicos empezaron a publicarse en 1803 y 1842, respectivamente. La información fue validada con periódicos locales e información oficial, cuando fue necesario Crompton et al. (2010). De acuerdo con Coates (1996), el subconjunto de incendios de esta base de datos fue, inicialmente desarrollado en 1991 con información de la “Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization” (CSIRO).

PerilAUS establece dos tipos de datos de incendios forestales: reportes y eventos (M. Mason, comunicación personal, 16 de agosto, 2013). Debido a que la base de datos tiene un enfoque en el daño, un reporte de un incendio forestal registrado se refiere al daño en localizaciones particulares. Por otro lado, un evento de incendio forestal se refiere a la fecha cuando el incendio forestal sucedió – o empezó –, provocando daño en varias localizaciones. Por ejemplo, “Black Saturday” un incendio forestal catastrófico que ocurrió el 7 de febrero de 2009 tuvo 18 reportes en diferentes localizaciones de Victoria (e.g. St. Andrews, Weerite, Marysville). Sin embargo, este caso es catalogado como un solo evento de incendio forestal. Para propósitos de este proyecto, las fechas de eventos de incendios forestales de PerilAUS serán utilizadas como una segunda base de datos de incendios forestales para los análisis porque se ajusta mejor a la definición climatológica (43 eventos en total para el periodo 1961-2011). Este método también ha sido utilizado en otras investigaciones para asociar incendios forestales con procesos climáticos individuales de gran escala. Blanchi et al. (2010) concluye que se destruyeron 8256 casas. Los cálculos estadísticos estandarizados fueron comparados meteorológicas y con los cálculos estandarizados de McArthur Forest Fire Danger Index (FFDI). Debido a que la información de esta base de datos fue principalmente recopilada de periódicos, la frecuencia de incendios forestales, en este periodo, es un reflejo de decesos humanos y daños a la propiedad, en lugar de la intensi-

dad del fuego (K. Haynes, comunicación personal, 13 de agosto, 2013).

El cálculo de eventos de olas de calor fue desarrollado, usando la base de datos de la “Australian Climate Observations Reference Network” (ACORN-SAT) Blanchi et al. (2010). El Australian Bureau of Meteorology (BoM) generó esta red, una base de datos de alta calidad. Las estaciones climáticas seleccionadas fueron: Melbourne Regional Office, Mildura, Nhill y Sale, debido a que estas tuvieron más archivos disponibles dentro del periodo 1961-2011. Para esta investigación, una ola de calor en Victoria es cualquier evento que satisfaga la definición de ola de calor, en las cuatro estaciones, simultáneamente.

Las olas de calor fueron calculadas utilizando dos definiciones. La primera definición está basada en índices de exceso de calor (EHIs por sus siglas en Inglés) Nairn y Fawcett (2013). En esta definición, el promedio del máximo y mínimo de la temperatura diaria (ADT) es utilizada para calcular dos subíndices. El primer subíndice estima un exceso de calor a corto plazo en el ambiente. Este es un índice de aclimatación calculado como la diferencia entre tres valores de ADT consecutivos y el promedio de los 30 días anteriores. El segundo subíndice representa un exceso de calor a largo plazo. Este es calculado como la diferencia entre tres valores de ADT consecutivos y el percentil 95 de todos los valores de ADT. El índice final es la multiplicación de la aclimatación EHI y el valor absoluto del subíndice de exceso de calor a largo plazo.

El segundo enfoque define la ocurrencia de una ola de calor cuando la temperatura máxima ( $T_{max}$ ) y la temperatura mínima ( $T_{min}$ ) exceden el percentil 90, para ese mes, durante tres y dos días consecutivos, respectivamente Pezza et al. (2012) Sadler et al. (2012). La definición de Pezza, fue seleccionada ya que describe mejor las olas de calor severas. Por lo tanto, solamente las olas de calor más severas, sobre el percentil 55, calculadas con la metodología de Nairn et al. (2009) fueron seleccionadas para la comparación. Con la metodología de Nairn et al. (2009) 14 eventos fueron detectados. La definición de Pezza et al. (2012) dio lugar a 17 eventos.

La investigación también manejó datos climáticos de productos de reanálisis. El Proyecto de

Reanálisis del Siglo XX (20CRV2) se utilizó en esta investigación. Esta base de datos proporciona promedios de seis horas con una resolución de  $2 \times 20$ . McBride et al (2012). Adicionalmente, también se usaron datos de la base "Met Office Hadley Centre's sea ice and sea surface temperature" (SST) (HadISST1) McBride et al (2012). Esta base de datos produce mensualmente valores con una resolución de  $5 \times 50$ .

Los datos de reanálisis tienen limitaciones intrínsecas comunes. Por ejemplo, menos observaciones en el hemisferio sur en comparación con el hemisferio norte. Además, no todas las variables están igualmente bien representadas. Sin embargo, los resultados recientes han demostrado que el 20CR representa bien el clima del sureste de Australia McBride et al (2012).

### Cálculos

Se realizó un análisis compuesto para describir las condiciones generales (promedio) pre-aleciantes de Victoria. Las composiciones (conjunto de promedios) de anomalías diarias se calcularon para el día -5 al día +5, de cada evento de incendio forestal y ola de calor. Esto describe la evolución dinámica de cada fenómeno. Es importante destacar que los eventos de incendios forestales y de olas de calor se analizaron por separado. Por lo tanto, los eventos que tenían fechas coincidentes no se consideraron en los cálculos. Esta consideración cubrió la definición de las tres fechas de ola de calor más tres días posteriores. Esto cubrió los incendios forestales que podrían haber ocurrido, inmediatamente después de una ola de calor. Esta separación se realizó comparando los eventos de incendios forestales, de la base de datos DELWP, con las olas de calor calculadas con la metodología de Nairn y Ashcroft et al (2014). Para validar los resultados, todos los cálculos descritos en este artículo también se realizaron utilizando la base de datos de incendios forestales PerIAUS y la definición de ola de calor de Pezza et al. (2012). Los resultados que utilizan una segunda base de datos de incendios forestales y la definición de ola de calor son robustos y muestran solo pequeñas diferencias. Por lo tanto, solamente aquellos datos obtenidos con la base de datos de incendios forestales DELWP y con la definición de ola de calor de Nairn y Ashcroft et al (2014) son mencionados en la sección de resultados.

Finalmente, las composiciones de anomalías estacionales se calcularon para la primavera y el verano austral. Esto representa los patrones a gran escala en las temporadas de incendios forestales y de olas de calor anteriores y concurrentes. Las anomalías se probaron con una prueba "t de Student" con un nivel de significación del 5% y se indican anomalías significativas.

## RESULTADOS

### Valoración de los conjuntos de datos

Una evaluación inicial de las bases de datos de incendios forestales muestra que están moderadamente correlacionadas para el período de análisis 1961-2011 ( $r = 0,44$ ,  $p = 0,00$ ). Por otro lado, la comparación de la frecuencia de las olas de calor muestra que las dos definiciones describen diferentes episodios de olas de calor, ya que los resultados no están correlacionados ( $r = 0.06$ ,  $p = 0.68$ ). Este es un resultado inesperado. Esta falta de correlación revela que las definiciones de olas de calor son muy sensibles. En general, el enfoque de Pezza et al. (2012) describe mejor los eventos de olas de calor extremas, mientras que la definición de Nairn et al. (2009) captura mejor días anormalmente «calientes».

La disponibilidad de esta información permitió una comparación entre eventos de incendios forestales y de olas de calor. Solamente hubieron 4 eventos de incendios forestales que ocurrieron simultáneamente con olas de calor en Victoria; la base de datos de incendios forestales y la definición de ola de calor de Nairn's fueron utilizadas para esta comparación, como se describe en la sección de métodos. Este resultado significa que solo el 13% de los eventos de incendios forestales ocurren simultáneamente con olas de calor. Estos días comunes, como se muestra en la Tabla 1, se han excluido de la climatología. La separación produce una señal "pura" de incendios forestales y de patrones climáticos sinópticos de olas de calor.

Tabla 1 Una ola de calor y cuatro eventos de incendios forestales se excluyeron del análisis de anomalías para establecer una señal sinóptica "pura". Los eventos considerados fueron los que ocurrieron en las temporadas DJF (diciembre-enero-febrero por sus siglas en inglés)

durante el período 1961-2011 en Victoria, Australia. Los registros de incendios forestales provienen del “Department of Environment, Land, Water and Planning” (DELWP). Las olas de calor se calcularon utilizando el percentil 55 de los valores definidos con los criterios de Nairn et al. (2009).

**Tabla 1. Registros de incendios forestales**

| Olas de Calor | Incendios Forestales fechas |
|---------------|-----------------------------|
| 2009-02-03    | 2009-02-04                  |
|               | 2009-02-06                  |
|               | 2009-02-07                  |
|               | 2009-02-08                  |

La frecuencia de los eventos de incendios forestales muestra una señal de clima discernible. En el ANEXO 1. SERIES DE TIEMPO DE INCENDIOS FORESTALES, OLAS DE CALOR Y EL SOUTHERN OSCILLATION INDEX (SOI) en Victoria, PERIODO 1961-2011. se ha incluido una serie de tiempo del Índice de Oscilación de Sur (SOI, por sus siglas en inglés). En las que se observan curvas polinomiales, las cuales muestran, que existe una clara asociación entre las décadas de los incendios forestales y el SOI. Sin embargo, la variabilidad interanual muestra solo una correlación débil (coeficiente R de -0.16 y -0.22 para eventos de incendios forestales y olas de calor, respectivamente).

**Patrones meteorológicos para la climatología diaria**

Las anomalías de la temperatura del aire (T) muestran diferencias entre eventos de incendios forestales y de olas de calor (ver ANEXO 2. ANOMALÍAS DE LA TEMPERATURA DEL AIRE). Aunque los patrones son similares, las anomalías son más débiles para incendios forestales. Esto incluye el área cálida en el sureste de Australia. El patrón también muestra anomalías negativas observadas en Queensland y Australia Occidental. Las olas de calor muestran un frente frío en el día +4. Por otro lado, los incendios forestales muestran un frente frío en el día cero. Esto es consistente con los resultados de Mills (2005). Las anomalías de la temperatura del incendio forestal sobre Victoria (+3 oC) son más débiles que las ano-

malías de las olas de calor (+5 oC). Finalmente, la dinámica del clima de olas de calor es más estática que su contraparte de incendios forestales. Esto significa que, aunque los patrones son similares, las anomalías de las olas de calor permanecen en la misma posición, por más tiempo que las anomalías de los incendios forestales.

Las diferencias en humedad relativa (HR) son más reveladoras. El sureste de Australia muestra anomalías más secas durante las olas de calor (ANEXO 3. ANOMALÍAS DE LA HUMEDAD RELATIVA FIG. d a f). La humedad en el interior del continente está rodeada de anomalías secas, particularmente en el estado de Queensland (noreste de Australia). Durante los incendios forestales, la costa oriental se encuentra seca. Las anomalías se extienden a lo largo del “Great Dividing Range” (cadena montañosa al este de Australia). Victoria permanece más seca después del paso del frente frío para eventos de incendios forestales. Esto indica que la influencia del frente frío y seco es importante para desencadenar y propagar los incendios. Esto se puede ver en la Anexo 3. FIG c y Anexo 4. FIG c.

La altura geopotencial (a nivel de 500 hPa) muestra las diferencias más notables ANEXO 4. ANAMOLÍAS DE ALTURA GEOPOTENCIAL. Este anexo muestra que las olas de calor presentan un patrón de ola fuerte que conduce a un bloqueo alto sobre el mar de Tasmania. Este resultado concuerda con Pezza et al. (2012). Los incendios forestales se producen en asociación con una intensa señal de actividad frontal.

**Anomalías de temperatura superficial del mar**

Los incendios forestales se asocian con anomalías cálidas de la temperatura superficial del mar, en el Océano Pacífico tropical, durante los meses de diciembre a febrero. Estas anomalías también están presentes en el Océano Índico se evidencian en el ANEXO 5. ANAMOLÍAS DE TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR, en la Fig. (6a) del Anexo 6. En contraste, estas anomalías de calentamiento no están presentes en los eventos de olas de calor, en la Fig. (6b) del mismo anexo. El patrón sugiere la influencia de “El Niño” durante los incendios forestales. Las olas de calor parecen estar asociadas con condiciones neutrales de ENOS.

## Patrones estacional de circulación atmosférica a gran escala

Un enfoque final, en esta investigación, fue explorar los patrones de circulación estacional a gran escala. El objetivo era comparar los patrones sinópticos de incendios forestales y olas de calor. El análisis incluyó los eventos ocurridos en la primavera (septiembre-noviembre) y el verano (diciembre-febrero).

El ANEXO 6. ANOMALIAS DE LA TEMPERATURA DEL AIRE (SON) y el ANEXO 7. ANOMALIAS DE LA TEMPERATURA DEL AIRE (DJF) muestran las anomalías de la temperatura del aire para las estaciones de primavera y verano, respectivamente. El Anexo 6 Fig (6a) muestra un patrón de “El Niño” que persiste en la temporada DJF, asociada con los incendios forestales. El Anexo 7 Fig. (7a). En contraste, las estaciones de olas de calor presentan un patrón similar a “La Niña”. Este patrón persiste en la temporada concurrente DJF (ver Anexo 6 Fig. (b) y Anexo 7 Fig. (b)).

El ANEXO 8. ANOMALIAS DE HUMEDAD RELATIVA (SON)) y el ANEXO 9. ANOMALIAS DE HUMEDAD RELATIVA (DJF) muestran las anomalías de humedad relativa. La figura (a) del Anexo 9 representa una Australia seca. Las anomalías negativas son más fuertes en la temporada DJF. Se encontró el patrón opuesto para las temporadas de olas de calor. Muestran anomalías positivas en esta región. Estos son más intensos en los meses siguientes (ver Anexo 8 Fig. (b) y Anexo 9 Fig. (b)). Esto sugiere que la baja humedad relativa es un precursor clave de los incendios forestales. También es un elemento concurrente. Por lo tanto, la HR puede ser más importante que la Temperatura, en la explicación de ocurrencias de incendios forestales.

## DISCUSIÓN

Este artículo describe las diferencias entre los patrones climáticos de los incendios forestales y de las olas de calor, en Victoria, Australia. Adicionalmente, se ha explorado la relación de estos eventos con ENOS. Nuestros resultados muestran que los incendios forestales y las olas de calor son fenómenos distintos. Esto se afirma para el período 1961-2011 utilizando estaciones

meteorológicas y datos de reanálisis 20CRV2 para el período de estudio.

## ENOS, incendios forestales y olas de calor

Hay un vínculo entre los eventos de “El Niño” y la actividad de incendios en Victoria. Los dos conjuntos de datos de incendios forestales coinciden en mostrar una mayor probabilidad de que ocurra un incendio forestal con “El Niño”. Las estadísticas básicas calculadas con los registros de incendios, utilizados en esta investigación muestran que, en un rango del 49% al 59% de los incendios forestales ocurrieron durante los eventos de “El Niño”. Además, la probabilidad de tener una temporada de incendios extremos coexistiendo con las condiciones de “El Niño” fue del 17.6%.

La moderada influencia de ENOS en la conducción de eventos de incendios forestales en Victoria ya ha sido documentada. Por ejemplo, esta influencia ha sido sugerida por Harris et al (2013). Sin embargo, ENOS tiene una mayor influencia sobre los incendios forestales en otras regiones de Australia. Esto fue corroborado por Nicholls y Lucas (2007) para Tasmania. Sadler et al. (2012) demostraron también una mayor influencia de “El Niño” sobre los incendios para el norte de Australia. Nuestros resultados son consistentes para las dos bases de datos utilizadas. Sin embargo, el corto período de análisis es una limitación. El desarrollo de una base de datos completa de incendios forestales para la primera mitad del siglo XX, en Victoria, sería una contribución científica interesante. Esto requeriría la investigación del historial de incendios y registros de paleoclimáticos. Desafortunadamente, este esfuerzo estaba fuera del alcance de esta investigación.

Por otro lado, usando las dos definiciones de olas de calor, no una relación significativa con alguna fase de ENOS. Utilizando la definición de Nairn y Fawcett (2013), es más probable que ocurran olas de calor durante condiciones neutras de ENOS (38.5% de los eventos). En contraste, los resultados utilizando los criterios de Pezza (2012) que vinculan los eventos de olas de calor con los eventos de “La Niña” (53.8 % de los eventos). Sin embargo, los resultados obtenidos al utilizar la definición de Nairn y Fawcett (2013) concuerdan más con los hallazgos de patrones espaciales. Este resultado concuerda con Boschat et al. (2014). Nuestros resultados

muestran que esto es independiente de la definición de olas de calor adoptada. En contraste, Parker y McBride et al (2012) argumentan que las olas de calor en Victoria están influenciadas por las fases de “La Niña” de ENOS.

### Patrones diarios de clima

Los diferentes patrones climáticos producen eventos de incendios forestales y olas de calor en Victoria, Australia. La característica clave del clima de incendios forestales extremos, en el sureste de Australia, son los frentes fríos McBride et al (2012). Por otro lado, un sistema de alta presión en el Mar de Tasmania es el patrón clave que produce las olas de calor en esta región (Pezza et al. (2012), Ashcroft et al (2014)). Su co-ocurrencia puede producir eventos catastróficos de incendios (Mills (2005), Nicholls y Lucas (2007)). Sin embargo, después de diferenciar los eventos de incendios forestales y de olas de calor, una climatología sinóptica muestra que prevalecen, sus diferencias entre estas dos clases de eventos.

Los incendios forestales y las olas de calor no suelen ocurrir simultáneamente en esta región. Los largos períodos de baja humedad relativa y el paso de frentes fríos contribuyen a la ocurrencia de incendios forestales. Estos patrones pueden tener una influencia mayor que el calor anómalo, a corto plazo, producido por las olas de calor. Estas condiciones sugieren que diferentes dinámicas producen estos dos tipos de eventos. La discusión de los mecanismos subyacentes se centrará en la influencia de los modos de variabilidad climática.

Discutir los patrones de altura geopotenciales puede ilustrar diferentes dinámicas en acción, durante incendios forestales y olas de calor. En general, las olas de calor muestran anomalías más fuertes que los incendios forestales. Los eventos de incendios forestales muestran fuertes anomalías positivas entre Australia y la Antártida. En contraste, los eventos de olas de calor presentan un tren de olas precursoras en el Océano Índico. Las anomalías de altura geopotencial, positivas en la Antártida, durante los días de clima de incendio, sugieren que la actividad frontal intensa asociada con los eventos de incendios extremos, está conectada a una fase negativa del Modo Anular del Sur. En contraste, los días de olas de calor muestran anomalías de presión más bajas de lo normal en

la misma región, que podrían estar vinculadas a la fase opuesta del Modo Anular del Sur (“SAM” por sus siglas en inglés). Un SAM positivo contribuye a las condiciones atmosféricas estables en el sureste de Australia, haciendo que las olas de calor sean más intensas. Estas diferencias indican que el Modo Anular del Sur y la fuerza de los vientos del oeste, sobre el Océano del Sur, podrían desempeñar un papel importante en la conducción de estos dos tipos de eventos en una escala de tiempo diaria.

### Patrones climáticos estacionales

Los incendios forestales y las olas de calor difieren en relación con la evolución del contenido de agua en la atmósfera, desde la primavera hasta el verano. El proceso de pre-condicionamiento que conduce a los incendios forestales es más intenso en comparación con su contraparte de las olas de calor. Victoria es una región seca de septiembre a febrero. Se ha asociado un Modo Dipolo del Océano Índico (“IOD” por sus siglas en Inglés) positivo con este proceso. Una leve área de anomalías negativas en Victoria está presente en primavera, durante las olas de calor. Sin embargo, es importante destacar cómo el resto de Australia se vuelve más húmedo, desde la primavera hasta el verano. Los eventos de “La Niña” podrían tener una mayor influencia sobre el resto de Australia durante estas temporadas. Sin embargo, los episodios de olas de calor en Victoria parecen estar más influenciados por procesos regionales que requieren investigaciones adicionales.

### CONCLUSIONES

Este documento ha establecido que los incendios forestales están asociados con condiciones de calor anómalas. Sin embargo, no están asociados con eventos extremos de olas de calor en Victoria, Australia. Los períodos prolongados de baja humedad relativa y frentes fríos contribuyen a la ocurrencia de incendios forestales. Esto puede tener una mayor influencia que el calor anómalo, a corto plazo, producido por las olas de calor.

El papel que el océano podría ejercer en la dinámica de los incendios forestales y las olas de calor es de particular importancia. La dinámica detrás de las diferencias entre estos fenómenos debería investigarse más, en esta dirección. Sadler et al. (2012) ya ha propuesto un expe-

rimiento para medir el impacto de aplicar perturbaciones a la temperatura superficial del Mar de Tasmania, en el período previo a las olas de calor. Un enfoque similar para los incendios forestales no se ha propuesto en la literatura.

Finalmente, existe el potencial para diseñar una herramienta de pronóstico de incendios forestales para Victoria Harris et al (2013). Las áreas anómalas que se encuentran en nuestros compuestos estacionales, podrían usarse para diseñar y probar un índice estacional de incendios forestales. Dicho índice podría contribuir a anticipar las temporadas extremas de incendios forestales en Victoria. Además, el análisis de los patrones climáticos propicios a la ignición por tormentas eléctricas podría también demostrar habilidades de pronóstico y es una alternativa para futuras investigaciones.

## AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia y Tecnología e Innovación SENESCYT, del Ecuador; esta institución brindó apoyo financiero al autor, durante sus estudios de doctorado. Se reconoce a "Risk Frontiers" por proporcionar una de las bases de datos de incendios forestales, utilizados en este estudio. A. Pezza quisiera reconocer el financiamiento del Consejo de Investigación Australiano ("ARC por sus siglas en inglés") a través del "Discovery Project" número 120103950.

## REFERENCIAS

ABS. (2016). VICTORIA. [Online]. Available: <http://www.abs.gov.au/ausstats/abs@.nsf/Latestproducts/3218.0MainFeatures252013-14?open=document&tabname=Summary&prodno=3218.0&issue=2013-14&num=&view=>. [Accessed: 26-Jan-2016].

Ashcroft, L., Karoly, D. J. and Gergis, J. (2014). Southeastern Australian climate variability 1860- 2009: a multivariate analysis, *Int. J. Climatol.*, vol. 34, no. 6, pp. 1928–1944.

Blanchi, R., Lucas, C., Leonard, J. and Finkele, K. (2010). Meteorological conditions and wildfire-related house loss in Australia, *Int. J. Wildl. Fire*, vol. 19, no. 7, pp. 914–926.

BoM, Bushfire Weather. (2009). [Online].

Available: <http://www.bom.gov.au/weather-services>. [Accessed: 04-Dec-2015].

Boschat, G., Pezza, A., Simmonds, I., Perkins, S., Cowan, T. and Purich, A. (2014). Large-scale and sub-regional connections in the leap up to summer heatwave and extreme rainfall events in eastern Australia, *Clim. Dyn.*, pp. 1–18.

Bryant, C. (2008). Understanding bushfire: trends in deliberate vegetation fires in Australia.

Coates, L. (1996). An Overview of Fatalities from some Natural Hazards in Australia, in *Conference on Natural Disaster Reduction 1996: Conference Proceedings*, p. 49.

Compo G. P. et al., (2011). The Twentieth Century Reanalysis Project," *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, vol. 137, no. 654, pp. 1–28.

Cowan, T., Marine, C., Perkins, S., Pezza, A., Boschat, G. and Sadler, K. (2014). More frequent, longer and hotter heat waves for Australia in the 21st century Alexandre Pezza, Ghyslaine Boschat, and Katherine Sadler, *J. Clim.*, vol. 27, no. 15, pp. 5851–5871.

Crompton, R. P., McAneney, K. J., Chen, K., Pielke, R. a. and Haynes, K. (2010). Influence of Location, Population, and Climate on Building Damage and Fatalities due to Australian Bushfire: 1925-2009, *Weather. Clim. Soc.*, vol. 2, no. 4, pp. 300–310.

Harris, S., Nicholls, N. and Tapper, N. (2013). Forecasting fire activity in Victoria, Australia, using antecedent climate variables and ENSO indices, *Int. J. Wildl. Fire*.

Haynes, K., Handmer, J., McAneney, J., Tibbits, A. and Coates, L. (2010). Australian bushfire fatalities 1900-2008: exploring trends in relation to the 'Prepare, stay and defend or leave early' policy, *Environ. Sci. Policy*, vol. 13, no. 3, pp.185–194.

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

Klingaman, N. P., Woolnough, S. J. and Syktus, J. (2013). On the drivers of inter-annual and

decadal rainfall variability in Queensland, Australia, *Int. J. Climatol.*, vol. 33, no. 10, pp. 2413–2430.

Lau N. C. and Nath, M. J. (2000). Impact of ENSO on the variability of the Asian-Australian Monsoons as simulated in GCM experiments, *J. Clim.*, vol. 13, no. 24, pp. 4287–4309.

Lucas, C., Hennessy, K., Mills, G. and Bathols, J. (2007). *Bushfire Weather in Southeast Australia: Recent Trends and Projected Climate Change Impacts* CSIRO Marine and Atmospheric Research September 2007 Consultancy Report prepared for The Climate Institute of.

Luke R. and McArthur, A. (1978). *Bushfires in Australia*. Canberra.

McAneney, J., Chen, K. and Pitman, A. (2009). 100-years of Australian bushfire property losses: is the risk significant and is it increasing? *J. Environ. Manage.*, vol. 90, no. 8, pp. 2819–22.

McBride, J. L., Mills, G. A. and Wain, A. G. (2009). *CAWCR Technical Report No. 071: Modelling and understanding high impact weather: extended abstracts of the third CAWCR Modelling Workshop, 30 november - 2 December 2009, Melbourne, Australia*.

Mills, G. A. (2005). A re-examination of the synoptic and mesoscale meteorology of Ash Wednesday 1983, *Aust. Meteorol. Mag.*, vol. 54, pp. 35–55.

Murray R. J. and Simmonds, I. (1991). A numerical scheme for tracking cyclones, *Aust. Meteorol. Mag.*, vol. 39, no. 3.

Nairn J. and Fawcett, R. (2013). Defining heatwaves: heatwave defined as a heat- impact event servicing all community and business sectors in Australia, no. 060.

Nicholls N. and Lucas, C. (2007). Interannual variations of area burnt in Tasmanian bushfires: Relationships with climate and predictability, *Int. J. Wildl. Fire*, vol. 16, no. 5, pp. 540–546.

Perkins, S. E., Alexander, L. V. and Nairn, J. R. (2012). Increasing frequency, intensity and duration of observed global heatwaves and warm spells, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 39, no. 20, p. n/a-n/a.

Pezza, A. B., Rensch, P. and Cai, W. (2012). Severe heat waves in Southern Australia: synoptic climatology and large scale connections, *Clim. Dyn.*, vol. 38, no. 1–2, pp. 209–224.

Power, S., Casey, T., Folland, C., Colman, A. and Mehta, V. (1999). Inter-decadal modulation of the impact of ENSO on Australia, *Clim. Dyn.*, vol. 15, pp. 319–324.

Rayner N. et al., (2003). Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century," *J. Geophys. Res.*, vol. 108, no. D14, p. 4407.

Risbey, J. S., Pook, M. J., McIntosh, P. C., Wheeler, M. C. and Hendon, H. H. (2009). On the Remote Drivers of Rainfall Variability in Australia, *Mon. Weather Rev.*, vol. 137, no. 10, pp. 3233–3253.

Sadler, K., Pezza, A. and Cai, W. (2012). Cool sea surface temperatures in the Tasman Sea associated with blocking and heat waves, *Bull. Aust. Meteorol. Oceanogr. Soc.*, vol. 25, pp. 80–83.

Sherbon, E. (1975). *Physiography of Victoria*. WHITCOMBE & TOMBS PTY. LTD.

Trewin, B. (2013). A daily homogenized temperature data set for Australia, *Int. J. Climatol.*, vol. 33, no. 6, pp. 1510–1529.

Verdon, D., Kiem, A. and Franks, S. (2004). Multi-decadal variability of forest fire risk - eastern Australia, pp. 165–171.

White, C. J., Hudson, D. and Alves, O. (2013). ENSO, the IOD and the intraseasonal prediction of heat extremes across Australia using POAMA-2, *Clim. Dyn.*, pp. 1–20.

Williams A. A. J. and Karoly, D. J. (1999). Extreme fire weather in Australia and the impact of the El Nino- Southern Oscillation, *Aust. Meteorol. Mag.*, vol. 48, no. 1, pp. 15–22.

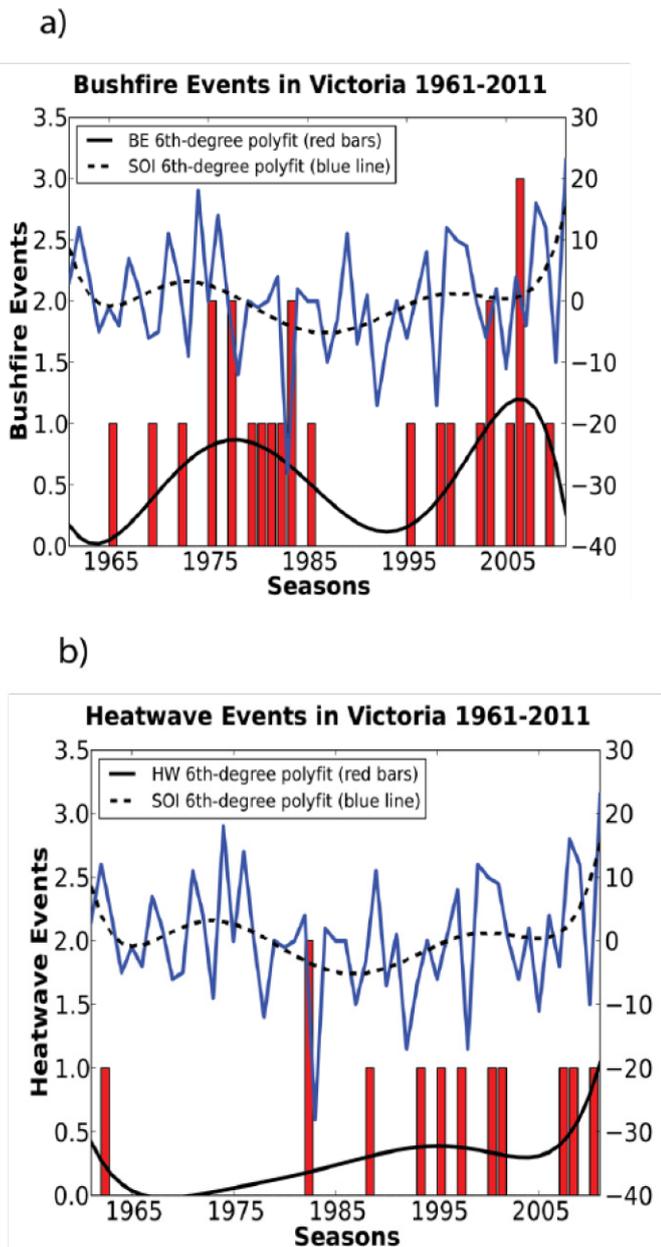
Williams, R. J., Gill, A. M. and Bradstock, R. A. (2012). *Flammable Australia: Fire Regimes, Biodiversitt and Ecosystems in a Changing World*. CSIRO Publishing.

**ANEXO 1. SERIES DE TIEMPO DE INCENDIOS FORESTALES, OLAS DE CALOR Y EL SOUTHERN OSCILLATION INDEX (SOI) en Victoria, PERIODO 1961-2011.**

base de datos del “Department of Environment, Land, Water and Planning (DELWP)”. Las olas de calor se definieron como el percentil 55 de los eventos computados utilizando la definición de ola de calor de Nairn y Ashcroft.

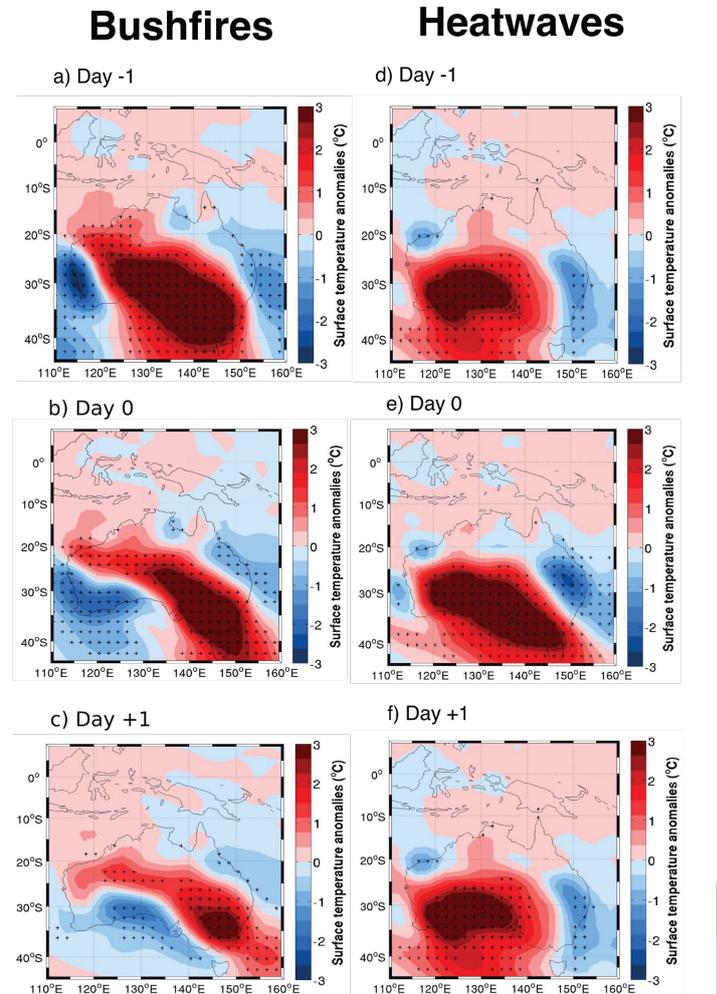
**ANEXO 2. ANOMALIAS DE LA TEMPERATURA DEL AIRE**

**Air temperature anomalies (daily)**



El panel a) muestra 27 eventos de incendios forestales y b) 13 olas de calor (barras rojas que representan eventos para la temporada diciembre-enero-febrero). Las series temporales de SOI se presentan como el promedio de la temporada diciembre-enero-febrero (líneas azules). Los valores mensuales de SOI se tomaron de la página web del “Bureau of Meteorology”.

Las series temporales de incendios forestales, olas de calor y SOI se ajustaron a una curva polinomial de sexto orden (líneas negras). Los coeficientes R de los eventos de incendios forestales y de olas de calor con el SOI son -0.16 y 0.22 respectivamente. Los datos de eventos de incendios forestales se obtuvieron de la

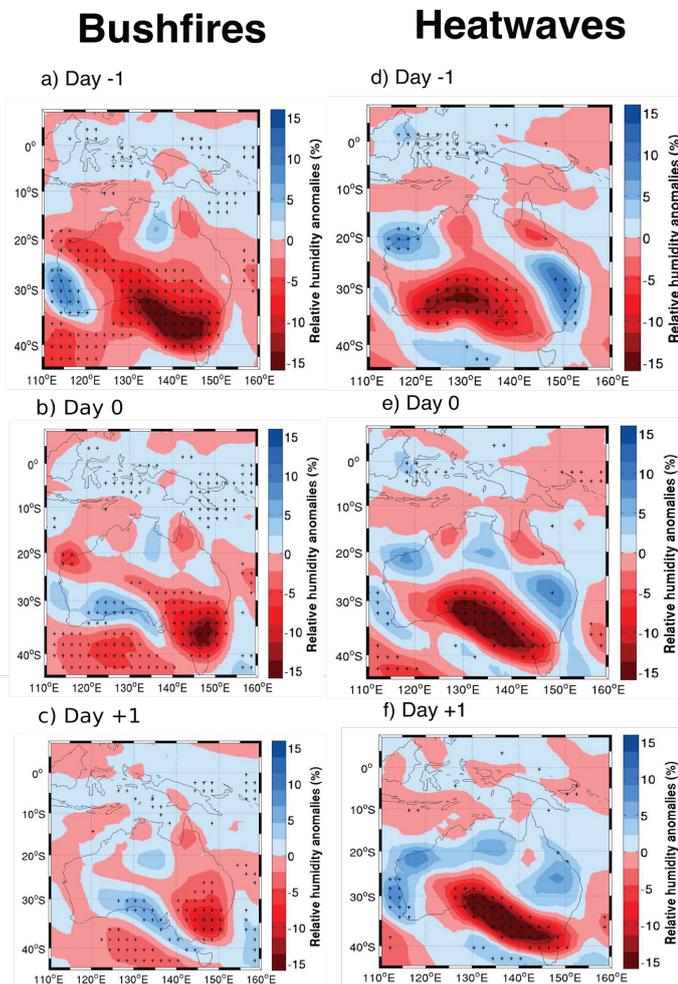


Anomalías diarias de la temperatura del aire a nivel de 1000 hPa durante eventos extremos de incendios forestales (“Bushfires”) y olas de calor (“Heatwaves”) en Victoria, Australia, durante el período 1961-2010. Los paneles a), b), c), d), e) y f) muestran anomalías para el día -1 al día +1 de 27 eventos de incendios forestales y 13 de ondas de calor, respectivamente. Los registros de incendios forestales provienen del “Department of Environment, Land, Water and Planning (DELWP)”. Las olas de calor se calcularon utilizando el percentil 55 de los valores definidos. Datos climáticos fueron obtenidos del “Twenty-first Century Reanalysis Project” (20CRV2). Las áreas marcadas con “+” muestran anomalías estadísticamente significativas en el nivel del 5%. Los frentes fríos y el exceso de calor per-

sistente caracterizan el clima extremo de fuego y el calor de las olas de calor respectivamente.

### ANEXO 3. ANOMALÍAS DE HUMEDAD RELATIVA

#### Relative humidity anomalies (daily)

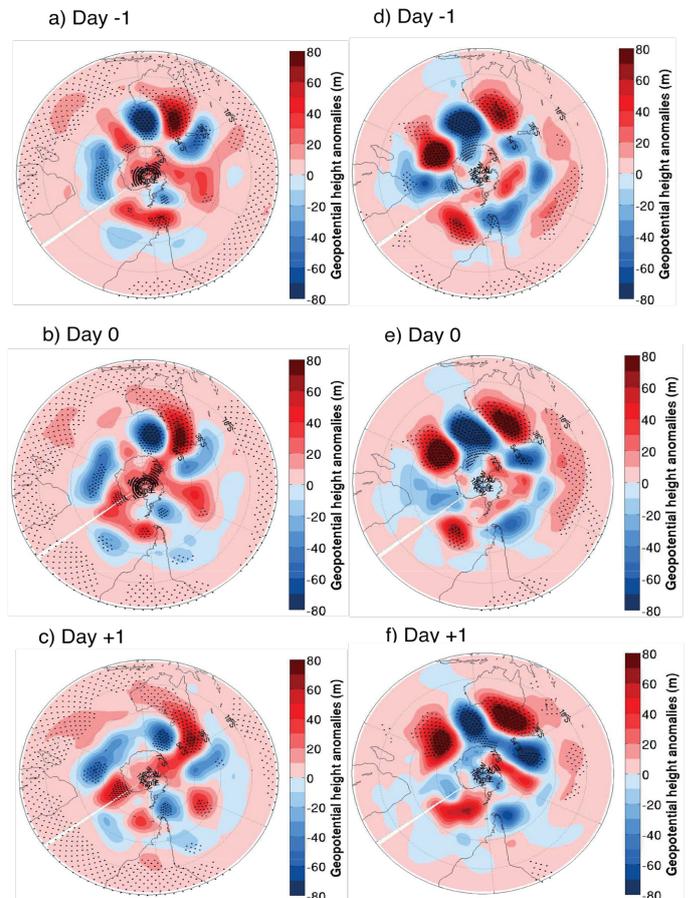


### ANEXO 4. ANOMOLÍAS DE ALTURA GEOPOTENCIAL

#### Geopotential height anomalies (daily)

#### Bushfires

#### Heatwaves

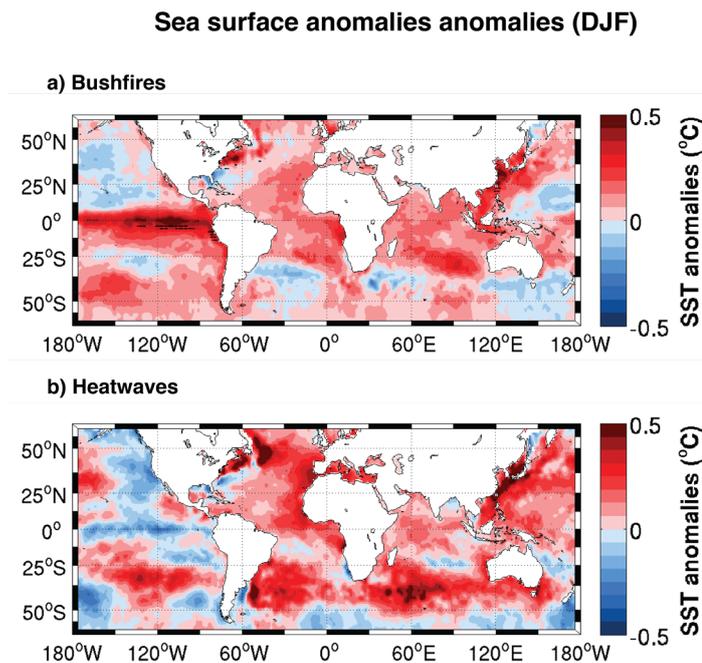


Anomalías diarias de la altura geopotencial a nivel de 1000 hPa durante eventos extremos de incendios forestales (“Bushfires”) y olas de calor (“Heatwaves”) en Victoria, Australia, durante el período 1961-2010. Los paneles a), b), c), d), e) y f) muestran anomalías para el día -1 al día +1 de 27 eventos de incendio forestal y 13 de onda de calor, respectivamente. Los registros de incendios forestales provienen del “Department of Environment, Land, Water and Planning (DELWP)”. Las olas de calor se calcularon utilizando el percentil 55 de los valores definidos. Los datos climáticos fueron obtenidos del Proyecto de Reanálisis del Siglo XX (20CRV2). Las áreas marcadas con “+” muestran anomalías estadísticamente significativas en el nivel del 5%. Los incendios forestales muestran una intensa actividad frontal, mientras que las olas de calor muestran anomalías persistentes.

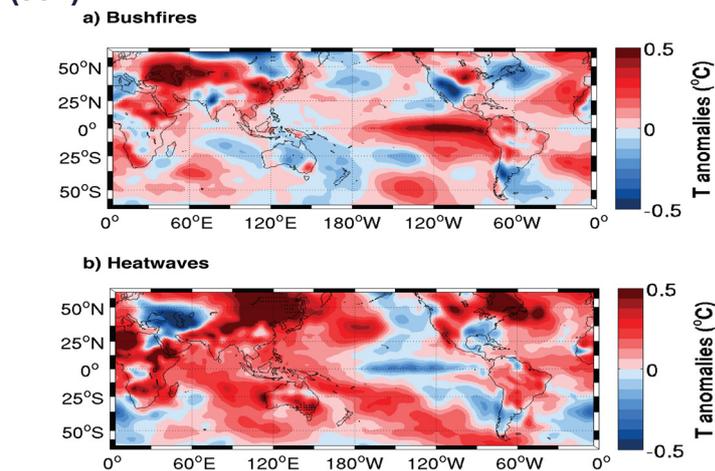
Anomalías diarias de humedad relativa a nivel de 1000 hPa durante eventos extremos de incendios forestales y olas de calor en Victoria, Australia, durante el período 1961-2010. Los paneles a), b), c), d), e) y f) muestran anomalías para el día -1 al día +1 de 27 eventos de incendio forestal 8 (“Bushfire”) y 13 de ondas de calor (“heatwaves”), respectivamente. Las olas de calor se calcularon utilizando el percentil 55 de los valores definidos con los criterios de Nairn et al. (2009). Los datos climáticos fueron obtenidos del Proyecto de Reanálisis del Siglo XX (20CRV2). Las áreas marcadas con “+” muestran anomalías estadísticamente significativas al nivel del 5%. El sur de Australia es seco durante los incendios forestales en Victoria, mientras que el continente muestra intensos contrastes seco-húmedos vinculados a las olas de calor en esta región.

## ANEXO 5. ANOMALÍAS DE TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR

## ANEXO 6. ANOMALÍAS DE LA TEMPERATURA DEL AIRE (SON)

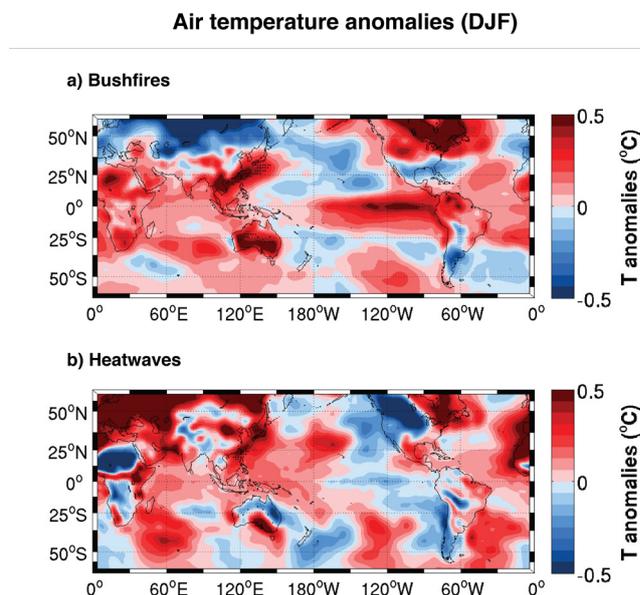


Anomalías en la temperatura de la superficie del mar (TSM) compuestas de a) 18 incendios forestales (“Bushfires”) y b) 12 temporadas de olas de calor (“heatwaves”) ocurridas en Victoria, durante la temporada diciembre-enero-febrero (DJF) para el período 1961-2011. Los registros de incendios forestales provienen del “Department of Environment, Land, Water and Planning (DELWP)”. Las olas de calor se calcularon utilizando el percentil 55 de los valores definidos. Los datos climáticos fueron obtenidos a partir del conjunto de datos de datos de la temperatura de la superficie del mar y el hielo marino del Met Office Hadley Centre (HadISST1). Las áreas sombreadas muestran anomalías estadísticamente significativas al nivel del 5%. Las temporadas de incendios extremos en Victoria muestran un claro patrón de “El Niño”, mientras que las olas de calor muestran una condición neutral.



Composición estacional para anomalías de la temperatura del aire (T) (a nivel de 1000 hPa) para a) 18 incendios forestales (“Bushfires”) y b) 12 temporadas de olas de calor (“Heatwaves”) ocurrieron en Victoria durante la temporada de septiembre-octubre-noviembre (SON) para el período 1961-2011. Los registros de incendios forestales provienen del “Department of Environment, Land, Water and Planning (DELWP)”. Las olas de calor se calcularon utilizando el percentil 55 de los valores definidos. Los datos climáticos fueron obtenidos del Proyecto de Reanálisis del Siglo XX (20CRV2). Las áreas sombreadas muestran anomalías estadísticamente significativas al nivel del 5%. Las temporadas de incendios extremos en Victoria muestran un patrón similar a “El Niño”, mientras que las olas de calor muestran una condición neutral

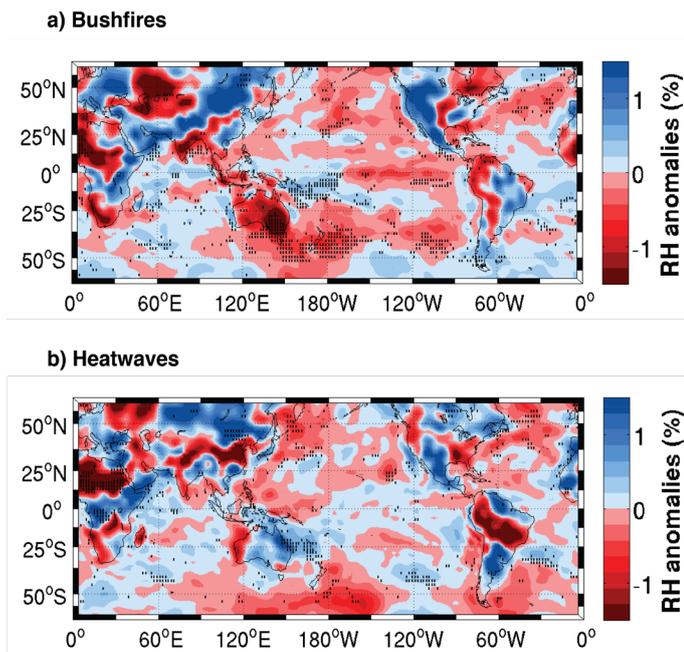
## ANEXO 7. ANOMALÍAS DE LA TEMPERATURA DEL AIRE (DJF)



Composición estacional para anomalías de la temperatura del aire (T) a (nivel de 1000 hPa) para a) 18 incendios forestales (“Bushfires”) y b) 12 temporadas de olas de calor (“heatwaves”) ocurrieron en Victoria durante la temporada diciembre-enero-febrero (DEF) de 1961-2011. Los registros de incendios forestales provienen del “Department of Environment, Land, Water and Planning (DELWP)”. Las olas de calor se calcularon utilizando el percentil 55 de los valores definidos. Los datos climáticos fueron obtenidos del Proyecto de Reanálisis del Siglo XX (20CRV2). Las áreas sombreadas muestran anomalías estadísticamente significativas al nivel del 5%. Australia es un continente “caliente” durante las temporadas de incendios extremos en Victoria, mientras que las olas de calor muestran contrastes fríos y cálidos.

**ANEXO 8. ANAMOLÍAS DE HUMEDAD RELATIVA (SON)**

**Relative humidity anomalies (SON)**

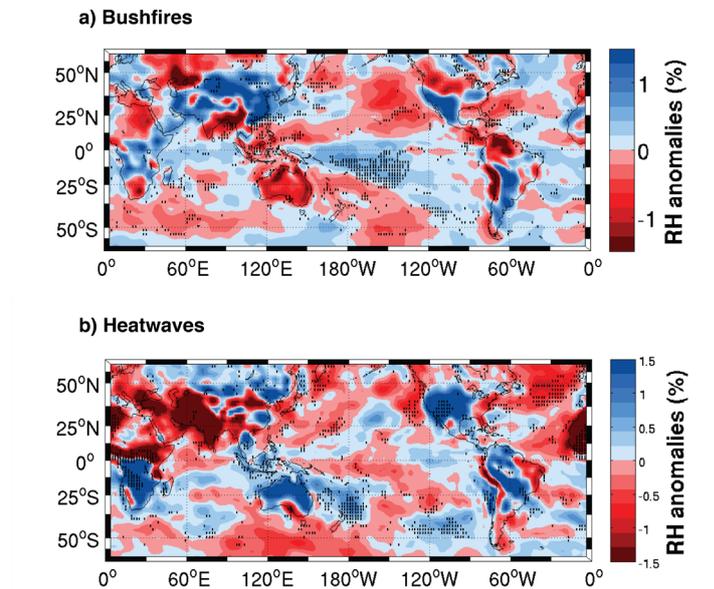


Composición estacional para anomalías de humedad relativa (HR) (a nivel de 1000 hPa) para a) 18 incendios forestales (“Bushfires”) y b) 12 temporadas de olas de calor (“Heatwaves”) ocurridas en Victoria durante la temporada de septiembre-octubre-noviembre (SON) desde 1961-2011. Los registros de incendios forestales provienen del “Department of Environment, Land, Water and Planning (DELWP)”. Las olas de calor se calcularon utilizando el percentil 55 de los valores definidos. Los datos climáticos fueron obtenidos del Proyecto de Reanálisis del Siglo XX (20CRV2). Las áreas sombreadas

muestran anomalías estadísticamente significativas al nivel del 5%. Australia está seca durante la temporada de incendios antecedente en Victoria, mientras que las condiciones de humedad prevalecen en el continente vinculado a las olas de calor en esta región.

**ANEXO 9. ANAMOLÍAS DE HUMEDAD RELATIVA (DJF)**

**Relative humidity anomalies (DJF)**



Composición estacional para anomalías de humedad relativa (HR) (a nivel de 1000 hPa) para a) 18 incendios forestales (“Bushfires”) y b) 12 temporadas de olas de calor (“Heatwaves”) ocurridas en Victoria durante la temporada de diciembre-enero-febrero desde 1961-2011. Los registros de incendios forestales provienen del “Department of Environment, Land, Water and Planning (DELWP)”. Las olas de calor se calcularon utilizando el percentil 55 de los valores definidos. Los datos climáticos fueron obtenidos del Proyecto de Reanálisis del Siglo XX (20CRV2). Las áreas sombreadas muestran anomalías estadísticamente significativas al nivel del 5%. Durante la temporada de incendios concurrente en Victoria Australia es seco. En contraste, durante las olas de calor, la mayor parte del continente está húmedo (excepto el sur de Australia).

# DEFINICIÓN DE LA UTILIDAD DEL MÉTODO DE ARRHENIUS EN EL ESTUDIO DE ESTABILIDAD TÉRMICA DE COMPUESTOS FENÓLICOS EN URERA LACINIATA GOUDOT EX WEDD

Definition of the utility of the arrhenius method in the study of Thermal stability of phenolic compounds in urera Laciniata goudot ex wedd

**Suárez Heredia, Martha Azucena**  
Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Central del Ecuador. Ecuador  
masuarez@uce.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0002-1573-7430>

**Andrade Granja, Consuelo Dolores**  
Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Central del Ecuador. Ecuador  
cdandrade@uce.edu.ec

**Villacís Franco, Jhonnathan Gonzalo**  
Actividad Privada. Ecuador  
jgvillacis@hotmail.com

## RESUMEN

La degradación térmica de los principios activos naturales es uno de los temas más relevantes en la estabilidad de fitofármacos, por tal motivo es importante determinar: si una formulación farmacéutica se ajusta al comportamiento de los fármacos de síntesis y, si el método de determinación del tiempo de vida útil es el adecuado. Con el objetivo de establecer si, los criterios de zona climática pueden ser aplicables al estudio de estabilidad, mediante el uso de la calorimetría diferencial de barrido, se estandarizó las condiciones experimentales para la determinación de la temperatura a la cual se degrada el extracto etanólico total de *Urera laciniata*. Además, bajo estas condiciones, se definió la influencia de los excipientes sobre la variación de la temperatura de degradación en una forma farmacéutica sólida. Se encontró que, el extracto etanólico seco tiene una temperatura de degradación promedio de  $133,17 \pm 0,84^{\circ}\text{C}$  y que los excipientes elevan ésta temperatura en un 54,87%. Para verificar la aplicabilidad de la ecuación de Arrhenius en la evaluación del tiempo de vida útil del fitofármaco, se realizó un estudio de estabilidad a  $40^{\circ}\text{C}$  y 75% de humedad. Mediante la cuantificación de fenoles totales en el extracto etanólico seco y en los comprimidos, se estableció que no existen variaciones significativas que permitan el cálculo de la constante cinética, haciendo inaplicable el método de Arrhenius y el criterio de evaluación mediante zonas climáticas, para la determinación del tiempo de vida media del fitomedicamento.

**Palabras clave:** urera laciniata; calorimetría diferencial de barrido; extractos vegetales; método de arrhenius.

## ABSTRACT

*The thermal degradation of the natural active principles is one of the most relevant topics in the stability of phytopharmaceuticals. For this reason, it is important to determine if a pharmaceutical formulation is adjusted to the behavior of the synthetic drugs and if the method of determining the time of shelf life is adequate. In order to establish whether the climatic zone criteria can be applied to the stability study by using differential scanning calorimetry, the experimental condition for the determination of the temperature at which the total ethanolic extract of *Urera laciniata* degrades was standardized. Furthermore, under this condition, the influence of the excipients on the variation of the degradation temperature in a solid pharmaceutical form was defined. It was found that the dry ethanolic extract has an average degradation temperature of  $133.17 \pm 0.84^{\circ}\text{C}$  and the excipients used raise this temperature*

by 54.87%. To verify the applicability of the Arrhenius equation in the evaluation of the shelf-life of the phytodrug, a stability study was carried out at 40 °C and 75% humidity. Through the quantification of total phenols in the dry ethanolic extract and in the pharmaceutical tablets, it was established that there are no significant variations that allow the calculation of the kinetic constant making the Arrhenius method inapplicable for the determination of the half-life time of the phytomedicine, and therefore, evaluation criteria using climatic zones cannot be used either.

**Keywords:** *urera laciniata*; differential scanning calorimetry; vegetable extracts; arrhenius method

## INTRODUCCIÓN

Los estudios de estabilidad permiten establecer el período en el cual el medicamento se encuentra en condiciones óptimas para su consumo (ONG Human Info, 2017). Constituyen una serie de pruebas concebidas para obtener información sobre un producto farmacéutico, con el objetivo de definir su tiempo de conservación y su período de vida útil en determinadas condiciones de embalaje o almacenamiento. La estabilidad de los productos farmacéuticos depende de factores ambientales tales como: la temperatura, la humedad y la luz y, de factores relacionados con el producto: las propiedades físico-químicas de la sustancia activa, de los excipientes, la forma farmacéutica, su composición, el proceso de fabricación, la naturaleza del sistema de cierre del envase y las propiedades de los materiales del envase (Organización Mundial de la Salud, 2015).

utilizados los fármacos; para ello se ha dividido al mundo en cuatro zonas climáticas (World Health Organization, 2018). Considerando que, de acuerdo a esta división, el Ecuador se encuentra en la zona climática IV, la temperatura y la humedad recomendada para los análisis de estabilidad acelerada en productos farmacéuticos con principios activos relativamente estables es  $40\pm 1^{\circ}\text{C}$  y  $75\pm 5\%$ , respectivamente (Organización Mundial de la Salud, 2015) (World Health Organization, 2018). Estos criterios se aplican también a los estudios de estabilidad de productos naturales de usos medicinal –fitofármacos–. Considerando que los fitofármacos se componen de extractos de plantas o plantas completas, donde el efecto terapéutico lo generan grupos de compuestos que actúan sinérgicamente y que no tienen un comportamiento homogéneo, los estudios de estabilidad deberían considerar estas características.

El Consejo Internacional para la Armonización de Requisitos Técnicos para productos farmacéuticos (ICH), establece directrices estandarizadas para realizar pruebas que aseguren la calidad, eficacia e inocuidad de productos farmacéuticos, una de esas pruebas son los estudios de estabilidad (ICH, 2017). En Ecuador, el Reglamento para Control de Productos Naturales de Uso Medicinal, vigente desde octubre de 2006, en el Anexo 7 (Ministerio de Salud Pública, 2006) determina que, para obtener el registro sanitario de productos medicinales naturales es necesario: realizar pruebas de estabilidad natural y acelerada, según los criterios de la Organización Mundial de la Salud, OMS.

Los estudios de estabilidad se realizan a partir de la definición del mercado de destino y de las condiciones climáticas, donde van a ser

La industria farmacéutica herbal, se ha incrementado, a nivel mundial, se estima que la producción anual es de 35 mil millones de dólares (Buitron, 1999). Los fitofármacos, al ser productos que provienen de partes de plantas o extractos de estas, están sujetos a factores que pueden inducir un cambio en el producto, ya sea durante el proceso de producción o en el almacenamiento. Los cambios de temperatura, la humedad y la luz pueden ocasionar, principalmente: hidrólisis, oxidación, racemización e isomerización, con efectos adversos en el fármaco. Los principales problemas ocasionados son: la pérdida en la actividad terapéutica, el cambio de concentración del componente activo, la alteración de la biodisponibilidad y la formación de productos tóxicos (Kumar Sachan & Kumar, 2015), es importante, por tanto, que este tipo de productos estén sujetos a control. La degrada-

ción térmica de los principios activos naturales es uno de los temas más relevantes en la estabilidad de fitofármacos, por tal motivo es importante determinar si una formulación farmacéutica se ajusta al comportamiento de los fármacos de síntesis y si el método de determinación del tiempo de vida útil es el adecuado

La calorimetría diferencial de barrido (DSC) permite, entre otros análisis, definir las temperaturas de descomposición y la estabilidad térmica de: sólidos compactos, plásticos, gomas, resinas, otros materiales orgánicos, cerámicos, vidrios, mezclas complejas, polvos, muestras viscosas, líquidos, etc. (Zambrano, et al., 2017) (Bajaj, Singla, & Sakhuja, 2012), entre los cuales se encuentran las formulaciones farmacéuticas de origen natural. Por sus características, esta metodología utiliza pequeñas cantidades de muestra y puede proporcionar información de la temperatura a la que se degradan los componentes de las muestras vegetales y ser un aporte para los estudios de estabilidad, con datos certeros, que no dependan exclusivamente de las condiciones de una zona climática definida.

Para el estudio se seleccionó *Urera laciniata* Goudot ex Wedd o también llamada ortiga, que es conocida desde la antigüedad por los habitantes de la región amazónica del Ecuador y su información etnobotánica refiere usos contra: enfermedades reumáticas, malaria, fiebre y dolores musculares (Luziatelli, Sørensen, Theilade, & Mølgaard, 2010), también se reportan usos como analgésico (Ríos, Koziol, Borgtoft, & Granda, 2007). Las especies de esta familia -Urticaceae- comparten los mismos principios activos: el ácido fórmico y los flavonoides, responsables de las propiedades antiinflamatorias que se les atribuyen (Olivo & Pazmiño, 2013). La literatura revisada no reporta la existencia de datos de estabilidad de extractos y/o formas farmacéuticas, elaboradas con esta especie. Adicionalmente, *Urera laciniata* posee un grupo de principios activos –los compuestos fenólicos– que tienen una amplia actividad terapéutica y, estudiados podrían configurar una metodología utilizable en otras variedades vegetales que los contengan.

## METODOLOGÍA

Se colectó *Urera laciniata* Goudot ex Wedd, en el Cantón Archidona – Provincia de Napo– la identificación botánica fue realizada en el Herbario Q de la Universidad Central del Ecuador.

Las hojas de la planta fueron lavadas con agua destilada tipo III y desinfectadas con permanganato de potasio 0,0001%. El material vegetal se secó en una estufa por convección forzada a  $40 \pm 1^\circ\text{C}$ , hasta humedad relativa inferior al 10%. La muestra se sometió a molienda en un molino manual y tamizaje en un Tamiz Humboldt # 30. El material vegetal se desengrasó con hexano analítico. Los compuestos fenólicos se extrajeron por percolación a 20 gotas/min con etanol analítico 96% (Suárez & Narváez, 2016).

Con el extracto total se elaboraron comprimidos, mediante granulación húmeda (Suárez & Mora, 2016), utilizando como excipientes una mezcla de 85,52% de lactosa, 0,66% de aerosil, 0,66% de estearato de magnesio, 1,32% de almidón y 11,84% de extracto etanólico seco. La composición utilizó la fórmula unitaria desarrollada experimentalmente, en los laboratorios FARCOL de la ciudad de Quito.

Se identificaron cualitativamente los compuestos fenólicos, tanto en el extracto como en los comprimidos, por reacción con cloruro férrico 5%. Se determinó la presencia de ácido cafeico por cromatografía de capa fina de alto rendimiento (HPTLC), utilizando un estándar analítico de ácido cafeico Sigma-Aldrich, CAS: 331-39-5. El desarrollo cromatográfico utilizó como fase estacionaria placas Macherev-Nagel, nanosil C18-100/UV254 y como fase móvil tolueno: hexano:metanol (17,5:17,5:5,0). La cuantificación de fenoles totales expresados como ácido cafeico, se realizó espectrofotométricamente por el método de Folin-Ciocalteu (Espinosa, Garzón, & Medina, 2016), en un equipo Varian BioCary50.

La definición de las condiciones para el corrido calorimétrico se realizó con un diseño experimental 2<sup>2</sup>, aleatorizado en el programa JMP Statical Discovery® a un 95% de confianza. La variable respuesta analizada fue la temperatura degradación de la mezcla de compuestos (Ti).

Los factores y niveles de estudio se presentan en la tabla 1.

**Tabla 1. Factores y niveles de estudio para extracto etanólico y comprimidos de *Urera laciniata* Goudot ex Wedd**

| Factores                             | Código /unidades | Niveles* |     |
|--------------------------------------|------------------|----------|-----|
|                                      |                  | - 1      | + 1 |
| Velocidad de la rampa de temperatura | RT (°C/min)      | 10       | 20  |
| Peso de muestra                      | PM (mg)          | 0,5      | 1,5 |

\* Los signos positivo y negativo corresponden a los niveles superior e inferior de los factores estudiados.

Se corrieron termogramas del extracto y los comprimidos para definir su comportamiento térmico, en el día cero y día sesenta del análisis de estabilidad de fenoles, en un Calorímetro de Barrido Diferencial, DSC Q 2000, calibrado con Indio para un rango de temperatura de 0 – 300°C, y con un flujo de nitrógeno de 25 mL/min. Se utilizaron cápsulas de aluminio selladas tipo A.

Se realizaron pruebas de estabilidad para los comprimidos, en sesenta días de almacenamiento a 40°C y 75% de humedad relativa, se analizó la concentración de fenoles totales.

## DISCUSIÓN

En la muestra seca de *Urera laciniata* se obtuvo una concentración, en peso, de extracto etanólico total correspondiente a  $9,88 \pm 0,86\%$ . Se identificó cualitativamente la presencia de compuestos fenólicos y

la separación de ácido cafeico a un  $R_f$  de 0,88 coincidente con el estándar; en las condiciones experimentales definidas. La cuantificación de fenoles totales, expresada como ácido cafeico, dio un resultado de  $145,43 \pm 7,46$  mg de fenoles/g extracto seco y de  $1430,93 \pm 88,03$  mg fenoles totales/100g muestra seca. A partir del extracto etanólico se elaboraron comprimidos, mediante granulación húmeda, con un peso promedio de  $443,00 \pm 3,18$  mg y una concentración de fenoles totales de 7,75 mg/tableta que, mediante pruebas preliminares, se definió, se encuentra en el límite de detección del espectrofotómetro utilizado.

La definición de las condiciones de corrido de los termogramas, se realizó mediante el aná-

lisis de los datos de temperatura de degradación promedio, para el extracto etanólico y los comprimidos que se presentan en la tabla 2.

**Tabla 2. Temperaturas de degradación promedio en el estudio térmico de extracto etanólico y comprimidos de *Urera laciniata* Goudot ex Wedd**

| Nº | VARIABLES  |         | EXTRACTO<br>T°C | COMPRIMIDOS<br>T°C |
|----|------------|---------|-----------------|--------------------|
|    | RT(°C/min) | PM (mg) |                 |                    |
| 1  | -          | -       | 132,91          | 202,94             |
| 2  | +          | -       | 132,75          | 204,15             |
| 3  | -          | +       | 134,41          | 208,79             |
| 4  | +          | +       | 132,60          | 207,67             |

El cálculo de la magnitud de efectos ocasionados por los factores de estudio: velocidad de la rampa de temperatura (RT) y peso de muestra (PM) sobre la variable respuesta, temperatura de degradación; se realizó mediante el algoritmo de Yates. Los valores de la magnitud de los efectos, así como su significancia estadística se muestran en la tabla 3, para el extracto etanólico y, en la tabla 4 para los comprimidos.

**Tabla 3. Magnitud y significancia estadística de los efectos de la variación de la velocidad de la rampa de temperatura (RT) y el peso de muestra (PM) sobre la temperatura de degradación de extracto etanólico de *Urera laciniata* Goudot ex Wedd**

| VARIABLES   |         | EXTRACTO     |                |                  |
|-------------|---------|--------------|----------------|------------------|
| RT (°C/min) | PM (mg) | VALOR EFECTO | IDENTIFICACION | SIGNIFICANCIA    |
| -           | -       | 132,17       | Media          |                  |
| +           | -       | -0,49        | RT             | no significativo |
| -           | +       | 0,17         | PM             | no significativo |
| +           | +       | -0,33        | (RT)(PM)       | no significativo |

**Tabla 4. Magnitud y significancia estadística de los efectos de la variación de la velocidad de la rampa de temperatura (RT) y el peso de muestra (PM) sobre la temperatura de degradación de comprimidos, en base de *Urera laciniata* Goudot ex Wedd**

| VARIABLES   |         | COMPRIMIDOS  |                |                  |
|-------------|---------|--------------|----------------|------------------|
| RT (°C/min) | PM (mg) | VALOR EFECTO | IDENTIFICACION | SIGNIFICANCIA    |
| -           | -       | 205,89       | Media          |                  |
| +           | -       | 0,025        | RT             | no significativo |
| -           | +       | 4,705        | PM             | no significativo |
| +           | +       | -1,14        | (RT)(PM)       | no significativo |

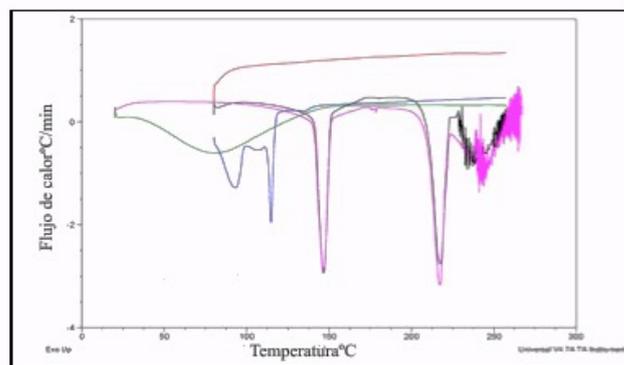
De acuerdo con los datos estadísticos presentados en las tablas 3 y 4, el incremento de la velocidad de la rampa de temperatura (RT), utilizada en el calorímetro y el peso de muestra (PM), utilizada para el desarrollo de los termogramas, en extracto etanólico seco y comprimidos elaborados con *Urera laciniata* Goudot ex Wedd, son estadísticamente no significativos, por tanto no tienen incidencia en el estudio. Para la elaboración de los termogramas se seleccionaron los niveles más bajos de los factores de estudio, que implican menor consumo de recursos y estos son: 10°C/min y 0,5 mg de muestra.

La temperatura de degradación media para el extracto etanólico es de  $132,17 \pm 0,84^{\circ}\text{C}$  y para el caso de los comprimidos es  $205,89 \pm 2,79^{\circ}\text{C}$ . Los excipientes utilizados estabilizan al extracto etanólico incrementando su temperatura de degradación en  $72,94^{\circ}\text{C}$ . Se observa que existe un efecto térmico de estabilidad cuando se añaden los excipientes en el extracto, ya que la temperatura de degradación de la forma farmacéutica se encuentra desplazada hacia valores más altos, tanto en el caso del extracto (Tabla 4), como en el de los excipientes (Tabla 5). Esta estabilización podría deberse a las fuerzas de interacción generadas entre los grupos polares de los excipientes, especialmente la lactosa, con los grupos OH de los compuestos fenólicos, en forma de glicósidos de la especie vegetal analizada (Olivo & Pazmiño, 2013), (Pineilli, Ieri, Vignolini, Bacci, Baronti, & Romani, 2008).

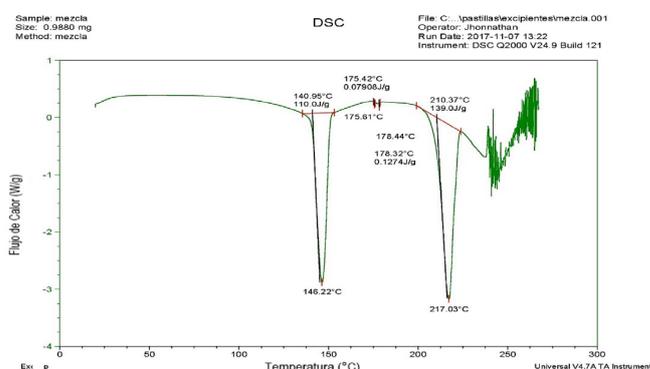
**Tabla 5. Resultados de degradación de excipientes en el estudio térmico de comprimidos, en base de *Urera laciniata* Goudot ex Wedd**

| EXCIPIENTE            | TEMPERATURA DEGRADACIÓN °C             |
|-----------------------|----------------------------------------|
| Lactosa               | 146,69                                 |
| Almidón               | 82,16                                  |
| Estearato de magnesio | 93,35                                  |
| Aerosil               | No presenta pico en el rango analizado |

Lo anteriormente expuesto se verifica, analizando los termogramas presentados en las figuras 1 y 2. La mezcla de excipientes en las proporciones utilizadas en la forma farmacéutica presenta dos picos definidos en  $146^{\circ}\text{C}$  y  $217^{\circ}\text{C}$ , que no son coincidentes con los picos obtenidos para los comprimidos y el extracto etanólico



**Figura 1. Termogramas de excipientes. Aerosil (rojo), almidón (verde), estearato de magnesio (azul), mezcla (rosado)**



**Figura 2. Termograma de la mezcla de excipientes utilizada en la formulación: aerosil, estearato de magnesio, almidón y lactosa.**

De acuerdo con los resultados obtenidos que muestran que la degradación térmica del extracto y de los comprimidos, se da a temperaturas superiores a las utilizadas en las condiciones a las cuales se realizan las pruebas de estabilidad, éstas no serían aplicables para el caso de los comprimidos de esta especie vegetal. Para verificar la aplicabilidad de las condiciones sugeridas para las pruebas de restabilidad por la OMS (2015), se tomaron como referencia los parámetros dados para la zona climática IV (Organización Mundial de la Salud, 2015).

Los resultados de los termogramas que indican las temperaturas de degradación para los comprimidos, al cabo de sesenta días de almacenamiento a  $40^{\circ}\text{C}$ , a una humedad relativa de 75% y en diferentes tipos de envase, se presentan en la tabla 6. Adicionalmente, se verificó la influencia del tipo de envase en la estabilidad térmica.

**Tabla 6. Temperaturas de degradación de comprimidos en 60 días de almacenamiento a 40°C y humedad relativa de 75% en el estudio térmico de comprimidos en base de *Urera laciniata* Goudot ex Wedd**

| TEMPERATURA ALMACENAMIENTO °C | ESPECIFICACIONES ENVASE                                  | TEMPERATURA DEGRADACIÓN °C |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------|
| 40                            | Ambar, polietilén tereftalato (PET) alta densidad        | 206,18                     |
| 40                            | Blanco, polietilén tereftalato (PET) alta densidad       | 207,08                     |
| 40                            | Transparente, polietilén tereftalato (PET) alta densidad | 206,82                     |

De acuerdo con los datos presentados en la tabla 6, se puede establecer que la temperatura de degradación no tiene un cambio significativo, debido al tiempo de almacenamiento. Se puede establecer que el tipo de envase utilizado en el almacenamiento de los comprimidos en un tiempo de 60 días, no influye en la temperatura de degradación, ya que se tienen diferencias que corresponden a valores que se encuentran entre el 0,1-1,0%, respecto de la temperatura de degradación inicialmente determinada.

La estabilidad de los comprimidos se controló mediante la cuantificación espectrofotométrica de fenoles totales, en el tiempo de almacenamiento de 60 días, considerando la influencia del tipo de envase utilizado; los valores determinados para la concentración de fenoles se presentan en la tabla 7.

**Tabla 7. Concentración de fenoles totales en comprimidos, en 60 días de almacenamiento a 40°C y humedad relativa de 75%, en el estudio de estabilidad comprimidos en base de *Urera laciniata* Goudot ex Wedd**

| ENVASE | TRANSPARENTE       | BLANCO             | AMBAR              |
|--------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Días   | mg fenoles/tableta | mg fenoles/tableta | mg fenoles/tableta |
| 0      | 7,26               | 7,26               | 7,26               |
| 5      | 6,80               | 7,24               | 6,87               |
| 10     | 6,87               | 6,97               | 7,34               |
| 12     | 6,02               | 7,15               | 7,21               |
| 14     | 6,83               | 6,51               | 6,76               |
| 17     | 6,64               | 6,52               | 6,38               |
| 20     | 6,60               | 6,44               | 6,26               |
| 24     | 7,06               | 7,08               | 7,15               |

|               |                    |                    |                    |
|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 27            | 6,84               | 7,05               | 6,89               |
| 31            | 7,03               | 7,09               | 6,55               |
| 46            | 6,98               | 6,67               | 6,68               |
| 60            | 7,36               | 7,14               | 7,44               |
| <b>Medias</b> | <b>6,86 ± 0,35</b> | <b>6,92 ± 0,30</b> | <b>6,89 ± 0,39</b> |

En la cuantificación de compuestos fenólicos totales, durante el almacenamiento, los cambios de concentración en cada tipo de frasco en 60 días de almacenamiento no son significativos de acuerdo a la dispersión de datos respecto de sus medias.

## CONCLUSIONES

El estudio térmico de extractos vegetales, mediante calorimetría diferencial de barrido, aporta información valiosa respecto de la degradación de los componentes químicos de los extractos vegetales y las formas farmacéuticas, elaborados con estos extractos. La composición química particular de cada especie vegetal hace necesario que se considere que la degradación no se da a una temperatura fija para todos los casos, sino que existen variantes propias para cada especie, que deben ser estudiadas. Se observa que para *Urera laciniata* Goudot ex Wedd, la alta temperatura de degradación del extracto y de los comprimidos; así como también los datos de concentración obtenidos en el análisis del marcador fitoquímico en *Urera laciniata* Goudot ex Wedd, evidencian una ausencia de variación, lo que hace inviable la determinación del tiempo de vida media de los comprimidos, utilizando el método de Arrhenius y la aplicación del criterio de uso de las condiciones de Zona Climática, para evaluar la estabilidad del marcador fitoquímico en esta especie. Se deberían analizar otras alternativas como la verificación de la presencia de los componentes activos, mediante perfiles cromatográficos elaborados, tanto con los extractos como con las formas farmacéuticas desarrolladas (Suárez & Venegas, 2016).

## AGRADECIMIENTO

Los autores expresan su agradecimiento al Señor Luis Cola, Gerente de FARCOL LABORATORIOS, quien nos brindó su apoyo para la elaboración, sin costo, de las formas far-

macéuticas que se utilizaron en el presente estudio.

## REFERENCIAS

- Bajaj, S., Singla, D., & Sakhuja, N. (2012). Stability Testing of Pharmaceutical Products. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 129-138.
- Buitrón, X. (1999). *Uso y comercialización de plantas medicinales: Situación actual y aspectos importantes para su conservación*. Cambridge: TRAFFIC International.
- Espinosa, W., Garzón, L., & Medina, O. (2016). Validación de una metodología para cuantificación de polifenoles totales, en procesos de extracción asistida por microondas sobre frutos de la especie colombiana *Vaccinium meridionale*. *Revista colombiana de ciencias químico farmacéuticas*, 45 (1), 109 - 126.
- IC. (2017). ICH harmonisation for better health. Recuperado el 29 de enero de 2017, de <https://www.ich.org/products/guidelines/quality/article/quality-guidelines.html>
- Kumar Sachan, A., & Kumar, A. (2015). Stability testing of herbal products. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 511-514.
- Luziatelli, G., Sørensen, M., Theilade, I., & Mølgaard, P. (2010). Asháninka medicinal plants: a case study from the native community of Bajo Quimiriki, Junín, Peru. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*.
- Ministerio de Salud Pública. (26 de octubre de 2006). *Reglamento y control de productos naturales de uso medicinal*. 385. Quito, Ecuador: Registro Oficial.
- Olivo, S., & Pazmiño, J. (2013). Estudio comparativo de la utilización de plantas medicinales durante el parto tradicional por organizaciones de parteras de Otavalo y Loreto 2016. Ibarra, Ecuador: Universidad Técnica del Norte.
- ONG Human Info. (10 de Febrero de 2017). *Medicamentos Esenciales y Productos de Salud de la OMS*. Obtenido de <http://apps.who.int/medicinedocs/es/d/Jh2976s/#Jh2976s.1>
- Organización Mundial de la Salud, O. (2015). *Comité de expertos en especificaciones para preparaciones farmacéuticas*. OMS.
- Pinelli, P., Ieri, F., Vignolini, P., Bacci, L., Baronti, S., & Romani, A. (2008). Extraction and HPLC Analysis of Phenolic Compounds in Leaves, Stalks, and Textile Fibers of *Urtica dioica* L. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 9127-9132.
- Ríos, M., Koziol, M., Borgtoft, H., & Granda, G. (2007). *Plantas útiles del Ecuador. Aplicaciones, retos y perspectivas* (Quinta edición ed.). Quito, Ecuador: Abya-Yala.
- Suárez, M., & Narváez, G. (2016). *Copigmentación intermolecular de antocianinas glicosiladas*. Saarbrücken, Alemania: Académica Española-OmnScriptum GmbH.
- Suárez, M., & Venegas, A. (2016). Método cromatográfico HPTLC para control de fitomedicamentos. *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas*, 91
- World Health Organization. (2018). *Essential Medicines and Health Products Information Portal*. Recuperado el 5 de 12 de 2018, de <http://apps.who.int/medicinedocs/en/d/Js5516e/15.3.html>
- Zambrano, A., Castellar, G., Vallejo, W., Piñeres, I., Cely, M., y otros. (julio de 2017). *Conceptual approach to thermal analysis and its main applications*. *Prospectiva*.

Recibido: 08/05/2020

Aprobado: 25/06/2020

ARTÍCULO ORIGINAL

# EL DESARROLLO TECNOLÓGICO INDUSTRIAL EN EL PROCESO DE URBANIZACIÓN DE LA CIUDAD DE QUITO

## INDUSTRIAL TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT IN THE URBANIZATION PROCESS OF THE CITY OF QUITO

**Bermeo Álvarez Sergio Andrés**

Doctor en Ciudad, Territorio y Sustentabilidad  
Universidad de Guadalajara - México  
Docente Universidad Central del Ecuador. Ecuador  
saba\_ecu@hotmail.com / sabermeo@uce.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0003-2660-4622>

**Canobbio Rojas Claudia**

Doctora en Ciudad, Territorio y Sustentabilidad  
Universidad Autónoma de Sinaloa  
México  
canobbio@uas.edu.mx  
<https://orcid.org/0000-0003-1670-4320>

### RESUMEN

La presente investigación tiene por objetivo analizar el encuadre histórico del proceso urbano de Quito, ciudad capital de Ecuador, a través de un estudio sintetizado de temporalidades y categorías tecnológicas desde el ámbito de la geografía urbana, lo cual permite evidenciar diversos tejidos, hitos históricos, criterios e ideologías que constituyeron una nueva fisonomía de centros urbanos, diferentes de los poblados y aldeas precolombinas de tecnologías locales–artesanales, ahora configurados por un desarrollo de ciudad de acuerdo a su avance científico–tecnológico industrializado. Dicha indagación, producto de un equipo de trabajo multidisciplinar, toma como periodo de estudio a partir de la fundación de la ciudad en 1534, al ser la etapa que demarca los inicios de la tecnología industrial colonial, hasta llegar a fechas recientes, del 2018, con tecnologías modernas y cibernéticas. Con este objetivo, se recurre al análisis documental y método histórico, para luego plasmarse de modo cartográfico, por medio de una metodología participativa, a través de mapas ilustrados inéditos de la evolución tecnológica de la ciudad de Quito.

**Palabras clave:** desarrollo tecnológico; urbanización; industrialización; ciudad de quito.

### ABSTRACT

*The present investigation has for object to analyze the historical framework of the urban process of Quito, capital city of Ecuador, through a synthesized study of temporalities and technological categories from the field of urban geography, which allows to show the urban fabric, historical landmarks and ideologies, which constituted a new appearance of urban centers, differentiating itself from pre-Columbian towns and villages from local - artisan technologies for a development of the city according to its industrialized scientific-technological progress. This investigation, product of a multidisciplinary team, takes as a period of study from the beginnings of colonial industrial technology, product of the founding of the city in 1534, to 2018 with modern cyber technologies. With this objective, documentary analysis and historical method are used, and with a participatory methodology, the cartographic mode is used through unpublished illustrated maps of the technological evolution of the city of Quito.*

**Keywords:** technological development; urbanization; industrialization, city of quito.

### INTRODUCCIÓN

Desde siempre, la tecnología ha sido considerada como agente de cambio social y modulador del progreso. A grandes rasgos, el término se refiere al empleo de conocimientos científicos,

recursos técnicos (materiales, naturales e instrumentales) y recursos humanos con el objeto de resolver problemas y atender necesidades de las sociedades. Autores como Bacon (2003), Bunge (2003), Kuhn (1971), Winner (1980), entre muchos otros, han abordado diversos en-

foques para entender la realidad a partir de la racionalidad tecnológica así, como la ambivalencia del desarrollo tecnológico como un fenómeno de beneficios y perjuicios para los entes que lo experimentan.

En este sentido, a lo largo de su historia, la ciudad de Quito ha dado un giro a las tecnologías locales-artesanales precolombinas - metalurgia, orfebrería, agricultura, alfarería, textiles- hacia una transferencia tecnológica de procesos industrializados, mismos que surgen desde su territorio urbano fundacional (1534), de acuerdo a sus propias necesidades y realidades económicas, políticas, sociales, naturales, de crecimiento y/o consolidación urbana. Lo anterior, ha llevado a la ciudad, desde sus inicios industriales, a experimentar toda clase de transformaciones, mismas que han sido abordadas desde distintos enfoques de disertación. Ejemplo de ello son los estudios realizados por el Atlas Infográfico de Quito (Instituto Geográfico Militar, 1992), en los que se analizan los cambios de carácter formal de la urbe, basados en la delimitación de hitos naturales. Por su parte, Tamara Estupiñán (1988) demarca la forma de la ciudad por la expansión de las parroquias urbanas; al mismo tiempo que se razona sobre las delimitaciones en torno al radio del trazado urbano (Paz y Miño, 1960).

Asimismo, parte de los estudios sobre infraestructura urbana y desarrollo tecnológico en la ciudad de Quito, de autores como Carrión, Goetschel y Sánchez (1997), quienes reúnen información dispersa y hacen una primera aproximación a la historia de los servicios urbanos de la ciudad, por medio de fichas, cuadros y referentes bibliográficos. Igualmente, se retoman investigaciones del tipo de cronologías históricas, como aquella realizada por Peña (2012) en la cual logra plasmar una relatoría con base a diferentes etapas de la construcción en la ciudad, a través de breves reseñas históricas acompañadas de fotografías. Desde el enfoque de la geografía urbana, también se evidencian investigaciones que exploran las transformaciones urbanísticas de la ciudad, presentadas a modo de bibliografías, con amplia documentación gráfica como las que muestran Correa y Almeida en conjunto con Harvard Graduate School of Design (2013), enunciando una perspectiva más amplia sobre la estructura urbana de Quito.

Sin embargo, cabe resaltar un vacío en el abordaje y discurso analítico que correlacione de

manera directa el análisis de la transformación y crecimiento de la metrópoli con la visión del desarrollo tecnológico industrializado. Lo anterior, brinda la oportunidad de develar los paralelismos existentes entre el proceso de urbanización de la Ciudad de Quito y las asimilaciones tecnológicas, que significaron cambios, acordes a cada época, en los medios de producción y transformación industrial en la región.

## METODOLOGÍA

El planteamiento metodológico parte del método histórico, fundamentado en el conocimiento mediato -comprensión indirecta de un fenómeno por su efecto- al abordar el objeto de estudio de manera indirecta, a través de la indagación en documentos, de los cuales se extrae una noción legítima de un hecho o una serie de ellos (Simiand, 2003, p.165), por medio del cual se obtienen planos históricos, atlas infográfico, ordenanzas y reseñas históricas del proceso de urbanización de la ciudad, mismos que reposan en los archivos del Municipio de Quito, el Instituto Geográfico Militar, la Biblioteca Nacional del Ecuador y la Biblioteca Municipal Federico González Suárez.

Igualmente, se recurre a la técnica de mapeo (Ares y Risier, 2013 y Lafuente y Horrillo, 2013), con la elaboración de cartografías, resultado de mapeos colectivos realizados por un grupo de trabajo multidisciplinar de profesionales (arquitectos, urbanistas, geógrafos, informáticos) con la colaboración de catorce estudiantes de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Central del Ecuador (cátedra de Geografía Urbana 2018). Se conforman tres grupos de trabajo destinados al análisis del crecimiento de la forma, función y tecnologías en el proceso urbano de la ciudad como categorías de estudio.

La investigación de campo se llevó a cabo a través de recorridos urbanos que permitieron la recopilación de datos por medio de mapeos espaciales, cartografías y tablas cuantitativas, a fin de cotejar la documentación de planos históricos con la estructura urbana actual. El análisis y tratamiento de los datos partió de la clasificación de la misma en categorías de análisis, en unidades como: organización, forma, plano urbano, trama, infraestructura pública, densidad de población, uso de suelo, servicios básicos e innovación tecnológica. Asimismo, se emplearon softwares abiertos de sistemas de información geográfica (GIS), con la finalidad de inte-

relacionar estas categorías cronológicamente y poder evidenciar que los límites y dinámicas urbanas se configuran de acuerdo al avance tecnológico de cada época.

De esta manera, la investigación se estructuró en seis etapas históricas y encuadres tecnológicos, en cuanto a su infraestructura, la incorporación de la máquina, los procesos de industrialización, el cambio de producción a través de las telecomunicaciones, la automatización impulsada por el impacto del ordenador y finalmente las redes de conexión por el uso de las Tecnologías de la información y la comunicación (TIC).

### Quito y la tecnología de infraestructura

Quito, influenciado por los poblados precolombinos, se asienta en un valle conformado por elevaciones naturales circundantes (Pichincha, Panecillo, Itchimbia), formando un plano urbano ortogonal o en damero que, como asentamiento legal, fue concebido por los colonizadores en 1534 mediante la apropiación de terrenos, viviendas y construcciones que poseían los indígenas. Se implantaron tres plazas -Plaza Mayor, Plaza San Francisco y Plaza Santo Domingo-, siendo las mismas delimitadas por 5 vías en sentido norte-sur como: Cuenca, Benalcázar, García Moreno, Venezuela y Guayaquil (Paz y Miño, 1960).

Desde dicho momento, los quiteños urgieron por suplir sus necesidades económicas y laborales, motivo por el cual, gracias a la escasa tecnología de la época, la producción textil doméstica industrializada fue su principal medio de sustento. Tal encuadre tecnológico se hallaba representado por los primeros sistemas de infraestructuras, siendo éstas un conjunto de elementos necesarios para que la ciudad pudiera funcionar, generando así la primera distribución de agua y la producción de velas.

Por otra parte, de acuerdo con Paz y Miño (1960), las actividades administrativas y de transporte público empezaron a agruparse en el centro de la ciudad, razón por la cual los nuevos pobladores evitaban asentarse en zonas alejadas, tomándose las laderas del Pichincha, Panecillo e Itchimbia. Para entonces, señala Salgado (1978), Quito comienza a desenvolverse como una ciudad que, al poder solventar sus necesidades básicas, poco a poco comienza a dar paso a una función textil, existente en el centro urbanizado, fortaleciendo la idea de entender a

dicha ciudad como un modelo radial concéntrico. Como consecuencia, se promovieron actividades secundarias como la producción de ganadería en los alrededores de la ciudad, para la obtención de materia prima, y se dinamizó la economía con la comercialización de producto textil de manera local y regional.

Finalmente, Quito comienza a expandir su matriz productiva de diversificación textil y, en el ámbito tecnológico, fue estableciendo el sistema de comunicación inicial de la época. Con el primer mensaje telegráfico, la emisión y recepción de correo y el primer periódico de la ciudad, la información pudo ser transmitida a todos los ciudadanos, caracterizando esta época por la creación de tecnología de infraestructura (Fig. 1) como medio de servicio necesario para la organización y crecimiento, tanto de la trama urbana como de la sociedad quiteña, que le permitió participar en una red sociocultural, económica, política y funcional de sus medios de producción (Carrión, et al., 1997). En esta etapa se evidencia cómo la primera tecnología textil industrializada expropió el sistema artesanal y convirtió el territorio, en el que se asentaban, en un modelo de producción económico para medios de comunicación privados mientras que el sistema público de servicios se situaba de manera concéntrica alrededor de dichos medios, resultando así en la segregación de la población periférica y artesanal.

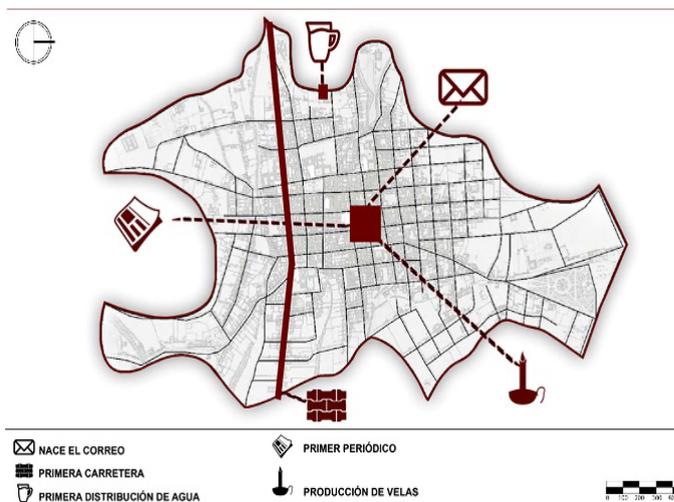


Figura 1: Tecnología de infraestructura 1534-1800

### Quito y la tecnología de la máquina

Una vez que el centro de Quito de 1800 se vio copado por el inevitable crecimiento poblacional (Salgado, 1978), la ciudad va ampliando su perímetro y empieza a ocupar más terrenos. Sin em-

bargo, éste crecimiento se restringe hacia el este y oeste por la existencia de las laderas (Itchimbía, Pichincha); de tal manera que Quito empieza a crecer hacia el Ejido Norte (asentándose los sectores de mayores recursos) y hacia el sur el Ejido de Turubamba (asentándose los sectores populares). Lo anterior, como afirman Carrión y Erazo (2012), fue promovido por un nuevo desarrollo tecnológico, relacionado con la implantación de la estación sur de ferrocarril de Chimbacalle, al límite sur de la ciudad. Es evidente entonces, afirmar que la primera máquina en Quito, el ferrocarril, contribuyó con la expansión longitudinal de la ciudad, al ocasionar la planificación urbana de los Barrios Larrea al norte y Atahualpa al sur.

Desde la visión de Borchart de Moreno (1998), poco a poco, Quito, enriquecida por la actividad textil, comienza a transformar su función de modo que, sin importar que la corona haya establecido grandes impuestos al comercio agrícola, la urbe adopta un modelo de producción primaria. Es decir, se desarrolla una función agropecuaria que da origen a estructuras sociales campesinas y lugares de intercambio de productos, principalmente en el perímetro de la ciudad. Tan grande y fuerte fue dicha actividad que el 57% de su población se dedicó al cultivo y ganado, utilizando el 31% de las viviendas periféricas de la ciudad (Peralta y Moya, 2015 y Altamirano, 2017).

De este modo, la llegada del ferrocarril define una etapa en la que la máquina reemplaza ciertas acciones humanas y es posible el desarrollo de un nuevo sistema de transporte en la ciudad. Pero, de acuerdo con Carrión et al. (1997), este sistema de transporte no sería la única consecuencia tecnológica de la época: “en la calle Rocafuerte se desarrollará la primera línea de transporte terrestre y de la misma manera, por vía aérea, se ejecuta el primer globo aerostático que parte de San Agustín” (p.12). Lo anterior, permitió acortar los tiempos de traslado de personas, productos y de información, brindando alternativas de movilidad masiva e industrializada mediante el empleo de dicha invención tecnológica.

Finalmente, y no menos importante, “aparece el primer foco, promoviéndose la luz eléctrica y, desde el cabildo, se origina el primer mensaje telegráfico vía alámbrica” (Carrión, et al., 1997,

p.95). Dichos sucesos permitieron a la ciudad conectarse con el resto de ciudades y cambiar el modelo de fabricación a mano por la máquina (Fig. 2), considerada como un medio de producción de plusvalía, facilitando la producción a gran escala de bienes y servicios.

Lo anterior da muestra de cómo la tecnología de esta época fue un gran aporte al crecimiento y expansión de la ciudad. Sin embargo, este modelo de producción estuvo dirigido al grupo empresarial agrícola industrial que se ubicaba en barrios prestigiosos, aprovechando la eficacia y rapidez de la máquina para incrementar sus ganancias a través del valor de cambio, mientras que las estructuras sociales populares y campesinas fueron segregadas a la periferia y no percibieron ganancias de ese plusvalor.

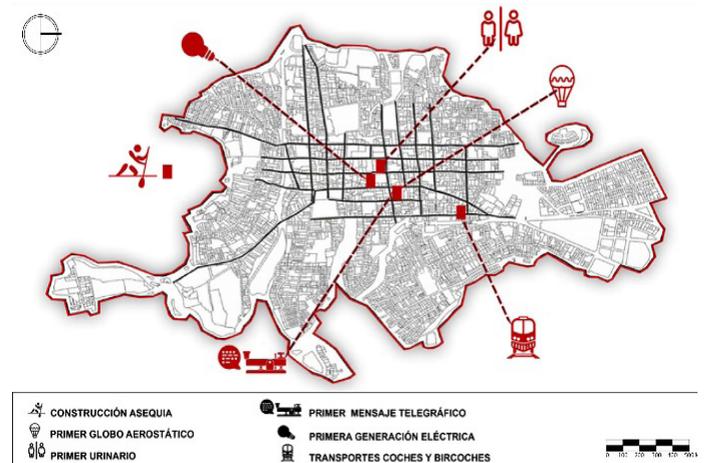


Figura 2: Tecnología de la Máquina 1800-1900

## Quito y la tecnología de industrialización

Ya para el 1900, la ciudad sigue creciendo y de la misma manera que en la época anterior, se limita a hacerlo en sentido este-oeste. Este hecho fue determinado por varios factores, que a juicio de Achig (1983) “se debió tanto por la modernización tecnológica de la ciudad, como por un cambio en su modo de producción agrícola hacia una función productiva industrializada” (p.107). Tal hecho, permite entender por qué la ciudad creció una vez más de manera territorial y longitudinalmente de norte-sur, demostrado por la consolidación del Barrio Larrea y del sector de la Alameda entre los años 1904-1914. Esta expansión iría de la mano gracias al Plan Regulador de Odriozola en 1945, en el cual, planteaba la formación del barrio La Mariscal, la sectorización de los barrios y la conexión de estos con la creación de la Avenida América, Colón, Mariana

de Jesús y Amazonas (Municipio de Quito, 1949).

Hacia el sur, el crecimiento de la infraestructura vial permitió la implantación de nuevos barrios y consolidación de los existentes, teniendo como principales vías de conexión la Avenida Bahía de Caráquez, Calle 5 de junio y Avenida Maldonado ésta última, resultando ser la conexión directa del centro de la ciudad con el sector de Chimbacalle, lugar que tomaría importancia nuevamente por la existencia del ferrocarril, concentrando esta vez la actividad económica (Carrión y Erazo, 2012).

Tal como hace notar Peña (2012), la ciudad no se limitó a acoger únicamente al ferrocarril como principal medio de transporte. Mediante la pavimentación de los principales ejes de la ciudad, mencionados anteriormente, se contribuyó también a la llegada del transporte, tanto terrestre como aéreo, con el primer automóvil y la implantación del aeropuerto Mariscal Antonio José de Sucre, ubicado hacia el norte de Quito, lo que a su vez resultó en: incremento en las importaciones y exportaciones, concepción de una fuerte cultura de consumo, y producción la urbanización de nuevas áreas e industrialización del 50% de Quito.

Gracias a la industrialización (proceso que con lleva a un conjunto de operaciones necesarias para modificar las características de la materia prima) y el cambio de matriz productiva basada en la eficiencia e innovación, Quito entraría a una gran etapa de desarrollo (Fig. 3) respondiendo a las necesidades de la ciudad al implantarse un nuevo avance tecnológico (Carrión, et al., 1997, p.96). Ejemplo de ello, son: la hidroeléctrica de Guápulo, la red de telefonía urbana, el primer circuito de radiodifusión en la ciudad, brindando apertura a un sistema de conexión, y permite el acercamiento y llegada de información abierta a la sociedad quiteña en aquella época.

En la opinión de Carrión y Erazo (2012), el crecimiento e innovación de Quito no terminó allí; ya que, en los años sesenta, al descubrir el petróleo en el oriente ecuatoriano, la promoción de las inversiones industriales afectaría positivamente a la función industrial de la ciudad, debido a que se desarrollaron nuevas industrias a partir del remplazo de la mano de obra por la máquina para transformar la materia prima en semielaborada o productos terminados. Citando a Kingman (2009), lo anterior “generó

un gran crecimiento en el flujo del capital, el incremento de sectores ligados a la exportación e importación de productos industriales y el ya mencionado cambio de mentalidad Quiteña.” (pp.49-50).

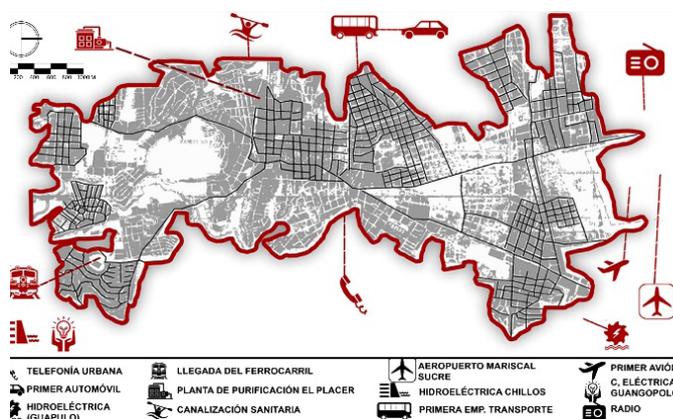


Figura 3: Tecnología de Industrialización 1900-1950

Finalmente, y regresando al núcleo central de Quito, este se consolidó como centro político, comercial y financiero de la urbe, gracias al fortalecimiento de las funciones: económica, administrativa y jurídica, que fueron respaldadas por la creación de ciertos ministerios e instituciones públicas (Alcaldía Metropolitana de Quito, 2009).

La tecnología en esta etapa permitió la modernización de la estructura urbana de la ciudad, así como su crecimiento demográfico y territorial por medio del Plan Regulador. No obstante, se adopta una organización ligada a un sistema de consumo y producción capitalista de las nuevas industrias beneficiadas de las remesas de las importaciones, exportaciones, petróleo, transporte e infraestructura en donde, las grandes mayorías populares son reemplazadas por las máquinas y son segregadas en la nueva periferia.

### Quito y la tecnología de la telecomunicación

Entre 1950 y 1970, gracias al desarrollo industrial impulsado por el auge petrolero, apareció la ciudad moderna, ligada a nuevas alternativas residenciales para los sectores de bajos ingresos en los eufemísticamente considerados barrios periféricos lo cual, incrementó la densidad urbana así como la concentración de la industria dentro de la ciudad (Carrión, 1979).

Dicho evento se volvió foco de interés para una propuesta de reorganización del territorio, debido a las segregaciones residenciales causadas

por el auge bananero y la reubicación de servicios y vivienda.

Para la década de los sesenta se efectúa el Plan Director de Urbanismo de San Francisco de Quito, enfocado a brindar una planificación urbana adecuada ante los asentamientos de las zonas agrarias y periféricas, con proyectos inmobiliarios como los del Banco de la Vivienda, Mutualistas y otras empresas privadas interesadas en la tierra (Municipio de Quito, 1967). Este plan abordó un reglamento de zonificación para el uso y ocupación del suelo por medio del cual las diferentes zonas de la ciudad fueron catalogadas en base a un “tipo de función”; es así como, las zonas norte representarían núcleos administrativos (Barrio Mariscal), el centro conformaría el núcleo político administrativo y comercial (Centro Histórico) y, finalmente, el sur sería un núcleo residencial (La Villaflora). Dicha estructura polinuclear era la respuesta a nuevos agentes sociales como el subproletariado (textiles y agrícolas) o pequeñas burguesías (industriales), y al disímil desarrollo de la escena urbana de este periodo.

Como consecuencia se consolidaron los sectores centro norte como Las Casas, Ciudadela Universitaria y Miraflores, siendo necesario una avenida que interconectara estos sectores en sentido norte-sur con las vías principales existentes. Por un lado, se crearon la Av. 10 de Agosto y Av. América, rellenando la quebrada del Seminario Mayor en 1958; y por el otro lado, al sector límite norte llamado Cotocollao, se le integró al casco urbano mediante la creación de la avenida la “Y” – Cotocollao, que más tarde, pasó a llamarse Av. La Prensa (Achig, 1983).

Quito, al extenderse entonces de manera longitudinal polinuclear, se planteó una serie de avenidas como ejes estructuradores norte-sur. Así pues, la Av. Mariscal Sucre se consolidó como corredor periférico oeste, conectando transversalmente los diferentes barrios de la ciudad mientras que, para conectar el Aeropuerto Mariscal Sucre se promovió la creación de la Av. Amazonas y la consolidación de la Av. La Prensa. Otros proyectos de ampliación de los ejes sentido norte-sur, se dieron en la avenidas 6 de Diciembre y Los Shyris en el sector norte, y las avenidas Maldonado y Napo, cumplirían con el rol de unir todo el sur con el centro de la ciudad (Carrión y Erazo, 2012).

Esta continua expansión de la ciudad, en conjunto con la relocalización de las actividades industriales, comerciales y administrativas, provocó un incremento mayor a 6 veces en el parque automotor y el área urbana tuvo un crecimiento cercano al 500% (Carrión, 1979, pp.260,262). Lo anterior implicó el desarrollo tecnológico hacia una función de medios de difusión y de comunicación de la época; tal fue el caso, que se amplió la distribución de información desde el Recreo (Sur) hasta el sector del Aeropuerto (actualmente Parque Bicentenario Norte), a través de la primera señal de televisión en la ciudad y la construcción de transmisores. En esta temporalidad también se fomentó el aseo urbano, tras haberse presentado varias polémicas de insalubridad en la ciudad.

Dicho avance en telecomunicaciones es característica importante de la época, al hacer referencia a un proceso científico-tecnológico (Fig. 4), ineludible para el crecimiento de la ciudad (Carrión, et al., 1997). Para entonces, Quito era, casi en su totalidad, una ciudad moderna impulsada por una tecnología, pero al servicio de grupos empresariales inmobiliarios y de telecomunicaciones que lucran mediante la tenencia de tierra, la especulación del suelo, así como del uso y abuso de la información para implantar la técnica del zoning, sectorizando la ciudad de acuerdo a la nueva división de clases, el subproletariado y la burguesía.

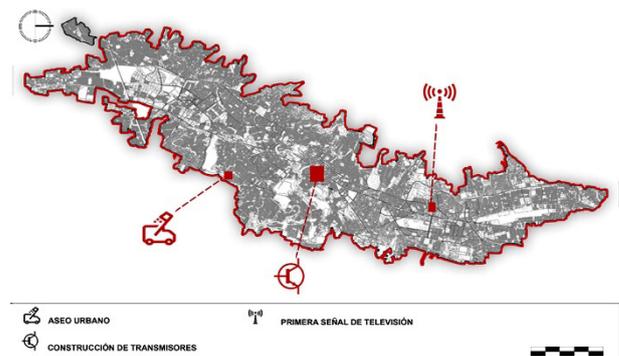


Figura 4: Tecnología de Telecomunicación 1950-1970

## Quito y la tecnología de la computación

Finalizando el siglo XX, en el periodo de 1970 y 2000, en el Centro Histórico se llevó a cabo la segunda Renovación Urbana en la que su principal expresión territorial fue la renta diferenciada del suelo (Carrión, 1987), por lo que, para cubrir este arancel los sectores con ingresos económicos bajos debían recurrir al hacinamiento si querían permanecer en áreas céntricas de la ciudad.

Al mismo tiempo, se generó el cambio de uso de suelo, de agrario a urbano, en el sector de la Mariscal, lo que provocó el interés de nuevas inversiones, y paralelamente se empezaron a consolidar las ya creadas Avenidas América y 10 de Agosto hasta la "Y", para unir antiguos núcleos urbanos, hecho que generó, a juicio de la Alcaldía Metropolitana de Quito (2009), por un lado, el avance tecnológico de la producción de vehículos nacionales y de corredores articulados (como lo es la línea de transporte trolebús implementándose un sistema de transporte rápido masivo), y por otro, un incremento del valor del suelo, motivando así que la población se desplace a zonas periféricas de la ciudad.

Para cubrir esta demanda de desplazamiento, se procuró definir una nueva infraestructura vial, ésta vez a la periferia de la ciudad con la creación de las Avenidas Oriental al límite este y Occidental al límite oeste; que unirían los polos norte y sur por los bordes, siendo todas estas características los precedentes para que se generen nuevos asentamientos en los Valles (ya ocupados por la estructura de oleoducto transecuatoriano, que conecta a Quito con la amazonia), dando lugar al surgimiento de la Segregación Urbana (Carrión y Erazo, 2012).

En consecuencia, a dicha segregación, se generaron dos proyectos de vivienda masiva, uno al sur denominado Mena 1 y 2, vinculados a una zona post industrial de bajo impacto en Turubamba, así como otro al norte de la ciudad, donde se ejecutó el proyecto de San Carlos y San Pedro, que vinculaba a una zona post industrial de mediano impacto. Con base en Hidalgo (2005), también se proyectó una tercera zona industrial de mediano impacto asentada en Itulcachi, al oriente del distrito metropolitano encontrándose estas últimas dos zonas rodeadas de suelo agrícola. En consecuencia, el crecimiento urbano fue de un 89%, dando un total énfasis en estas zonas industriales, siendo la de Turubamba y del Norte las más grandes.

En esta etapa, para llevar a cabo los procesos de planificación, construcción de planes de viviendas, sistema de transporte y vialidad, fue necesario el desarrollo tecnológico informático computacional (Fig. 5). Como lo hace notar Peña (2012), a través de un tratamiento de recopilación, análisis y procesamiento de la información mediante el uso de una nueva máquina, el ordenador, llega a la ciudad de Quito el desarrollo de la automatización y el cálculo a pre-

cisión por software; generándose así, grandes avances, no solo en comunicación, sino además en el sector de la construcción.

Otros avances de la época fueron los de la telefonía celular inalámbrica que, junto con la llegada del internet, brindaron un acercamiento a la conectividad de los individuos de la ciudad con los elementos de infraestructura y de servicio públicos; tal fue el caso, que Quito, en su necesidad de expansión, empezó a acoplarse a la nueva realidad urbana tecnológica (Correa y Almeida, 2013), cambio que incitó a que la función de la ciudad fuera modificada por una función informacional, y generó la consolidación de ciertas áreas productivas, zonificando usos de suelo, extendiendo sus conexiones y accesibilidad; creando así, una ciudad fragmentada para un afianzamiento post industrial planificado.

Por tanto, la innovación tecnológica computacional, en esta etapa, demuestra que los grandes grupos empresariales poseedores de zonas industriales fueron los mayormente beneficiados. Dichos corporativos, debido al cambio de uso de suelo de corte neoliberal en las zonas céntricas y de alta plusvalía, se desplazaron hacia los límites de la ciudad, ejerciendo presión sobre la Administración Municipal para la creación de vías y medios de transporte que permitieran una mayor conexión y accesibilidad de sus negocios e inversiones. Dicho hecho, también resultó en el desplazamiento del sector trabajador asalariado hacia viviendas periféricas en estado de hacinamiento y fragmentación de la urbe.

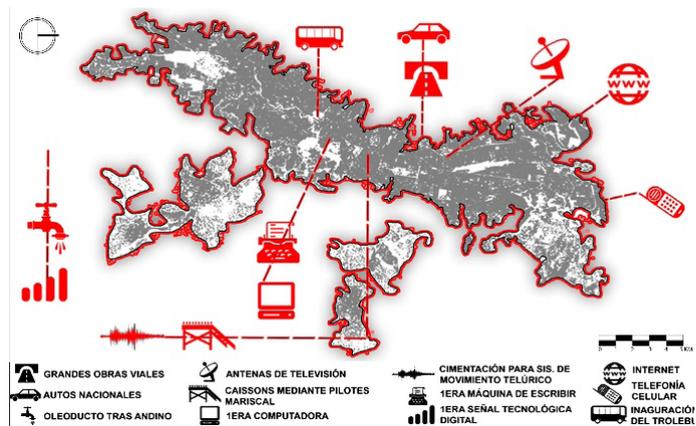


Figura 5: Tecnología de Computación 1970 - 2000

### Quito y las tecnologías de la información y la comunicación (TIC).

De acuerdo con Carrión y Erazo (2012), en el periodo entre el año 2000 y 2018, ante una ciudad fragmentada, el Municipio del Distrito Me-

tropolitano de Quito (MDMQ) establece el Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial que define las nuevas Centralidades urbanas (Quitumbe, Solanda, Conocoto, Cotacollao, Carapungo, Tababela, Tumbaco, Bicentenario, La Carolina y Pomasqui) que, a su vez, conforman y delimitan los actuales límites de la ciudad: al norte con Cayambe, al sur con Amaguaña, al este con la franja de conurbación de los valles y al oeste con las faldas del Pichincha.

Bajo dicho contexto de expansión, la Administración Municipal se vio obligada a proporcionar la infraestructura necesaria para generar una conexión vial entre Quito y los Valles (Ruta Viva, E35, Simón Bolívar y Ruta Collas). Entre sus nuevas centralidades, se despliega el Sistema Integrado de Transporte Masivo de Quito (SITM.Q) -Metro de Quito, metro-bus, trole-bus, ecovía, metro cables y redes de autobuses-, con la finalidad de cubrir su configuración geográfica de 45 km de longitud en sentido norte-sur, y los 5 km en su parte más ancha de este a oeste, reduciendo así la circulación del parque automotor, que llega, para entonces, a casi 450 mil vehículos (Alcaldía Metropolitana de Quito, 2009). Es así como las nuevas tecnologías de innovación contribuyen a enfoques efectivos para enfrentar los desafíos emergentes en las ciudades, tal como sustenta la literatura con distintas aproximaciones respecto a la relación entre la tecnología contemporánea y la ciudad (Dodgson y Gann, 2001; Copaja-Alegre y Esponda-Alva (2019; Rodríguez y Alcaide, 2019).

Para el año 2003, según Carrión y Hanley (2015), la ciudad inicia un programa de reactivación comercial y turística en el Centro Histórico y la Mariscal; así como, una aparición de la industria terciaria en el sector de Lñaquito, proclamando a Quito como una urbe contemporánea al cambiar la dinámica urbana a una función de servicios especializados.

Debido a la alta concentración de servicios especializados, actividades comerciales, corredores urbanos y una red de centralidades, Quito pudo adaptarse a las complejidades de las nuevas demandas y características sociales, culturales, comerciales y tecnológicas (Correa y Almeida, 2013). A través de un sistema de comunicación eficiente, se permitió el procesamiento y transmisión de flujos de informa-

ción, desarrollando avances científicos en los ámbitos de la informática y las telecomunicaciones es decir, un avance hacia la adopción de las TIC en su proceso urbanístico (Fig. 6).

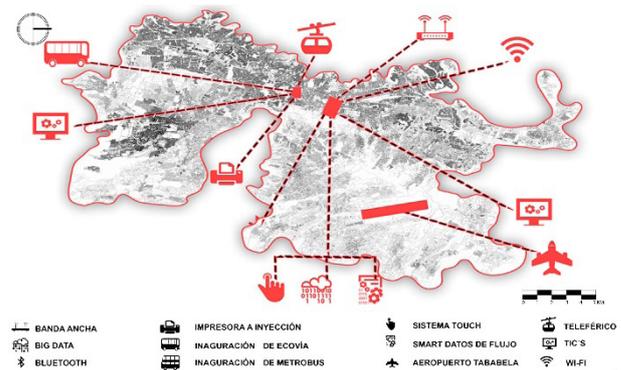


Figura 6: Implementación de las TIC 2000-2018

Finalmente, la ciudad es complementada por políticas públicas, al incorporarse el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información en Quito, lo cual trajo consigo el acceso a conexiones inalámbricas, banda ancha, 4G, internet en espacios públicos, automatización de los servicios, cámaras de vigilancia urbana, inteligencia artificial, plataformas electrónicas de gobierno, información abierta a la ciudadanía, entre otros elementos que han permitido experimentar la relación entre innovación tecnológica y urbanización de nuevo tipo (Shang et al. (2018), y que, a su vez, desde el punto de vista de Peña (2012), han ayudado a emprender el camino hacia la generación de servicios terciarios en una ciudad de conectividad local y global.

Por último, cabe señalar que la tecnología de esta época es aprovechada por un nuevo grupo corporatocrático de servicios especializados que, gracias a la conexión global brindada por las TIC, se emplazaron en la ciudad e incrementaron sus patrimonios y las relaciones internacionales comerciales. Dicha vinculación a-territorial, parte de una economía de escala global, también ha venido repercutiendo en los modos de producción local, la economía social, así como en el espacio público, mercados, tiendas de barrios, que poco a poco se empiezan a privatizar y a ser remplazados por grandes centros comerciales.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

A través de la investigación realizada, se ha logrado analizar las diferentes etapas del proceso de urbanización de la ciudad de Quito en sus aspectos de forma, función y tecnología;

siendo esta última, el objeto de estudio, que revela el vacío conceptual que existía sobre los avances del desarrollo tecnológico, partícipes del crecimiento y evolución de la ciudad. Lo anterior, ha sido representado de manera gráfica a través de la técnica del mapeado a lo largo de sus temporalidades desde 1534 hasta el 2018 (Fig. 7), encontrando seis medios tecnológicos que surgieron influenciados por la actividad productiva, la técnica de producción, el crecimiento urbano, la innovación, el emplazamiento geográfico y las redes de conexión entre centralidades urbanas.

Asimismo, se da muestra de evidencias acerca de la relación entre la adopción de distintas tecnologías y el crecimiento de la ciudad de Quito, a través del análisis de la evolución de sus modos de producción. Estableciendo así, entre los años de 1534 y 1800, una ciudad basada en la industria textil manufacturera que organizaba a la sociedad de manera radial concéntrica, es decir, hacia el centro, el poder elitista, y hacia las afueras, la clase obrera trabajadora. Se atravesó entonces por un desarrollo tecnológico basado en la construcción de infraestructuras básicas para atender las necesidades de los habitantes, surgiendo así la primera distribución de agua, la producción de velas, el sistema de correo, el periódico y las carreteras.

De 1800 a 1900, Quito transforma su modo de producción a un sistema agropecuario, producto del desplazamiento de los campos agrícolas a la periferia y la concentración de industrias en el centro, extendiéndose geográficamente como una ciudad longitudinal, proceso que fue posible debido a la aparición del desarrollo tecnológico de la máquina. Lo anterior, permitió avances importantes como construcciones de acequias para el abastecimiento de agua en la periferia, sistemas de sanidad urbana como los urinarios públicos, conexiones de sus límites por medio del globo aerostático, el telégrafo, coches y biro coches, hasta la primera generación eléctrica.

De 1900 a 1950, la era de la industrialización llega a la ciudad, permitiendo que los procesos artesanales y de manufactura fueran más eficientes, innovadores y productivos, lo cual, significó que la ciudad se consolidara como una extensión longitudinal, llena de servicios tecnológicos en forma de hidroeléctricas, fe-

rocarril, automóviles, empresas de transporte, aeropuerto, radiodifusión, vías pavimentadas, plantas de purificación y telefonía urbana, elementos que cambiaron el estilo de vida de sus habitantes.

Para complementar estos cambios, de 1950 a 1970, la ciudad fue dotada de varios servicios tecnológicos; sin embargo, en cuanto a su territorio, se perfiló como una ciudad fragmentada por los diferentes tipos de usos de suelos y funciones implantadas. Tal escenario, planteó la necesidad de un proyecto unificador de la ciudad que logró una conectividad longitudinal pero polinuclear, junto con un desarrollo tecnológico representado por: proyectos de frecuencias y canales de televisión, construcción de transmisores, la implantación de infraestructura en el aseo urbano, alcantarillado, desagües, plantas de tratamiento de aguas servidas y basura, así como, la puesta a punto del sistema de comunicación a distancia a través de medios electrónicos, en una ciudad ya moderna.

Sin embargo, los avances tecnológicos, el crecimiento de densidad poblacional y de extensión, provocó, entre 1970 y 2000, que Quito adoptara una organización territorial con problemas de segregación urbana, evidenciando el asentamiento de las diferentes clases socio-económicas, el incremento del parque automotriz y la preferencia de expansión hacia los valles. Lo anterior ocurrió en medio de una evolución en las tecnologías computacionales, con la aparición del ordenador, la dotación de sistemas viales y transporte integrado, antenas de televisión, conexión con el oleoducto transecuatoriano, señal de tecnología digital, conexión al servicio de internet y la telefonía móvil de la época.

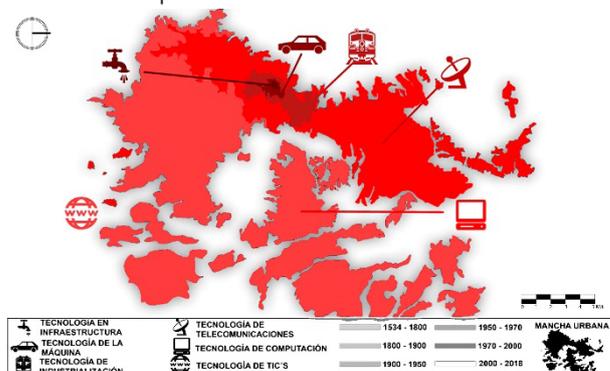


Figura 7: Tecnologías de Quito 1534 – 2018

Finalmente, Quito una ciudad contemporánea del 2000 al 2018, se encuentra organizada por centralidades multifuncionales con roles

definidos, que concentran importantes servicios y actividades de intercambios colectivos con capacidad de interconexión, gracias a la implementación de las TIC. Para entonces, se procesan y transmiten los flujos de información de una manera veloz, eficiente y en big-data. Bajo la influencia de las tendencias de globalización en Latinoamérica, la ciudad se prepara para transformar su industria a un nivel terciario de servicios altamente especializados con proyectos relacionados con: sistemas de transporte masivo integrado, banda ancha, 4G, sistemas de video seguridad urbana, bluetooth, wifi, sistemas satélites, GPS, Smart data y nuevo aeropuerto internacional.

De lo anterior, podemos concluir que, a lo largo del proceso de urbanización, la ciudad de Quito ha procurado su desarrollo y transformado sus medios de producción adaptándose a la evolución tecnológica de la época. Pero, ¿quiénes han sido los verdaderos beneficiados de este desarrollo tecnológico?, si bien, por una parte la tecnología ha definido el trazado urbano, implementado infraestructura, incentivado al crecimiento y conectado la ciudad a lo global; asimismo, ha permitido la formación de grupos económicos privados que han ido mutando en sus diferentes fases de modos de producción textiles, agropecuarias, industriales, inmobiliarias, medios de comunicación, empresariales y corporatocráticos. Es decir, se demarca la persistencia de modelos de acumulación de riqueza de capital y una urbanización especulativa, en su forma de ocupar el tejido urbano, a costa de los grupos sociales populares y campesinos más vulnerables, los cuales se encuentran segregados social, espacial y económicamente por los efectos del desarrollo tecnológico, desincentivando a su vez, los modelos de producción artesanales, comercios minoristas, trabajadores autónomos, economía circular, movilidad alternativa, espacios públicos incluyentes, y un medio ambiente sustentable, que también son otras formas de hacer ciudad.

Es decir, la adaptación a dicho proceso evolutivo conllevó a una disrupción tecnológica llena de una serie de retos relacionados con la segregación social, difícil acceso a la información, división de clases sociales, deficiencia en la conectividad con otras regiones, polarización en las periferias, así como un retraso evidente en su desarrollo científico-tecnológico

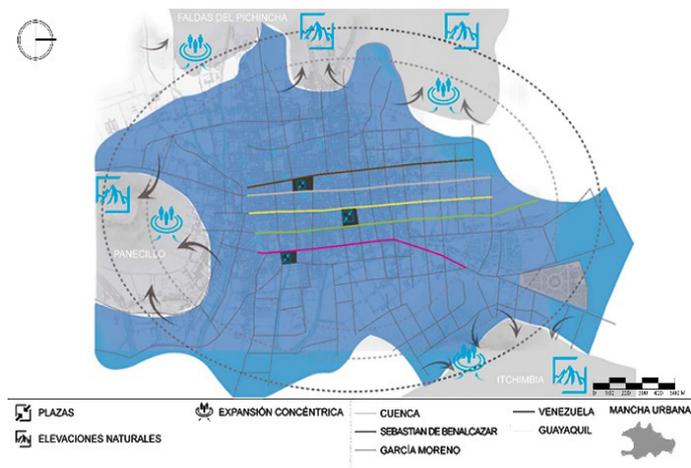
local. En suma, dicho contexto relacional entre el desarrollo tecnológico y el proceso de urbanización de la ciudad, se debe perfilar como un proyecto colectivo-social, más no, como un proyecto empresarial-económico, que tiene que ver con las palabras de Alfonso Abdo, Director Ejecutivo de ConQuito quien señala que “el desarrollo no se genera ni con decretos, ni ordenanzas, ni solo, sino con el trabajo y la iniciativa de todos los ciudadanos” (El Comercio, 2015, p.1).

## REFERENCIAS

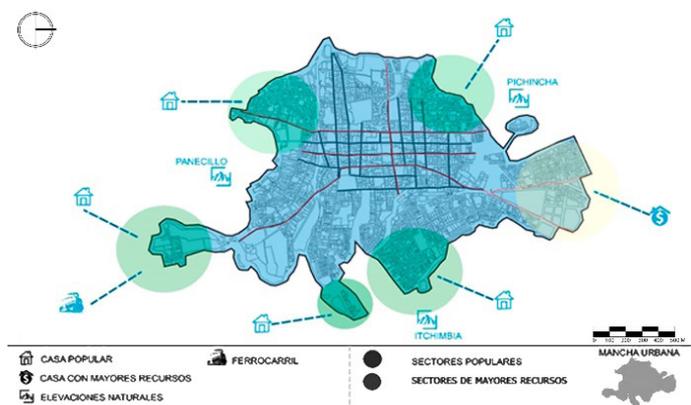
- Achig, L. (1983). El proceso urbano de Quito: ensayo de interpretación. Quito, Ecuador: Centro de Investigaciones Ciudad.
- Alcaldía Metropolitana de Quito. (2009). Fortalecimiento de Centralidades Urbanas de Quito. Ecuador: Editorial Trama.
- Altamirano, W. (2017). Quito: El Belén, capilla del consuelo. Diario La Hora. Recuperado de <https://www.lahora.com.ec/noticia/1102092100/quito-el-belen-la-capilla-del-consuelo>
- Ares P., y Risier, J. (2013). Manual de Mapeo Colectivo. Argentina: Tinta Limón
- Bacon, F. (2003). On the Idols, the Scientific Study of Nature, and the Reformation of Education. En R. C.
- Borchart de Moreno, C. (1998). La Audiencia de Quito: Aspectos económicos y sociales. Siglos XVI y XVIII. Ecuador: Banco Central del Ecuador, Ediciones Abya-Yala.
- Bunge, M. (2003). Philosophical Inputs and Outputs of Technology. En R. Scharff (Ed.), Philosophy of Technology. The Technological condition (pp.170-181). United Kingdom: Blackwell Publishing
- Carrión, A., Goetschel, A. M., y Sánchez, N. (1997). Breve historia de los servicios en la ciudad de Quito. Quito, Ecuador: Centro de Investigaciones Ciudad.
- Carrión, F. (1979). Crisis urbana y organización territorial en Quito. Ecuador: Editorial Colegio de México
- Carrión, F. (1987). QUITO Crisis Política y Urbana. Ecuador: Editorial El Conejo.

- Carrión, F., y Erazo, J. (2012). La forma urbana de Quito: una historia de centros y periferias. *Bulletin de l'Institut français d'études andines*, 41 (3), pp. 503-522. DOI: <https://doi.org/10.4000/bifea.361>
- Carrión, F., y Hanley, L. (2015). *Regeneración y Revitalización Urbana en las Américas: hacia un estado libre*. Ecuador: FLACSO – Ecuador.
- Copaja-Alegre, M., y Esponda-Alva, C. (2019). Tecnología e innovación hacia la ciudad inteligente. *Avances, perspectivas y desafíos*. *Bitácora Urbano Territorial*, 29(2), pp.59-70. DOI: <https://doi.org/10.15446/bitacora.v29n2.68333>
- Correa, F., y Almeida, R. (2013). *A line in the Andes*. United States: Applied Research & Design
- Dodgson, M., y Gann, D. (2011). Technological innovation and complex systems in cities. *J. Urban Technol.* 18 (3), pp.101–113. DOI: 10.1080/10630732.2011.615570
- El Comercio. (2015). Quito Tech, el portal para hacer de Quito una ciudad más digital. El comercio. Recuperado de <https://www.elcomercio.com/guaifai/quito-tech-portal-digital-ciudad.html>
- Estupiñan, T. (1988). El testamento de don Francisco Atagualpa. *Miscelánea histórica ecuatoriana*, 1(1), pp.20-21.
- Hidalgo, E. (2005). *La industria de Quito del siglo XX*. Ecuador: FLACSO – Ecuador.
- Instituto Geográfico Militar (1992). *Atlas Informativo de Quito*. Ecuador: Imprenta Mariscal El Comercio.
- Kingman, E. (2009). Cultura popular, vida cotidiana y modernidad periférica. *Quaderns* (25), pp.47-69. Recuperado de <https://www.raco.cat/index.php/QuadernsICA/article/viewFile/193723/328575>
- Kuhn, T. S. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. México, F.C.E.,
- Lafuente A., y Horrillo, P. (2013). *Como hacer un mapeo colectivo*. España: Creative Commons
- Municipio de Quito. (1949). *Plan Regulador de Quito*. Quito: Municipal.
- Municipio de Quito. (1967). *Plan Director de Urbanismo de San Francisco de Quito*. Quito: Imprenta Municipal.
- Paz y Miño, L. (1960). *Apuntaciones para una Geografía Urbana de Quito*. Quito: CVTLVRA.
- Peña, A. (2012). *Historia de la construcción de Quito*. Quito-Ecuador: Cámara de la construcción
- Peralta, E., y Moya, R. (2015). *Quito, Patrimonio Cultural de la Humanidad*. Ecuador: Ministerio de Relaciones Exteriores
- Rodríguez, M., y Alcaide, L. (Eds.). (2019). *E-participation in smart cities: Technologies and models of governance for citizen engagement*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing.
- Salgado, G. (1978). *Lo que fuimos y lo que somos*. Colombia: Editorial Siglo XXI
- Scharff & Dusek, V. (2013.), *Philosophy of Technology: The Technological Condition*. An Anthology (pp.25-37). United Kingdom: Blackwell Publishing
- Shang, J., Wang, Z., Li, L., Chen, Y., & Li, P. (2018). A study on the correlation between technology innovation and the new-type urbanization in Shaanxi province. *Technological Forecasting & Social Change*, 135, pp. 266-273. DOI:10.1016/j.techfore.2018.04.029
- Winner, L. (1980). Do Artifacts have politics? *Daedalus*, 109 (1), pp. 121-136. Recuperado de <https://www.cc.gatech.edu/~beki/cs4001/Winner.pdf>

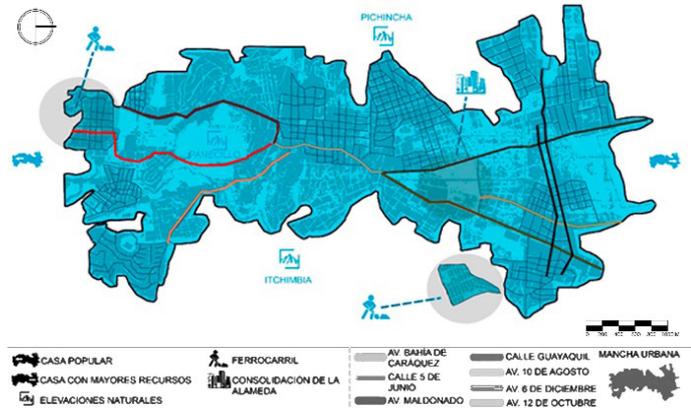
# ANEXOS



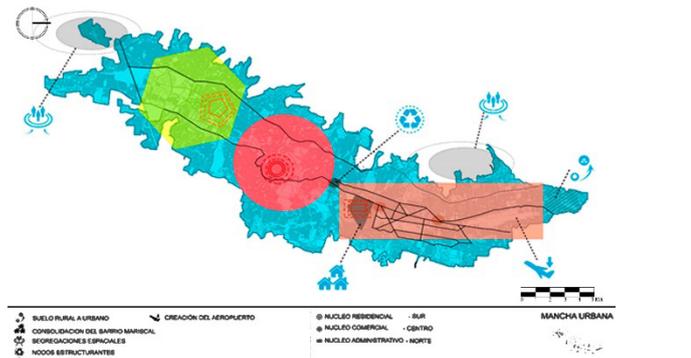
Anexo 1: Forma Radio céntrica 1534 – 1800



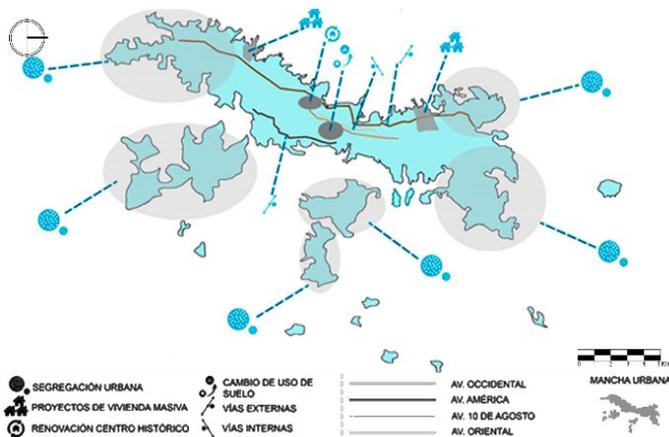
Anexo 2: Forma Longitudinal 1800 – 1900



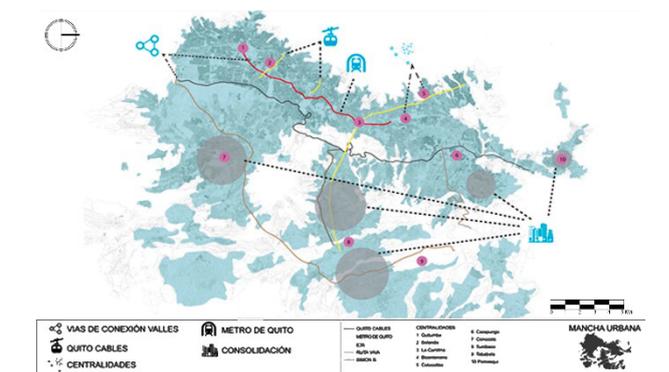
Anexo 3: Forma Longitudinal 1900 – 1950



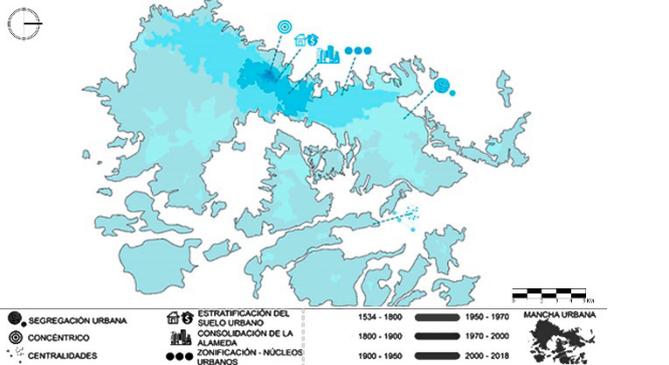
Anexo 4: Forma Polinuclear 1950 – 1970



Anexo 5: Forma Consolidada 1970 – 2000



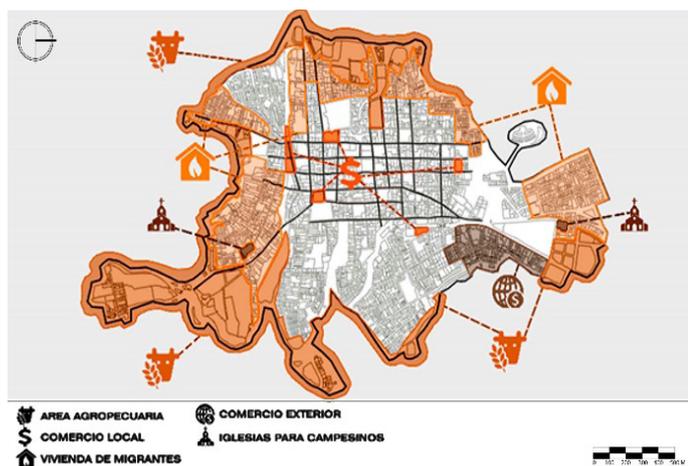
Anexo 6: Forma de Centralidades 2000 – 2018



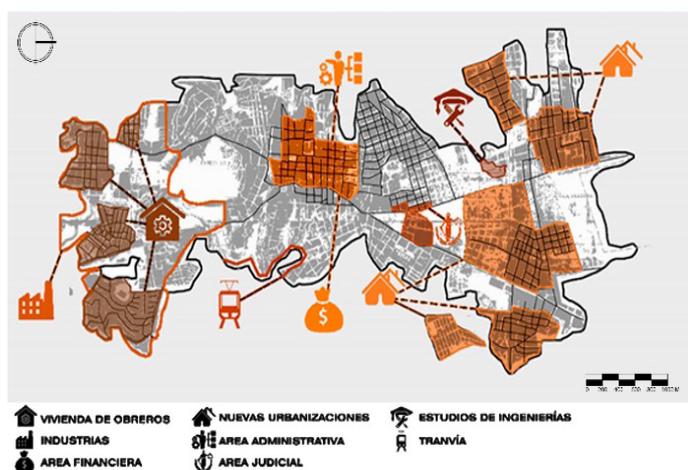
Anexo 7: Forma crecimiento de Quito 1534 – 2018



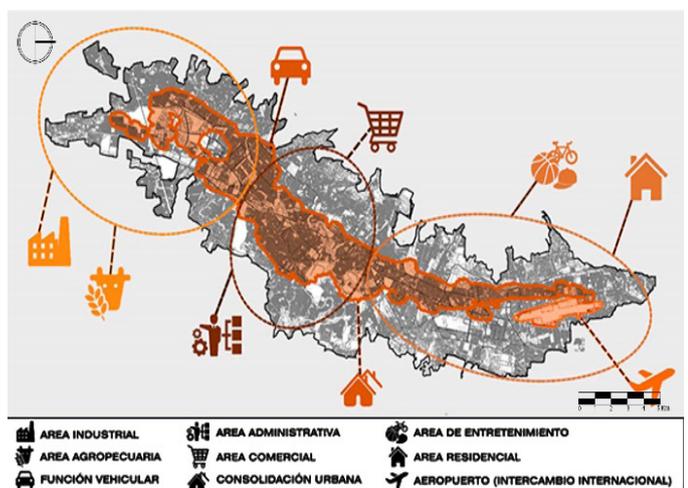
Anexo 8: Función Textil 1534 – 1800



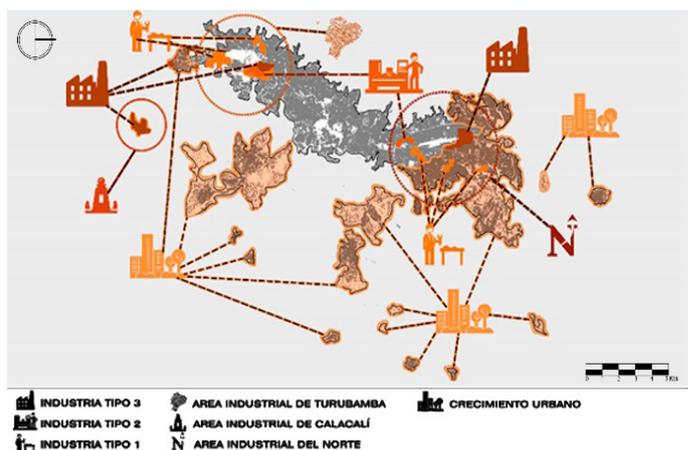
Anexo 9: Función Agropecuaria 1800 – 1900



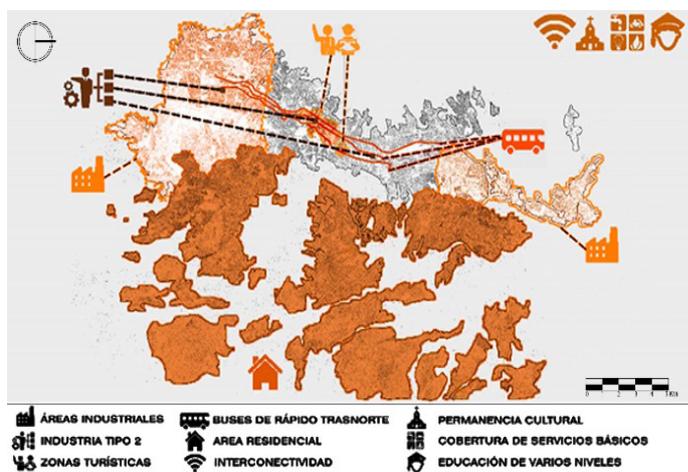
Anexo 10: Función Industrial 1900 – 1950



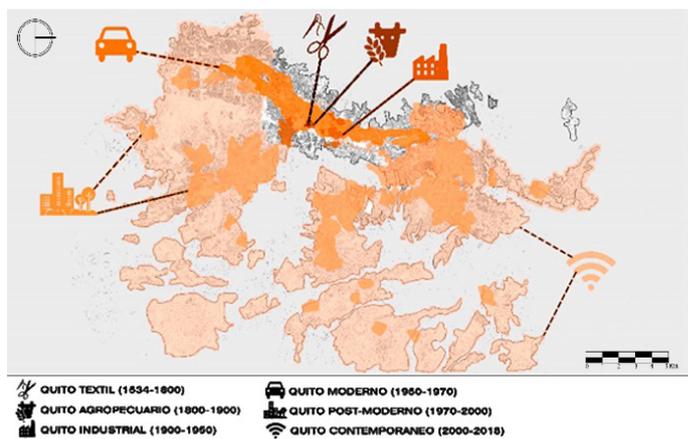
Anexo 11: Función Moderna 1950 – 1970



Anexo 12: Función Post-Moderna 1970 – 2000



Anexo 13: Función Contemporánea 2000 – 2018



Anexo 14: Función de Quito 1534 – 2018

# INFLUENCIA DE ADITIVOS (POLÍMEROS Y POLIALUMINIO) EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

## INFLUENCE OF ADDITIVES (POLYMERS AND POLYALUMINUM) IN THE PHYSICALMECHANICAL PROPERTIES OF HOT ASPHALTIC MIXTURES

**León Torres Paúl Javier**  
Magister en Geotecnia Aplicada  
Docente Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y  
Matemática. Ecuador  
pjleon@uce.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0001-6808-830X>

**Maila Paucar Jorge Humberto:**  
Técnico de Laboratorio de  
Pavimentos FICFM-UCE  
Ecuador  
jhmaila@uce.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0003-3319-1475>

**Albuja Córdova Efrén Wladimir:**  
Laboratorista de Pavimentos  
FICFM-UCE  
Ecuador  
ewalbuja@uce.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0003-1008-4706>

### RESUMEN

A nivel mundial se ha emprendido el uso de aditivos a fin de tener mezclas asfálticas de mejor calidad y que permitan disminuir el envejecimiento prematuro de las mismas, en nuestro país se requiere investigaciones que sean ejecutadas con distintos agregados pétreos y comparar el comportamiento del ligante empleado y de las mezclas propiamente dichas, por lo que este trabajo es científicamente necesario que no sea el único si no que se emprenda más investigaciones y usar distintas fuentes de materiales solo así podremos tener información y datos comparativos para la toma de decisiones en el campo de construcción de carpetas asfálticas. La investigación consiste en realizar un análisis comparativo de la influencia de los aditivos en las propiedades físico-mecánicas en las mezclas asfálticas en caliente. Se recopiló información de 3 proyectos de investigación de mezclas asfálticas modificadas con polímero SBS, RET, SBR y polialuminio, donde el Laboratorio de Pavimentos brindó apoyo en ensayos para el desarrollo de las mismas. Proyecto N°1: Agregados provenientes de Pifo con incorporación de polímero SBS y RET; Proyecto N° 2. Agregados provenientes de Nayón con incorporación de polímero SBS y SBR y Proyecto N° 3. Agregados de dos minas Píntag y Guayllabamba con incorporación de polialuminio. Con cuyos datos se analiza las mejoras que se obtiene con la incorporación de aditivos en mezclas asfálticas convencionales, respecto a las características resistentes relacionadas con la deformación plástica a través de la determinación de estabilidad y flujo (ensayo Marshall) y el valor de pérdida por desgaste (ensayo Cántabro). Demostrando que al añadir cantidades óptimas de los aditivos antes mencionados mejora las propiedades mecánicas aumenta la estabilidad y disminuye el porcentaje de pérdida por desgaste al cántabro, esto quiere decir que aumenta la cohesión de la mezcla disminuyendo el riesgo de deformación permanente (ahuellamiento) y fisuramiento, mejorando la elasticidad, aportando así en la durabilidad de la vida útil de las vías del país.

**Palabras clave:** mezcla asfáltica; polímeros; polialuminio; módulo resiliente; método marshall; tracción indirecta.

### ABSTRACT

*At a global level, the use of additives has been undertaken in order to have better quality asphalt mixtures and to reduce their premature aging. In our country, research is required to be carried out with different stone aggregates and to compare the behavior of the binder used and of the mixtures themselves, so this work is scientifically necessary that it is not the only one, but that more research is undertaken and that different sources of materials are used. The research consists of a comparative analysis of the influence of additives on the physical-mechanical properties of hot mix*

*asphalt. Information was gathered from 3 research projects on SBS, RET, SBR and polyaluminum polymer-modified asphalt mixtures, where the Pavement Laboratory provided support in tests for their development Project No. 1. Aggregates from Pifo with the incorporation of SBS and RET polymer; Project No. 2. Aggregates from Nayón with the incorporation of SBS and SBR polymer and Project No. 3. Aggregates from two Píntag and Guayllabamba mines with the incorporation of polyaluminum. With this data, the improvements obtained with the incorporation of additives in conventional asphalt mixtures are analysed with respect to the resistance characteristics related to plastic deformation through the determination of stability and flow (Marshall test) and the value of loss through wear (Cantabrian test). Demonstrating that by adding optimal quantities of the above mentioned additives improves the mechanical properties increases the stability and decreases the percentage of loss by wear to the Cantabrian, this means that increases the cohesion of the mixture decreasing the risk of permanent deformation (rutting) and cracking, improving the elasticity, thus contributing in the durability of the life of the roads of the country.*

**Keywords:** asphalt mix; polymers; poly-aluminum; resilient modulus; marshall method; indirect traction

## INTRODUCCIÓN

Actualmente en varios países se vienen utilizando aditivos e incluso existe normativa que permite garantizar su uso adecuado y controlar la mezcla en obra, en nuestro país las investigaciones se realizan de una manera continua desde hace aproximadamente dos años, lo que permitirá en el futuro contar con información de laboratorio para validar los resultados esperados en el campo, es así que la Universidad Central del Ecuador no podía quedar exenta de participar en las investigaciones en nuestro país y replicar las que se ejecutan en otras regiones del mundo, todas encaminadas en tener mezclas más duraderas y de un mejor comportamiento.

Existen normas y procedimientos internacionales para el diseño de mezclas asfálticas convencionales, así como especificaciones técnicas, sin embargo es necesario que en nuestro país se inicie con una investigación propia que establezca propiedades del comportamiento de las mismas con diferentes aditivos y fuentes de materiales a fin de que los parámetros que se obtengan sirvan de fuente de consulta y tomadas en consideración para la elaboración de una normativa propia.

Caracterizar los agregados que conforman una mezcla asfáltica hoy en día es fundamental, uno de los aspectos que se ha descuidado en nuestro país y los últimos años ante las necesidades de recursos y proyectos que tienen cada vez mejores controles de calidad. Así mismo la necesidad de obtener mezclas de mejores propiedades ha requerido que los laboratorios

de pavimentos cuenten con una tecnología que permita estudiar y garantizar su comportamiento en el campo.

Las mezclas asfálticas en caliente presentan mayor uso en el país, se busca obtener mejores propiedades y desempeño de estas, por tal motivo es primordial investigar el efecto que tiene la incorporación de aditivos para mejorarlas. (León, et al., 2019)

## METODOLOGÍA

En la presente investigación se analizará y comparará las características resistentes relacionados con la deformación plástica a través de la determinación de estabilidad y flujo (ensayo Marshall) y el valor de pérdida por desgaste (ensayo Cántabro.), de una mezcla asfáltica convencional y la mezcla asfáltica modificada con los polímeros: SBS, RET, SBS y polialuminio.

El diseño de la mezcla asfáltica se realizó mediante el método Marshall, cabe mencionar que este método es aplicable solo para mezclas asfálticas en caliente con agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1 plg.).

El método Marshall se basa en la determinación de la estabilidad y flujo mediante la utilización de especímenes de prueba estándar de una altura de 64 mm (2 ½ plg.) y un diámetro de 102 mm (4 plg). La estabilidad nos indica la resistencia máxima que soporta la mezcla asfáltica y el valor del flujo es la deformación que se produce en el espécimen entre estar sin carga y el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad.

Se consideró un tráfico pesado para el diseño de la mezcla asfáltica, de acuerdo con los criterios Marshall que constan en las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001-F-2002.

Para que una capa de rodadura tenga un buen comportamiento, sus componentes deben ser de buena calidad, tanto en durabilidad como en resistencia, por lo que se analiza cada una de las propiedades que se debe considerar en los materiales pétreos que forman parte de una mezcla asfáltica en caliente.

**Tabla 1. Criterios Marshall (Ministerio de obras públicas y comunicaciones, 2002).**

| TIPO DE TRAFICO<br>CRITERIOS<br>MARSHALL                           | Muy Pesado        |      | Pesado |      | Medio |      | Liviano |      |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------|------|--------|------|-------|------|---------|------|
|                                                                    | Min.              | Max. | Min.   | Max. | Min.  | Max. | Min.    | Max. |
| No. De Golpes/Cara                                                 | 75                |      | 75     |      | 50    |      | 50      |      |
| Estabilidad (libras)                                               | 2200              | ---- | 1800   | ---- | 1200  | ---- | 1000    | 2400 |
| Flujo (pulgada/100)                                                | 8                 | 14   | 8      | 14   | 8     | 16   | 8       | 16   |
| % de vacíos en mezcla                                              | VER TABLA 405-5.5 |      |        |      |       |      |         |      |
| - Capa de Rodadura                                                 | 3                 | 5    | 3      | 5    | 3     | 5    | 3       | 5    |
| - Capa Intermedia                                                  | 3                 | 8    | 3      | 8    | 3     | 8    | 3       | 8    |
| - Capa de Base                                                     | 3                 | 9    | 3      | 9    | 3     | 9    | 3       | 9    |
| Relación filler/betún                                              | 0.8               | 1.2  | 0.8    | 1.2  |       |      |         |      |
| % Estabilidad retenida luego 7 días en agua (temperatura ambiente) |                   |      |        |      |       |      |         |      |
| - Capa de Rodadura                                                 | 70                | ---- | 70     | ---- |       |      |         |      |
| - Intermedia o base                                                | 60                | ---- | 60     | ---- |       |      |         |      |

Los agregados para ser utilizados en una mezcla asfáltica deben cumplir con las especificaciones generales del MOP-001-F2002 que actualmente están vigentes en nuestro País, que proponen los siguientes requerimientos:

**Tabla 2. Ensayos requeridos para caracterización de agregados.**

| Ensayo                                                                                                          | Especificaciones MOP-001-F-2002                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Granulometría de áridos (ASTM C136)                                                                             | Deberá cumplir con los requisitos establecidos en la sección 811 (agregados para hormigón asfáltico)                                                   |
| Desgaste a la Abrasión (ASTM C 131)                                                                             | Los agregados gruesos no deberán tener un desgaste mayor de 40% luego de las 500 revoluciones de la máquina de los Ángeles.                            |
| Densidad Relativa (Gravedad específica) y absorción del agregado grueso (ASTM C127) y agregado fino (ASTM C128) | Necesarios para realizar el diseño de la mezcla asfáltica                                                                                              |
| Porcentaje de partículas fracturadas (ASTM D 5821)                                                              | El 85% de agregado grueso deberá tener por lo menos una cara fracturada y el 80 % del agregado grueso deberá tener por lo menos dos caras fracturadas. |
| Partículas planas y alargadas (ASTM D 4791)                                                                     | Máximo porcentaje en peso de partículas alargadas y achatadas, no deberá ser mayor de un 10%.                                                          |
| Contenido de Terrones de arcilla y partículas desmenuzables (ASTM C 142)                                        | El máximo porcentaje de materiales deletéreos en los agregados es de 1%.                                                                               |
| Solidez de los agregados mediante el uso de sulfato de sodio y magnesio ( ASTM C 88)                            | El agregado no debe experimentar desintegración ni pérdida total mayor del 12 %, cuando se lo someta a 5 ciclos.                                       |
| Equivalente de arena (ASTM D 2419)                                                                              | Como mínimo para un tráfico pesado se requiere 50%                                                                                                     |

La fuente de los materiales utilizados en los proyectos de investigación se detalla en la siguiente tabla.

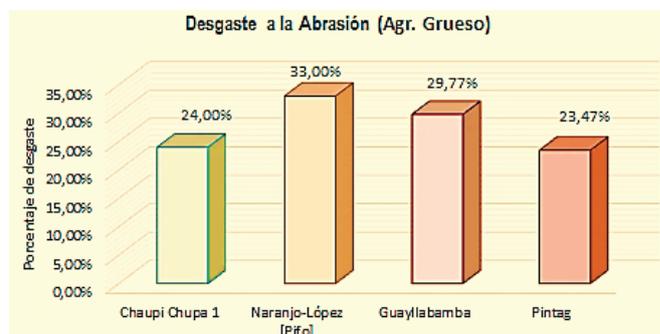
**Tabla 3. Minas utilizadas en las investigaciones.**

| Mina           | Sector       |
|----------------|--------------|
| Chaupi Chupa 1 | Nayón        |
| Naranjo-López  | Pifo         |
| Guayllabamba   | Guayllabamba |
| Pintag         | Pintag       |

Una vez realizada la caracterización de los agregados se realizó el diseño de la mezcla asfáltica convencional, se incorporó el aditivo en varios porcentajes hasta determinar el porcentaje óptimo para mejorar las propiedades físico-mecánicas de cada una de las mezclas en estudio. Como parte de la investigación adicional en el Proyecto N° 1 se realizó el ensayo de tracción indirecta y módulo de rigidez o resiliente.

**Resultados de caracterización del material pétreo.**

El desgaste a la abrasión mide la dureza del material, la resistencia a la abrasión e impacto, los agregados sufren degradación durante la producción, colocación, compactación de la mezcla asfáltica y durante la vida útil del pavimento. Todas las minas cumplen con la especificación del MOP-001-F-2002 (ver tabla. 1).



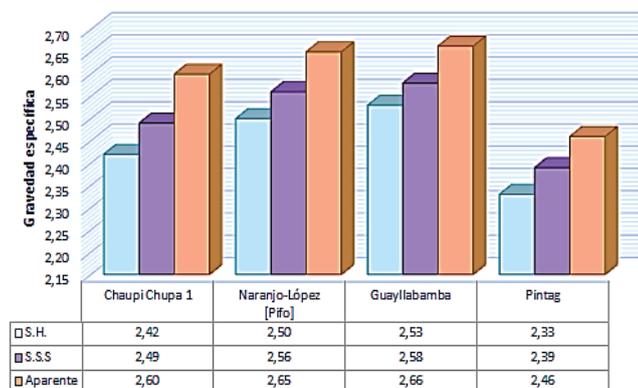
**Figura 1. Desgaste a la Abrasión**

El peso específico es una forma de expresar la característica del peso y volumen de los materiales. Esta característica es importante en el diseño de mezclas asfálticas, así como también mediante cálculos nos permite determinar el porcentaje de vacíos de las mezclas. (Asphalt institute, 1982)

La capacidad de un agregado de absorber agua o asfalto es también un dato muy importante ya que si un agregado tiene la capacidad de absorción muy alto significaría que seguirá absorbiendo asfalto después del mezclado en la planta, dejando así menos asfalto en su superficie para ligar las demás partículas de

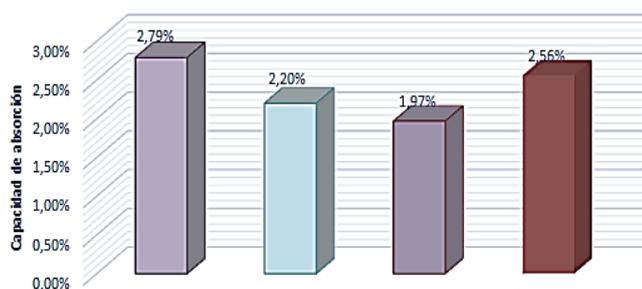
agregado. Debido a esto un agregado de mayor capacidad de absorción requiere mayor cantidad de asfalto, esto significaría un aumento en el costo de producción, sin embargo, tampoco se recomienda agregados con capacidad de absorción muy bajos ya que no tendría una buena adherencia con el asfalto. (Asphalt institute, 1982).

**Gravedad Especifica (Agr. Grueso)**



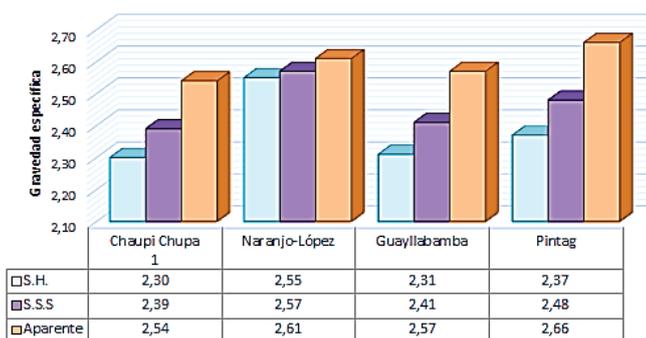
**Figura 2. Gravedad específica del agregado grueso**

**Capacidad de Absorción (Agr. Grueso)**



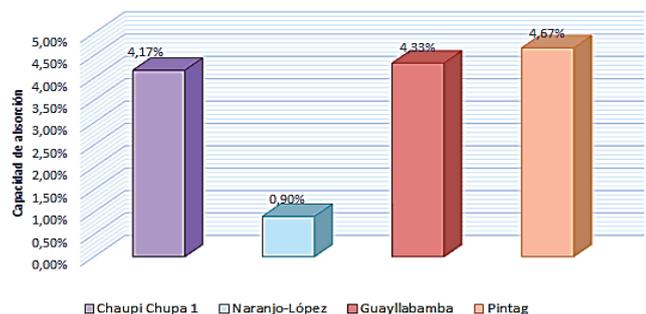
**Figura 3. Capacidad de absorción del agregado grueso**

**Gravedad Especifica (Agr. Fino)**



**Figura 4. Gravedad específica del agregado fino**

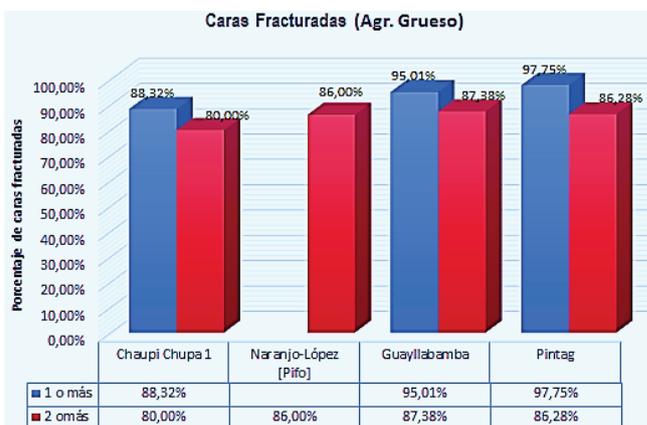
**Capacidad de Absorción (Agr. Fino)**



**Figura 5. Capacidad de absorción del agregado fino**

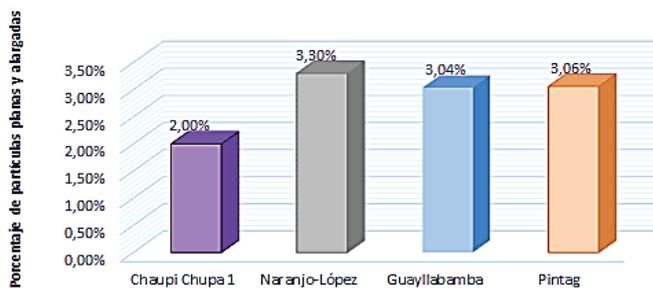
La forma de las partículas es un factor muy importante ya que afecta a la trabajabilidad de la capa de rodadura durante su colocación, así como la cantidad de fuerza necesaria para su compactación, y resistencia de la estructura a lo largo de su vida útil, por tal motivo se realiza un control de la cantidad de partículas irregulares y angulares, mediante ensayos como el de caras fracturadas y partículas alargadas y achatadas. (León, et al., 2019).

**Caras Fracturadas (Agr. Grueso)**



**Figura 6. Caras fracturadas**

**Partículas Planas y Alargadas (Agr. Grueso)**



**Figura 7. Porcentaje de partículas planas y alargadas**

El ensayo de contenido de terrones de arcilla y partículas desmenuzables es de suma importancia, ya que el agregado para uso en mezclas asfálticas se requiere que cumplan con especificaciones técnicas de pureza o limpieza.

Las especificaciones técnicas del MOP-001-F-2002, señala que el máximo contenido permisible de partículas desmenuzables y terrones de arcilla es de 1%, en la Figura 8 se puede apreciar que el agregado fino de la mina Chaupi Chupa 1 dio como resultado un valor superior al permitido en las especificaciones, sin embargo tiene buenas características en las demás pruebas de caracterización por lo que se optó por su utilización con la recomendación de realizar un proceso de lavado previo a ser incorporado en la mezcla asfáltica.

**Terrones de arcilla y partículas desmenuzables (Agr. Grueso)**

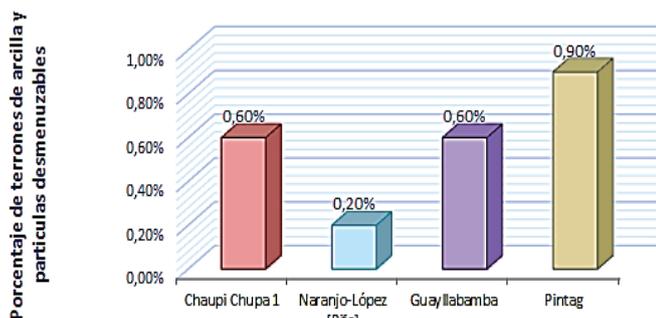


Figura 8. Porcentaje de arcilla y partículas desmenuzables del agregado grueso

**Durabilidad a la acción de Na<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>) (Agr. Grueso)**

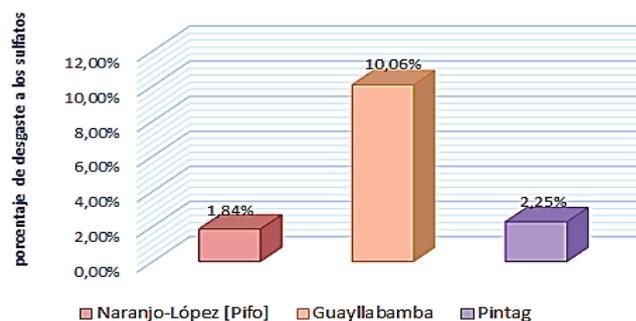


Gráfico 11. Porcentaje de desgaste al sulfato de sodio del agregado grueso.

**Terrones de arcilla y partículas desmenuzables (Agr. Fino)**

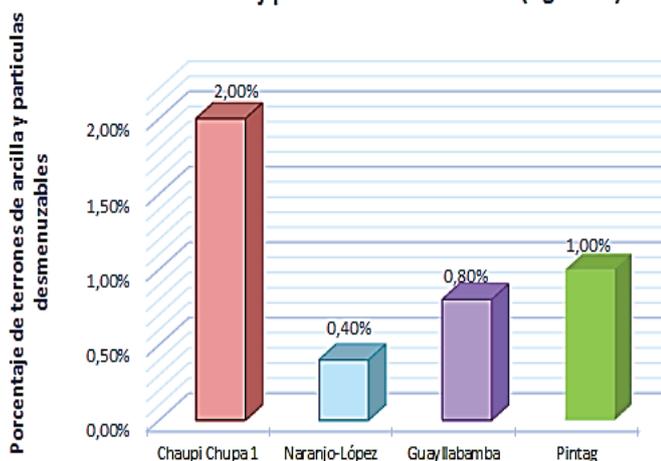


Figura 9. Porcentaje de arcilla y partículas desmenuzables del agregado fino

**Solidez a la acción de Mg(SO<sub>4</sub>) (Agr. Fino)**

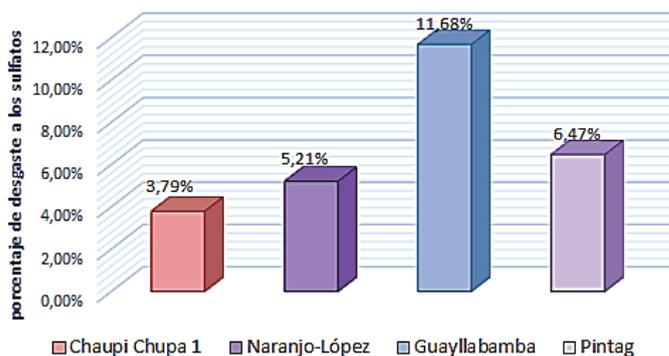


Figura 12. Porcentaje de desgaste al sulfato de magnesio del agregado fino.

Entre los ensayo ejecutados se realizó el de solidez de los agregados mediante el uso de sulfato de sodio y magnesio para determinar el comportamiento que tienen los agregados ante la acción de sales que reflejan el comportamiento de los agregados en estado de servicio, se realizó 5 ciclos de lavado y secado utilizando el reactivo Sulfato de Magnesio (MgSO<sub>4</sub>) y Sulfato de Sodio (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y al final se determinó, el desgaste o pérdida de masa de los agregados. (León, et al., 2019)

**Solidez a la acción de Na<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>) (Agr. Fino)**

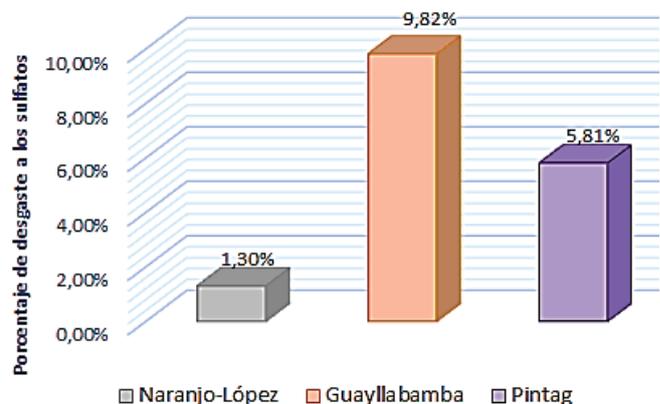


Figura 13. Porcentaje de desgaste al sulfato de sodio del agregado fino.

**Solidez a la acción de Mg (SO<sub>4</sub>) (Agr. Grueso)**

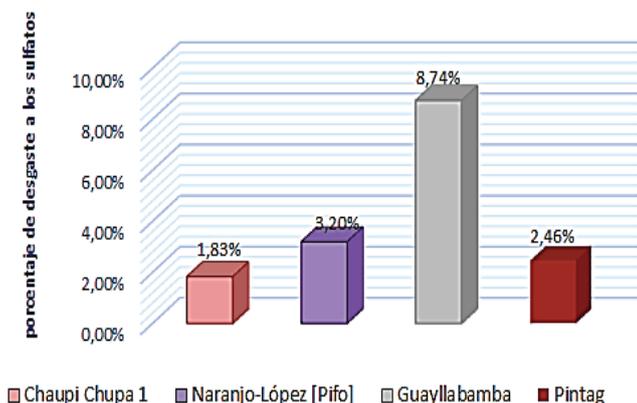


Figura 10. Porcentaje de desgaste al sulfato de magnesio del agregado grueso.

El ensayo de equivalente de arena permite especificar la cantidad admisible de finos arcillosos o material nocivo en el agregado fino, cuyos resultados se presentan a continuación.

**Equivalente de Arena (Agr. Fino)**

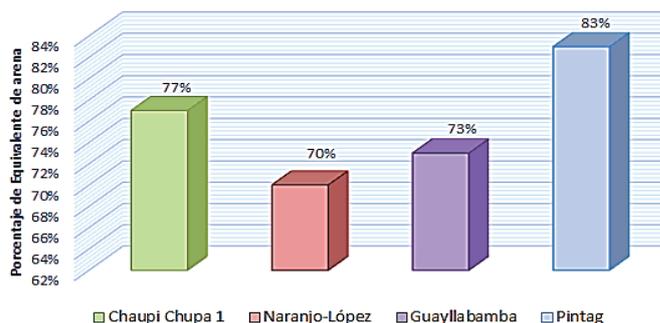


Figura 14. Porcentaje de equivalente de arena del agregado fino.

## RESULTADOS

### Resultados de la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS y RET, empleando agregados de la mina del sector de Pifo.

Se realizó pruebas con 3 porcentajes de aditivo SBS: 2%, 3% y 4%; y 4 pruebas con porcentajes de aditivos RET: 1%, 1,3%, 1,5% y 2%.

Se evidencia el incremento de la estabilidad y flujo en la mezcla asfáltica modificada con polímero RET y SBS respecto al valor obtenido con la mezcla convencional.

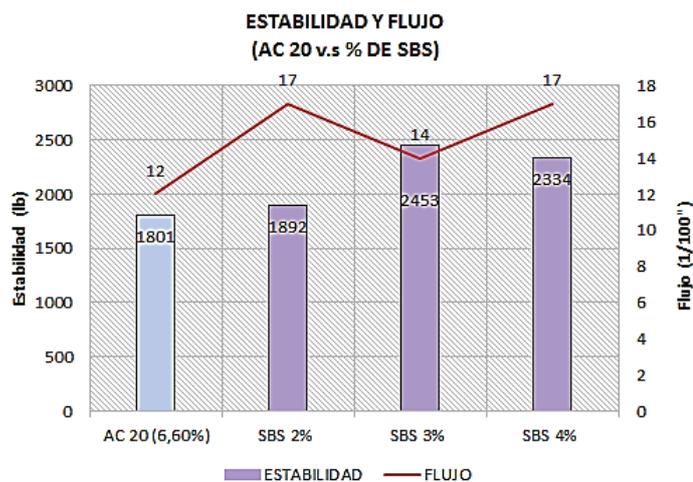


Figura 15. Estabilidad y flujo de mezcla asfáltica incorporando porcentajes de polímero SBS.

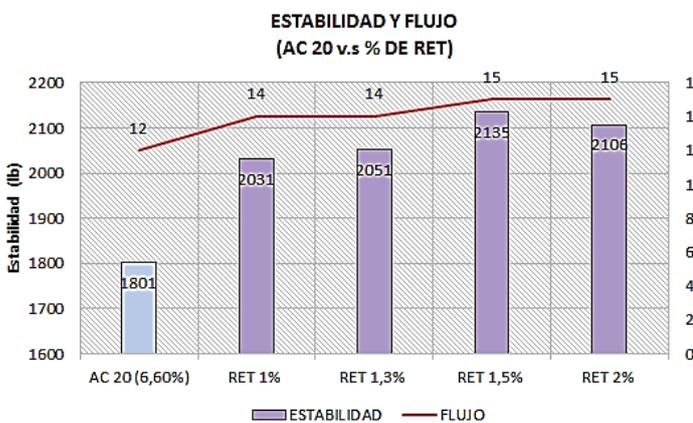


Figura 16. Estabilidad y flujo de mezcla asfáltica incorporando porcentajes de polímero RET.

Módulo de rigidez o Resiliente es la prueba para evaluar y medir la rigidez de las mezclas asfálticas compactadas, se basa en los mismos principios del ensayo de tracción indirecta, con la diferencia que las muestras son expuestas a cargas cíclicas. Estas cargas dinámicas, tratan de reproducir la condición real del pavimento, con la limitación de evaluar únicamente el comportamiento elástico del mate-

rial, despreciando la componente del comportamiento viscoso, como si lo hace el ensayo de módulo dinámico complejo. (Minaya & Ordoñez, 2006)

Los valores de las mezclas asfálticas modificadas con polímero RET y SBS presentan una variación (aumento - disminución) respecto al valor obtenido con la mezcla convencional, es así que, para temperaturas medias y altas (20°C, 30°C y 40°C, 50°C) se presenta un incremento significativo en el módulo de rigidez y a bajas temperaturas (5°C, 10°C) se obtiene valores relativamente similares e incluso bajos.

En las mezclas asfálticas modificadas con polímeros SBS y RET respecto a la mezcla convencional, la disminución del módulo de rigidez a bajas temperaturas incide en una menor susceptibilidad a la fisura o agrietamiento por fatiga, en cambio con el aumento de este valor a elevadas temperaturas influye en la disminución del riesgo de deformación permanente mejorando la elasticidad, optimizando significativamente estos aspectos que en las mezclas con asfalto convencional son escasos al presentar un comportamiento termoplástico (susceptibilidad térmica alta), duro y quebradizo a bajas temperaturas y blando con baja recuperación elástica a altas temperaturas, convirtiéndose de esta manera el módulo de rigidez (módulo resiliente), una prueba efectiva para caracterizar el desempeño de las mezclas asfálticas en un rango amplio de temperaturas de servicio. (Merizalde, et al., 2017)

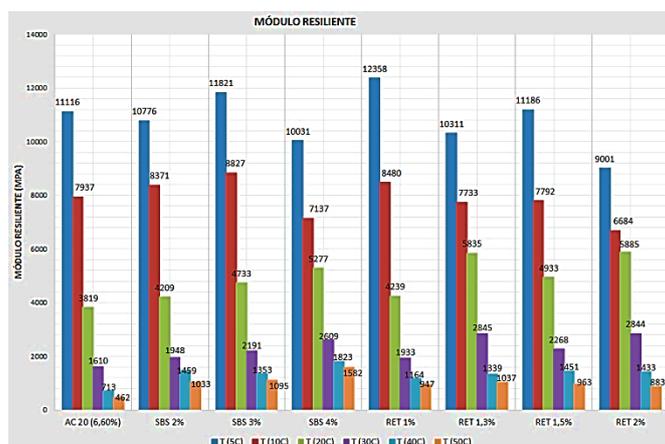


Figura 17. Módulo resiliente de mezcla asfáltica convencional y modificada, incorporando porcentajes de polímero SBS y RET, a temperatura de 5°C, 10°C, 20°C, 30°C, 40°C y 50°C.

El ensayo cántabro determina el porcentaje de pérdida por desgaste de mezclas asfálticas abiertas sin embargo como parte de investi-

gación se realizó este ensayo para evaluar la cohesión de la mezcla asfáltica, a la vez que es un parámetro para caracterizar al cemento asfáltico en función al menor porcentaje de desgaste presentado en la mezcla. (Perez & Miro, 2002)

Los resultados de pérdida por desgaste para la mezcla convencional y modificada con polímero SBS y RET se evidencian en el Grafico 18, que disminuye progresivamente el desgaste conforme aumenta el porcentaje de polímero lo que se ve traducida en un aumento de la cohesión en las mezclas asfálticas disminuyendo problemas de penetración de agua y por ende la oxidación aportando en la durabilidad de la vida útil del pavimento.

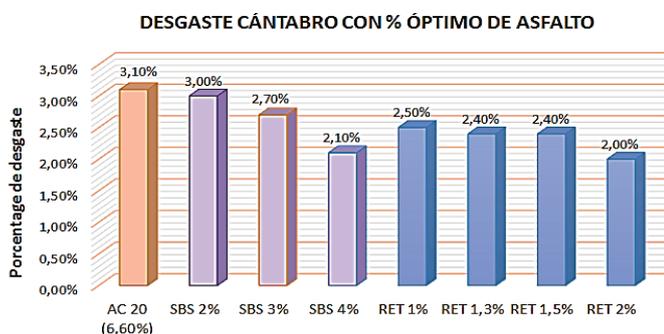


Figura 18. Porcentaje de desgaste de mezcla asfáltica convencional y modificada incorporando porcentajes de polímero SBS y RET.

Luego de los análisis de desempeño en base a los ensayos ejecutados se concluye que el porcentaje óptimo de polímero SBS es del 3%. Con este porcentaje se tiene un incremento en la estabilidad del 36 % respecto a la mezcla convencional. (Merizalde, et al., 2017)

El porcentaje óptimo de polímero RET es de 1.3%. Con este porcentaje se tiene un incremento en la estabilidad del 17 % respecto a la mezcla convencional. (Merizalde, et al., 2017)

El ensayo de Tracción Indirecta mide la resistencia a la compresión diametral de la muestra asfáltica. En el Figura19 se observa que incrementa con el uso de polímeros tanto para el SBS y RET. Para el porcentajes óptimos de polímero SBS del 3% incrementa la capacidad de tracción de 6.74 kg/cm<sup>2</sup> a 9.49 kg/cm<sup>2</sup>, incrementando un 40.80 % con respecto a la mezcla convencional, mientras que el polímero RET a 1.3 % incrementa su resistencia de 6.74 kg/cm<sup>2</sup> a 9.18 kg/cm<sup>2</sup> en un 36.20 % respecto a la mezcla convencional.

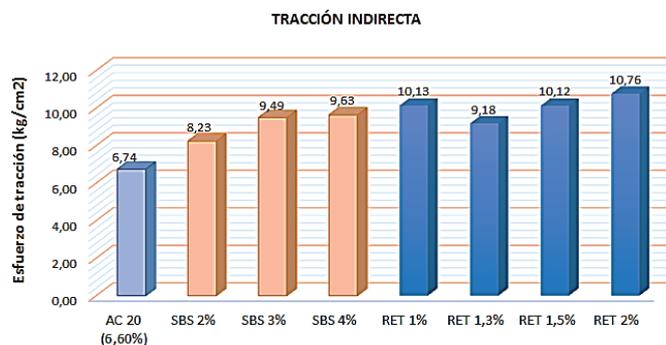


Figura 19. Tracción indirecta incorporando porcentajes de polímero SBS y RET.

Resultados de la mezcla asfáltica modificada con polimeros SBS y SBR, empleando agregados de la mina sector de Nayón.

Se realizó pruebas con 3 porcentajes de aditivo SBS: 2%, 3% y 4%; y 3 pruebas con porcentajes de aditivos SBR: 1%, 2% y 3%.

Existe incremento de la estabilidad y flujo en la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS y SBR respecto al valor obtenido con la mezcla convencional.

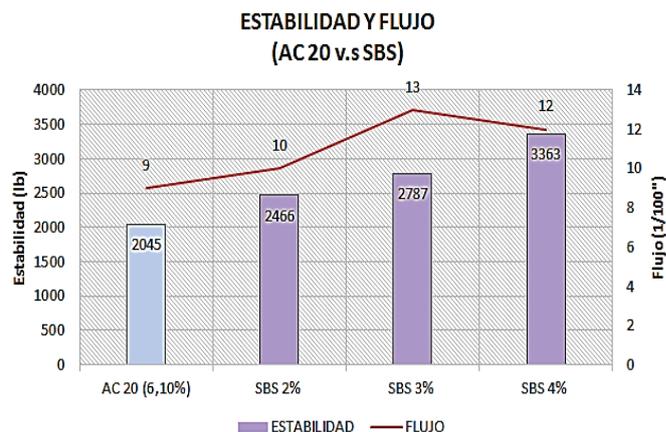


Gráfico 20 Estabilidad y flujo de mezcla asfáltica incorporando porcentajes de polímero SBS.

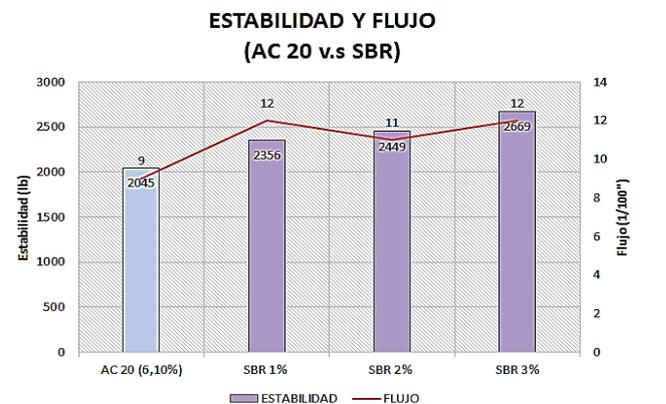


Figura 21. Estabilidad y flujo de mezcla asfáltica incorporando porcentajes de polímero SBR.

Los resultados obtenidos por el método Marshall indican que la mezcla modificada con los polímeros SBS y SBR, los que mayor estabilidad se produjo son los de 4% de SBS y 3% de SBR.

Sin embargo, éstas no cumplen con el resto de especificaciones del método Marshall (Porcentaje de vacíos; Vacíos del agregado mineral-VAM; Vacíos llenos de asfalto-VFA), por lo tanto no cumplen las especificaciones generales del MOP-001-F-2002 (ver Tabla 4), por consiguiente y como comprobación, las mezclas modificadas con polímero SBS al 2 % y con polímero SBR al 1 %, son las de mejor desempeño global.

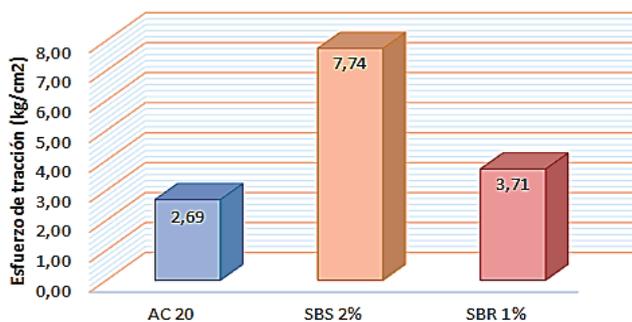
**Tabla 4. Propiedades Marshall de mezcla asfáltica convencional y modificada con polímero SBS y SBR**

| Mezcla       | % de Vacíos | VAM   | VFA   | Estabilidad | Flujo |
|--------------|-------------|-------|-------|-------------|-------|
| Convencional | 4.00        | 14.00 | 69.00 | 2045        | 9     |
| SBS 2%       | 3.87        | 11.39 | 66.05 | 2466        | 10    |
| SBS 3%       | 5.51        | 12.01 | 54.12 | 2787        | 13    |
| SBS 4%       | 5.10        | 12.82 | 60.21 | 3363        | 12    |
| SBR 1%       | 4.13        | 12.66 | 67.42 | 253         | 12    |
| SBR 2%       | 6.06        | 14.08 | 43.03 | 2449        | 11    |
| SBR 3%       | 9.37        | 15.25 | 38.58 | 2669        | 12    |

Respecto a los valores de la mezcla convencional al incorporar el polímero SBS al 2% incrementa la estabilidad un 20.58% y con el polímero SBR al 1 % aumenta un 15.20%.

En el ensayo de Tracción Indirecta se observa que el uso de polímeros SBS del 2% incrementa la capacidad de tracción de 2.69 kg/cm<sup>2</sup> a 7.74 kg/cm<sup>2</sup>, incrementando un 188 % con respecto a la mezcla convencional, mientras que el polímero SBR a 1 % incrementa su resistencia de 2.69 kg/cm<sup>2</sup> a 3.71 kg/cm<sup>2</sup> en un 38.20 % respecto a la mezcla convencional.

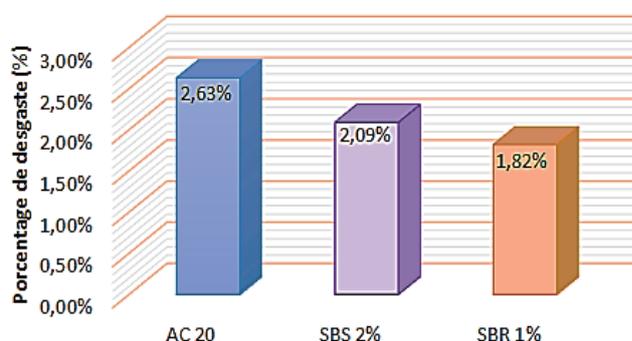
**TRACCIÓN INDIRECTA**



**Figura 22. Tracción indirecta incorporando porcentajes óptimos de polímero SBS y SBR.**

En la Figura 23 se puede observar que se produjo un menor desgaste en las mezclas modificadas tanto con polímero SBS como SBR, siendo el porcentaje de desgaste promedio de la mezcla convencional 2.6%, mientras que la mezcla modificada con polímero SBS a 2%, tuvo un desgaste promedio de 2.1%, y la mezcla modificada con polímero SBR a 1%, un valor de desgaste promedio de 1.8%, lo cual significa que para la mezcla modificada con el polímero SBS se obtuvo una disminución del desgaste del 19.23%, mientras que para la mezcla modificada con el polímero SBR se obtuvo una disminución del desgaste del 30.77%.

**DESGASTE CÁNTABRO**



**Figura 23. Porcentaje de desgaste de mezcla asfáltica convencional y modificada incorporando porcentaje óptimo de polímero SBS y SBR.**

**Resultados de mezclas asfálticas en caliente modificadas con polialuminio y mezcla convencional**

Se realizó dos diseños convencionales: una con agregados de la mina Píntag y otra con agregado de la mina de Guayllabamba, a las cuales se incorporó el aditivo polialuminio. Se realizó pruebas incorporando 4 porcentajes: 0.5%, 1%, 1.5% y 2% para la mezcla convencional de cada mina. El Polialuminio es un material reciclado de envases de tetra pack.

Para el diseño de la mezcla asfáltica empleando agregados de Guayllabamba, se tiene que el porcentaje óptimo de polialuminio es de 1.50%, ya que con valores mayores el flujo sale del rango máximo tolerable. Respecto a los valores de la mezcla convencional al incorporar el polialuminio al 1.5% incrementa la estabilidad en un 1.82%. (León, et al., 2020)

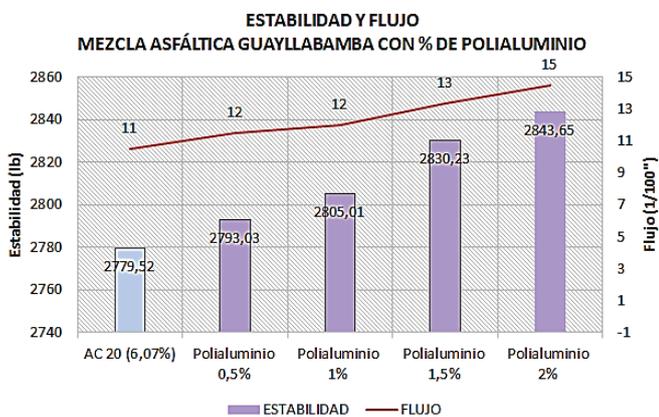


Figura 24. Estabilidad y flujo de mezcla asfáltica con agregado de Guayllabamba incorporando porcentajes de polialuminio.

Para el caso de diseño de la mezcla asfáltica con agregados de Píntag, se tiene que el porcentaje óptimo de polialuminio empleado en el diseño de la mezcla es de 1.00%, ya que con porcentajes mayores a este, el flujo de la mezcla asfáltica se sale del rango máximo admisible. Respecto a los valores de la mezcla convencional al incorporar el polialuminio al 1.00% incrementa la estabilidad en un 1.98%. (León, et al., 2020)

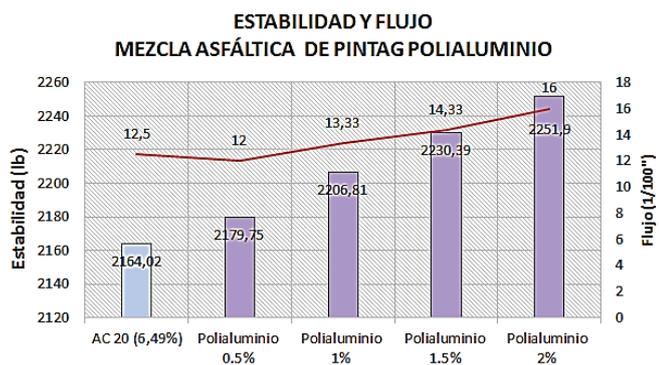


Figura 26. Estabilidad y flujo de mezcla asfáltica con agregado de Píntag incorporando porcentajes de polialuminio.

El desgaste cántabro debe ser lo menor posible. En la Figura 27 se puede observar que al modificar con polialuminio las mezclas asfálticas convencionales el porcentaje de desgaste disminuye. La mezcla asfáltica convencional diseñada con agregados de Guayllabamba presenta un desgaste del 1.19% mientras que la mezcla modificada con 1.50% de polialuminio presenta un desgaste de 1.11%, así mismo, al analizar la mezcla asfáltica convencional diseñada con agregados de Píntag tiene un desgaste del 4.83% mientras que la mezcla modificada con 1.00% de polialuminio presenta un desgaste de 4.50%. (León, et al., 2020)

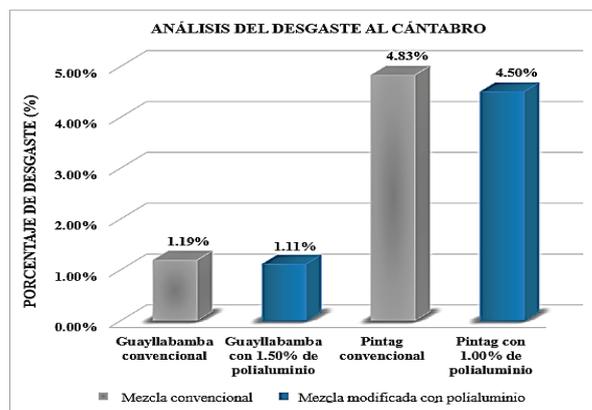


Figura 27. Porcentaje de desgaste de mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polialuminio al 1.5% y 1 % respectivamente.

## CONCLUSIONES

La cantidad de asfalto se obtuvo mediante la Metodología de Diseño Marshall y el porcentaje de aditivo de manera experimental como se encuentra indicado en las figuras 15, 16, 18, 20, 21, 24 y 26

El material pétreo debe cumplir con las especificaciones generales establecidas por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas para ser utilizadas en una mezcla asfáltica.

Las características físicas y mecánicas de los agregados son diferentes por lo que cada diseño de mezcla asfáltica es específico para cada mina.

De manera general la incorporación de aditivos ayuda a incrementar la estabilidad con respecto a una mezcla convencional, sin embargo el aditivo que mejor aporte obtuvo es el polímero SBS: aumentando un 36% para la mezcla realizada con los agregados de la mina Naranjo López (Pifo) y un 20.58 % para la mezcla utilizando los agregados de la mina Chaupi Chupa 1. (Nayón)

La incorporación de los polímeros a la mezcla asfáltica incrementa la resistencia lateral de las mezclas (tracción indirecta). Para el caso de la mezcla asfáltica con agregados de la mina Chaupi Chupa 1 (Nayón) se observa que el uso de polímeros en la mezcla asfáltica SBS del 2% incrementa la capacidad de tracción de 2.69 kg/cm<sup>2</sup> a 7.74 kg/cm<sup>2</sup>, incrementando un 188 % con respecto a la mezcla convencional,

mientras que el polímero SBR a 1 % incrementa su resistencia de 2.69 kg/cm<sup>2</sup> a 3.71 kg/cm<sup>2</sup> en un 38.20 % respecto a la mezcla convencional. Mientras que para la mezcla asfáltica con agregados de la mina Chaupi Chupa (Nayón) para el porcentaje de polímero SBS del 3% incrementa la capacidad de tracción de 6.74 kg/cm<sup>2</sup> a 9.49 kg/cm<sup>2</sup>, incrementando un 40.80% con respecto a la mezcla convencional, mientras que el polímero RET a 1.3 % incrementa su resistencia de 6.74 kg/cm<sup>2</sup> a 9.18 kg/cm<sup>2</sup> en un 36.20% respecto a la mezcla convencional.

En las mezclas asfálticas modificadas con polímeros respecto a la mezcla convencional, la disminución del módulo de rigidez a bajas temperaturas incide en una menor susceptibilidad a la fisura o agrietamiento por fatiga y en cambio con el aumento de este valor a elevadas temperaturas influye en la disminución del riesgo de deformación permanente mejorando la elasticidad, optimizando significativamente estos aspectos que en las mezclas con asfalto convencional son escasos al presentar un comportamiento termoplástico (susceptibilidad térmica alta), duro y quebradizo a bajas temperaturas y blando con baja recuperación elástica a altas temperaturas. Convirtiéndose de esta manera el módulo de rigidez (módulo resiliente), una prueba efectiva para caracterizar el desempeño de las mezclas asfálticas en un rango amplio de temperaturas de servicio.

Las mezclas asfálticas modificadas con polímero y polialuminio disminuye el porcentaje de pérdida por desgaste al cántabro, esto quiere decir que al incorporar polímero aumenta la cohesión de la mezcla disminuyendo así problemas de penetración de agua y por ende la oxidación aportando así en la durabilidad de la vida útil del pavimento.

En comparación con los resultados obtenidos de investigaciones previas, con respecto a la mezcla modificada con polímero SBS, tenemos que dio como resultado el porcentaje óptimo de polímero SBS del 3% con agregados de la mina Naranjo López (Pifo), dando un aumento de la estabilidad en un 36%, respecto de los valores obtenidos de la mezcla convencional, mientras que para la mezcla utilizando agregados de la mina Chaupi Chupa 1 (Nayón) el porcentaje óptimo de polímero SBS fue al 2%, con un aumento de estabilidad del 20.58%, la diferencia puede darse por las propiedades

mecánicas de los agregado utilizados en las investigaciones.

Las mezclas modificadas con polialuminio, respecto a los valores de la mezcla convencional con agregados de Píntag el polialuminio al 1.00% incrementa la estabilidad en un 1.98%, para la mezcla con agregados de Guayllabamba al incorporar el polialuminio al 1.5% incrementa la estabilidad en un 1.82% así como también es un gran aporte ya que se utiliza material reciclado de tetra pack y de esta manera ayuda a proteger el medio ambiente.

A continuación se presenta una evaluación de los resultados obtenidos para su comparación cuantitativa, en la evaluación de desempeño en el envejecimiento del asfalto convencional y asfalto modificado con polímero (PAM) SBS y RET con el Ensayo de Película delgada en horno giratorio (RTFO) con la incorporación de los polímeros SBS y RET la pérdida de masa aumentó, esto quiere decir que aumenta la presencia de volátiles en el asfalto .

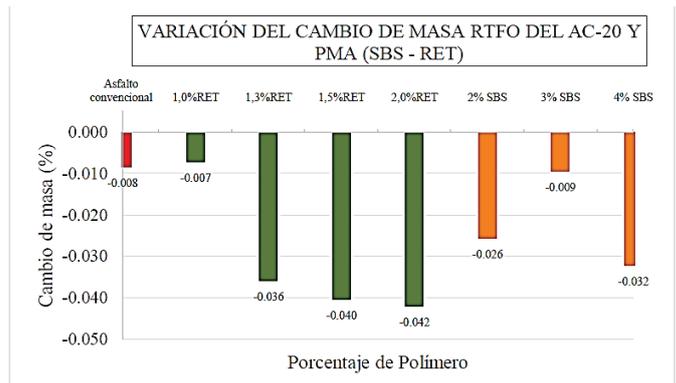


Figura 28. Variación del cambio de masa RTFO del Ac-20 y PMA (SBS - RET)

La evolución del desempeño en el envejecimiento del asfalto convencional y modificado mediante el ensayo de penetración y ductilidad fueron los siguientes:

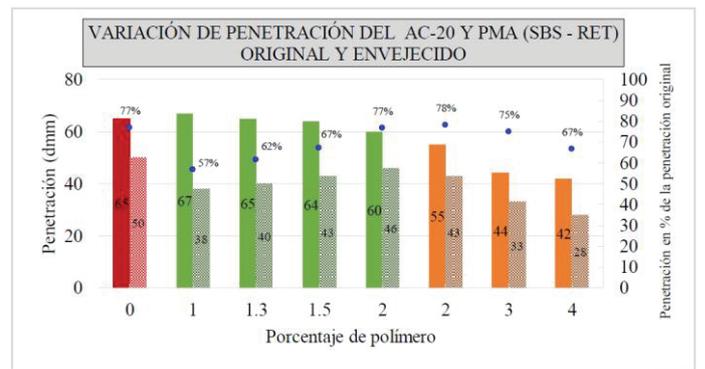


Figura 29. Variación de penetración en el asfalto convencional y PMA (SBS-RET) en condición original y envejecida.

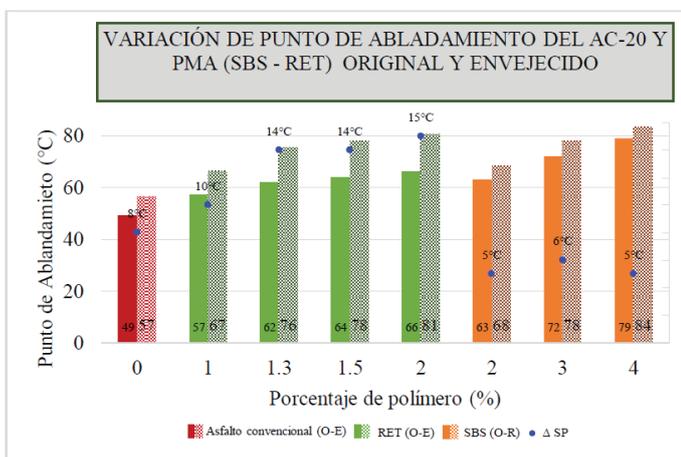


Figura 30. Variación del punto de ablandamiento en el asfalto convencional y PMA (SBS-RET) en condición original y envejecida.

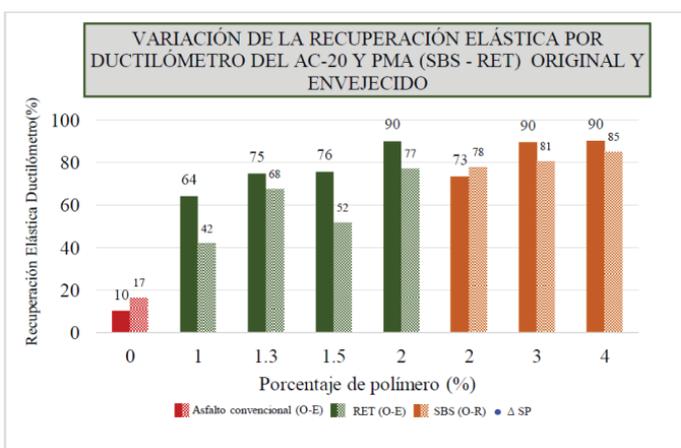


Figura 31. Variación de la recuperación elástica por ductilómetro del asfalto convencional y PMA (SBS-RET) en condición original y envejecida.

De los datos obtenidos en la investigación de las propiedades de penetración, punto de ablandamiento y ductilidad, estas cambian después del envejecimiento. Los PMA mostraron un endurecimiento progresivo representado en una disminución en la penetración y un aumento en la temperatura del punto de ablandamiento.

En la evaluación de desempeño en el envejecimiento del asfalto convencional y asfalto modificado con polímero (PAM) SBS y SBR mediante el Ensayo de Película delgada en horno giratorio (RTFO) los resultados obtenidos con la incorporación de los polímeros SBS y SBR existe mayor presencia de volátiles en el asfalto por consiguiente se produce una mayor pérdida de masa, tal como con el RET, explicado anteriormente.

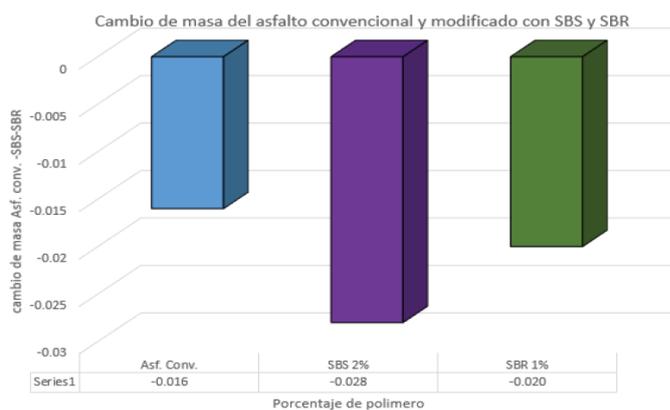


Figura 32. Cambio de masa del asfalto convencional y modificado con SBS y SBR.

La evolución del desempeño en el envejecimiento del asfalto convencional y modificado se hizo mediante el ensayo de penetración y ductilidad cuyos resultados fueron los siguientes:

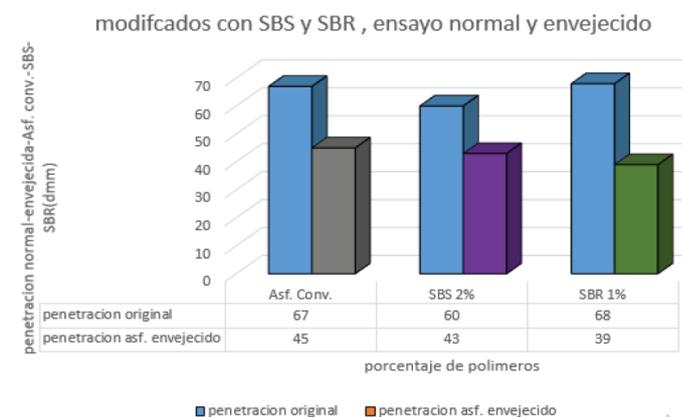


Figura 33. Variación de penetración en el asfalto convencional y PMA (SBS-SBR) en condición original y envejecida.

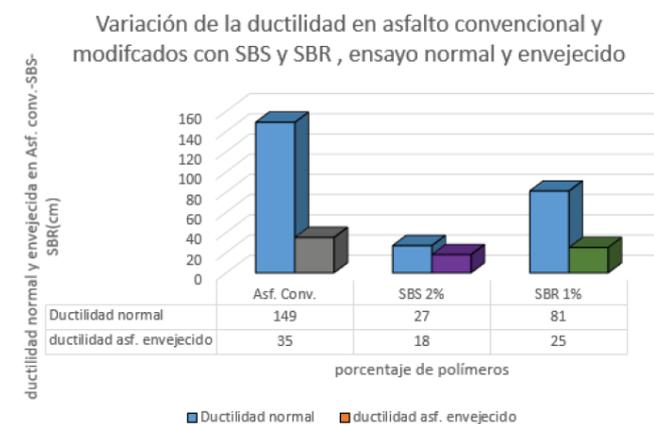


Figura 34. Variación de la ductilidad en asfalto convencional y PMA (SBS-SBR) en condición original y envejecida.

Al respecto el asfalto sufrió un proceso de endu-

recimiento, lo que implica una disminución de la elasticidad y un aumento de la rigidez al incorporar los polímeros SBS y SBR, mayor será la resistencia de la mezcla asfáltica ante la formación de roderas (ahuellamiento).

## RECOMENDACIONES

Los resultados de la caracterización de los agregados pétreos no se deben considerar como valores únicos de la zona, estos se pueden alterar debido a meteorización, tipo de producción, variación de estratos, se recomienda realizar la caracterización de los agregados periódicamente en las minas.

Se debe continuar con la recopilación de información de los proyectos de investigación que se realicen en el Laboratorio de Pavimentos incorporando nuevos aditivos.

Es importante que exista un Laboratorio de Pavimentos en las Universidades, que daría apertura a continuar investigando nuevos aditivos que puedan mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas y combatir la problemática que existe en la durabilidad de las vías en el país y buscar nuevas mezclas para construcción y mantenimientos viales.

## REFERENCIAS

Asphalt institute, (1982). Principios de construcción de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente (MS-22). USA: s.n.

Bolívar, S. & Peña, J., (2018). Composición y Tipos de Asfaltos. Baranquillas: Universidad de la Costa, CUC.

Kaa, B., Mogoruzza, R. & Ivet, A., (2016). Análisis de Propiedades de Mezclas Asfálticas Modificadas en Panamá. Revista de iniciación Científica, 2 (1), p. 6.

León, P., Borja, S. & Cárdenas, J., (2019). Caracterización de mezclas asfálticas en caliente, elaboradas con el uso de cemento asfáltico modificado con polímero SBR y SBS. Quito (Pichincha): UCE.

León, P., Jara, J. & Machado, S., (2020). Análisis comparativo entre mezclas asfálticas en caliente modificadas con polialuminio y mezcla convencional. Quito (Pichincha): UCE.

Merizalde, J., López, D. & Puma, C., (2017). Ca-

racterización de mezclas asfálticas en caliente elaboradas con cemento asfáltico modificado con polímeros SBS y RET, mediante la determinación del módulo de rigidez. Quito(Pichincha): UCE.

Minaya, S. & Ordoñez, A., (2006). Diseño moderno de pavimentos asfálticos. Lima: ICG.

Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2002. Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes. Quito (Pichincha): s.n.

Ortiz, E., Macías, L. (2019). Comparativo de las Propiedades de un Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente Convencional y el Uso de Polímeros en la Carretera Tosagua. [En línea] Available at: <https://www.uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/view/55/56>

Pérez, F. & Miro, J., (2002). Nuevos ensayos para la caracterización de ligantes y mezclas asfálticas. Asociación española de la carretera, p. 28.

Revista Técnica Asfaltos de la Asociación Mexicana de Asfaltos, (2017). Revista Técnica Asfaltos N° 51 Julio-Septiembre. [En línea] Available at: [http://www.amaac.org.mx/archivos/asfaltica\\_51.pdf](http://www.amaac.org.mx/archivos/asfaltica_51.pdf)

Rondón, H. & Reyes, F., (2015). Pavimentos. Material Materiales, Construcción y Diseño. Bogotá: ECOE-Ediciones.

Speight, (2016). Asphalt Materials Science And Technology. Oxford: Elsevier Inc.

# ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL DE EDIFICIOS APORTICADOS DE HORMIGÓN ARMADO APLICANDO NORMATIVA ECUATORIANA, COLOMBIANA Y PERUANA

## NON-LINEAR STATIC ANALYSIS OF RC FRAME BUILDINGS USING ECUADORIAN, COLOMBIAN AND PERUVIAN CODES.

**Quizanga Martínez Diego Marcelo**  
Universidad Central del Ecuador  
Ecuador  
dmquizanga@uce.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0002-9063-6752>

**Viera Arroba Luisa Paulina**  
Universidad Central del Ecuador  
Ecuador  
lviera@uce.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0003-0434-7979>

**Andino Carranco José Luis**  
Universidad Central del Ecuador  
Ecuador  
jlandino@uce.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0001-6612-6333>

### RESUMEN

Ecuador está localizado en una zona de alto peligro sísmico, si consideramos adicionalmente que muchas de las estructuras en el país son vulnerables se infiere que el riesgo sísmico en Ecuador es elevado. Para reducir este riesgo se puede modificar la vulnerabilidad de las estructuras, en este sentido los códigos de construcción establecen los requerimientos mínimos para obtener estructuras que sean seguras para sus usuarios. Sin embargo, no hay muchos estudios que comparen la vulnerabilidad de estructuras diseñadas con la norma ecuatoriana de la construcción (NEC-15) respecto a la vulnerabilidad que se obtendría usando otros códigos. Entender el grado de vulnerabilidad de estructuras de hormigón armado diseñadas con NEC-15 respecto a la vulnerabilidad obtenida usando la norma de países vecinos nos permitirá sugerir recomendaciones a nuestra actual norma. Para ello realizamos 18 modelos de edificios de hormigón armado, considerando los diferentes parámetros indicados en las normas (NEC-2015), el Reglamento Colombiano de Construcción (NSR-10) y el Reglamento Nacional de Edificaciones de Perú (E.030) y a partir de este diseño realizamos un análisis estático no lineal para posteriormente mediante el método del espectro de capacidad evaluar la vulnerabilidad de estas estructuras. Del conjunto de estructuras estudiadas determinamos que la aplicación de la NSR-10 reflejó un grado de vulnerabilidad menor pese a que los edificios diseñados con E.030 fueron más rígidos, además determinamos que las estructuras diseñadas en las mismas condiciones con NEC-15 son más vulnerables que las diseñadas usando NSR-10 y E030, pese a ello, las respuestas encontradas pueden variar incluyendo si se incluyen otras configuraciones estructurales lo cual se sugiere como un trabajo futuro.

**Palabras clave:** diseño estructural; vulnerabilidad estructural; análisis estático no lineal; riesgo sísmico.

### ABSTRACT

*Ecuador is located in a high seismicity zone. If we consider that many Ecuadorian structures are vulnerable, it is evident that the seismic risk in Ecuador is high. If the structure's vulnerability is reduced the seismic risk will decrease, in this context the Building Construction Codes regulate the minimum requirements to obtain safe structures for their users, however, there are not many studies comparing the vulnerability obtained using Ecuadorian Construction Code (NEC-15) regarding the vulnerability obtained using other Constructions Codes. To understand the degree of vulnerability of reinforced concrete structures designed with NEC-15 has regarding*

*those designed using National Construction Codes of Ecuador's nearby countries, will allow us to recommend improvements to NEC-15. To do that, we designed 18 reinforced concrete building using NEC-15 and Colombia and Peru Construction Codes (NSR10 and E030, respectively). Considering the recommendations of these 3 National Constructions Codes, we obtain parameters required to carry out a nonlinear static analysis and from this data, we assessed the vulnerability of these buildings using the capacity spectrum method. We concluded that the application of the NSR-10 reflects a lower degree of vulnerability in the structures, even though buildings designed using E.030 were more rigid, also we found that structures designed under the same conditions with NEC-15 are more vulnerable than structures designed using NSR and E030. Still that, this vulnerability may change if other structural configurations are used, which we suggested as future work.*

**Keywords:** *structural design; structural vulnerability; non-linear static analysis; seismic risk.*

## INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia del Ecuador, grandes movimientos de suelo han ocurrido en el país, siendo hasta ahora el sismo de Esmeraldas de 1906 el evento de mayor magnitud ocurrido, éste es uno de los 10 eventos de mayor magnitud ocurridos en la historia de la humanidad. Según Aguiar (2008), el Ecuador se encuentra en la zona de mayor peligrosidad sísmica del mundo, de tal forma que los profesionales encargados del diseño estructural de edificaciones deben considerar la acción sísmica para la planificación de estructuras. Se debe tener en cuenta que un sismo no mata a las personas sino las edificaciones que colapsan ante un evento de gran magnitud, generalmente estas edificaciones no han sido diseñadas ni construidas respetando los procesos y normativas vigentes.

Sabiendo que el riesgo sísmico depende de la vulnerabilidad de la estructuras y del nivel de amenaza sísmica, este investigación se enfocó en estudiar la vulnerabilidad la misma que está ligada íntimamente con las recomendaciones exigidas por la norma de construcción NEC-2015, se realizó un análisis estático no lineal de una edificación tipo, de cinco pisos de hormigón armado, utilizando la norma ecuatoriana de la construcción (NEC-2015), el reglamento colombiano de la construcción (NSR-10) el reglamento nacional de edificaciones (E-030 PERU), se tuvo como resultado 18 modelos estructurales de edificios, en los

que se considera la zonificación sísmica, el tipo de suelo y los factores de seguridad que considera cada norma, con el objeto de determinar la incidencia de aplicación de una u otra normativa en el desempeño de las edificaciones analizadas.

La importancia de este estudio radica en que, a partir de las conclusiones obtenidas, los entes encargados de regular la construcción en los países analizados pueden discutir acerca de las diferencias en los niveles de vulnerabilidad que produce la aplicación de una u otra norma en una misma edificación asentada sobre suelo de condiciones similares y en una zona geográfica próxima y a partir de esto establecer parámetros que permitan tener estructuras más seguras.

La noche del 16 de abril se produjo un sismo de magnitud 7.8 Mw, en el Cantón Pedernales, en la Provincia de Manabí, se pudo apreciar que varias edificaciones fueron reducidas a escombros, mostrando múltiples deficiencias en los sistemas constructivos, por ello la rotunda necesidad de seguir investigando y mejorar las normativas nacionales.

Actualmente en el Ecuador existen investigaciones como la de Arciniegas & Suárez (2016) con su tesis "Análisis Comparativo Económico - Estructural de Edificios de 6, 12 y 18 pisos, aplicando el Código Ecuatoriano de la Construcción (CEC-2000) y la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15)", y la de Jaramillo & Rocha (2013) con su tesis

“Comparación entre la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-11) y la Norma American Society of Civil Engineers (ASCE07-10) para diseño Sismo - Resistente: Corte Basal”. Estos trabajos principalmente analizan aspectos de diseño y costos, tomando en cuenta los peligros sísmicos a los que el país se encuentra expuesto por su ubicación geográfica. Concluyeron dichos estudios que con la aplicación de la NEC-15 se obtienen secciones menos esbeltas que usando el CEC-2000. También se determinó que, dentro del aspecto económico, la NEC-15 representa un mayor costo constructivo, y que el nivel de exigencia en los procedimientos sismo resistentes es mayor en la ASCE 7-10 con relación a la NEC-15.

Sin embargo, no existe ninguna investigación que contemple una comparación del desempeño obtenido de una misma estructura luego de aplicar los códigos de construcción de tres países con similares condiciones de peligrosidad sísmica como son Colombia, Perú y Ecuador. En el presente trabajo se ha realizado análisis estáticos lineales y no lineales, para obtener curvas de capacidad y puntos de desempeño que permitan determinar la vulnerabilidad de 18 modelos, a partir de una estructura aporticada de 5 pisos con la misma configuración geométrica, para dicha estructura se obtuvieron diferentes dimensiones de los elementos estructurales en virtud de los requerimientos de cada código, se analizaron y diseñaron estructuras para diferentes tipologías de suelo y de acuerdo a la zonificación sísmica mostrada en cada código. Para que la ubicación geográfica y el peligro asociado a esta ubicación no incida en los resultados, el análisis de las estructuras se lo realizó considerando que estarían localizadas en provincias fronterizas entre los países, por lo que se modeló estructuras localizadas en San Lorenzo y Tumaco para comparar el desempeño de estructuras diseñadas con NEC-15 y NSR-10, así también se consideraron estructuras ubicadas en Huaquillas y Aguas Verdes, para comparar el desempeño de estructuras diseñadas con las normas NEC-15 y E-30. La ubi-

cación de los modelos realizados así como los mapas de zonificación sísmica de los tres países que se consideraron en este estudio, se pueden apreciar en la figura 1 hay una distinción por colores en base al peligro sísmico que muestran las normas de los 3 países.

Adicionalmente se debe indicar que la edificación que se consideró para el diseño es de una tipología estructural que atiende a la generalidad de construcciones que se realizan actualmente en el Ecuador: estructura aporticada de cinco pisos y de hormigón armado (material más usado en la construcción en Ecuador, Colombia y Perú).

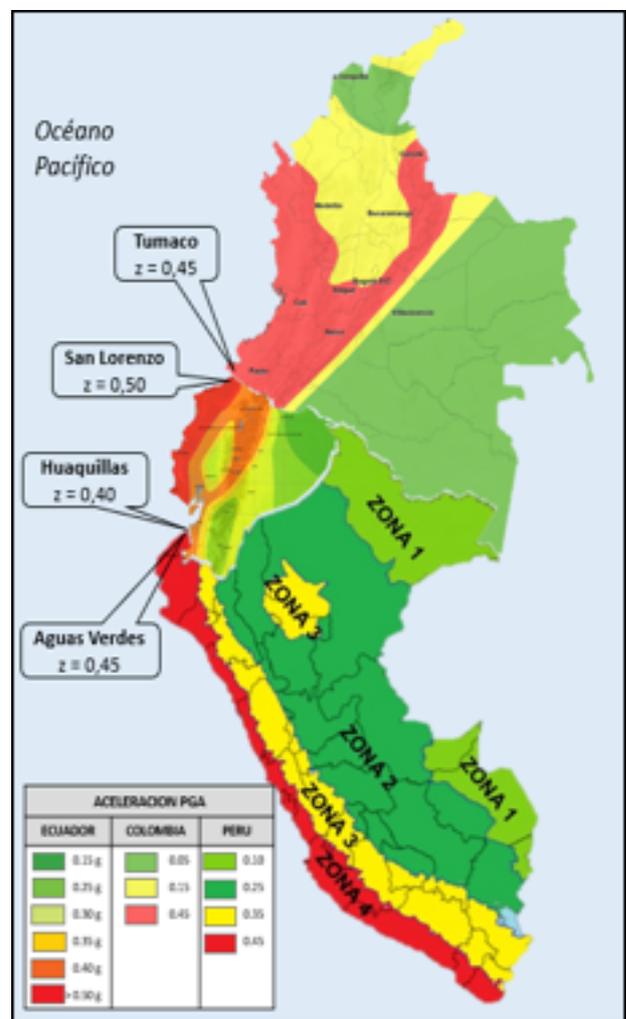


Figura 1 Mapa de zonificación sísmica de Colombia, Ecuador y Perú. Fuente: NEC-15, NSR-10 Y E.030

De acuerdo con lo que indica Llano (2015) y Santiago Vásconez, Técnico del “Departamento de Revisión y Aprobación de Planos Estructurales de la Entidad Colaboradora de

Pichincha”, más del 95% de cálculos estructurales, correspondientes a edificios, que se realizan en la ciudad de Quito, se basan en un análisis lineal controlado por derivas inelásticas, es decir no se realiza ningún otro tipo de verificación o comprobación del cálculo estructural. Sin embargo, los desastres que han ocurrido por causas sísmicas a lo largo de la historia del país demuestran que un análisis lineal controlado por derivas inelásticas no es suficiente para asegurar que las estructuras tengan un buen comportamiento sísmico, es necesario avanzar a otras técnicas que permitan prever el desempeño de una estructura, y lograr controlar los niveles de daño estructurales y no estructurales.

## METODOLOGÍA

En esta investigación se consideró una edificación de cinco pisos y cuatro vanos separados a 5 metros en los dos sentidos (ver Figura 2) por ser una estructura regular en planta y elevación, la estructura fue sometida a un análisis estático lineal y posteriormente diseñada cumpliendo con las recomendaciones sismo resistentes dispuestas por las normas vigentes en Ecuador, Colombia y Perú.

A partir de las estructuras diseñadas se realizó un análisis estático no lineal (Nolinear-Static-Pushover), mediante el método de zonas plásticas.

Se comparó el desempeño de estructuras luego de ser diseñadas usando las normativas de 3 países vecinos (Ecuador, Colombia y Perú), a través de analizar una configuración geométrica igual en todos los casos. De esta manera se definieron 18 modelos que están en función del tipo de suelo: Ecuador (suelos A, B, C, D, E) vs Colombia (suelos A, B, C, D, E) y Ecuador (suelos A, B, D, E) vs Perú (suelos S0, S1, S2, S3).

La localización de las estructuras se supuso en puntos fronterizos de cada país, señalados previamente, donde se infiere características geológicas y sísmicas similares, de acuerdo con las normas vigentes aplicadas en cada país. La descripción de los 18 modelos se puede apreciar en la Tabla 1.

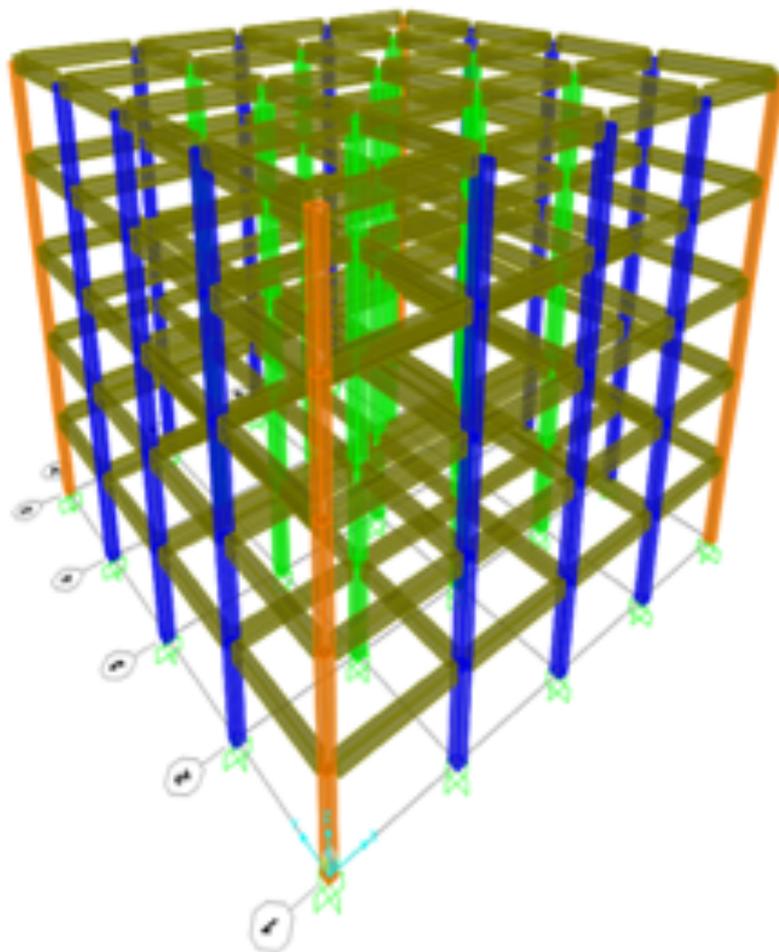


Figura 2 Estructura tipo / Fuente: SAP2000

Los modelos descritos en la Tabla 1 se analizaron, por medio de un programa computacional de análisis y diseño estructural (SAP2000), considerando las diferencias entre los parámetros de diseño de las normativas aplicadas, y posteriormente ya realizado el modelado se determinaron: periodos de vibración, derivas de piso, curvas de capacidad y puntos de desempeño de cada modelo.

**Tabla 1. Nomenclatura de los modelos**

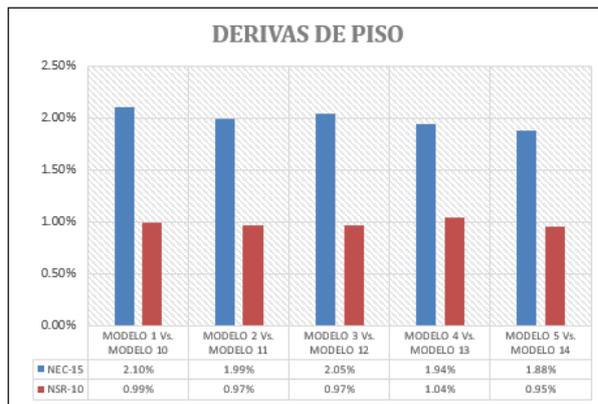
| PAÍS     | MODELO    | TIPO DE SUELO | UBICACIÓN    | NORMATIVA DE DISEÑO |
|----------|-----------|---------------|--------------|---------------------|
| ECUADOR  | Modelo 1  | A             | San Lorenzo  | NEC-15              |
|          | Modelo 2  | B             | San Lorenzo  | NEC-15              |
|          | Modelo 3  | C             | San Lorenzo  | NEC-15              |
|          | Modelo 4  | D             | San Lorenzo  | NEC-15              |
|          | Modelo 5  | E             | San Lorenzo  | NEC-15              |
|          | Modelo 6  | A             | Huaquillas   | NEC-15              |
|          | Modelo 7  | B             | Huaquillas   | NEC-15              |
|          | Modelo 8  | D             | Huaquillas   | NEC-15              |
|          | Modelo 9  | E             | Huaquillas   | NEC-15              |
| COLOMBIA | Modelo 10 | A             | Tumaco       | NSR-10              |
|          | Modelo 11 | B             | Tumaco       | NSR-10              |
|          | Modelo 12 | C             | Tumaco       | NSR-10              |
|          | Modelo 13 | D             | Tumaco       | NSR-10              |
|          | Modelo 14 | E             | Tumaco       | NSR-10              |
| PERÚ     | Modelo 15 | S0            | Aguas Verdes | E.030               |
|          | Modelo 16 | S1            | Aguas Verdes | E.030               |
|          | Modelo 17 | S2            | Aguas Verdes | E.030               |
|          | Modelo 18 | S3            | Aguas Verdes | E.030               |

**DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

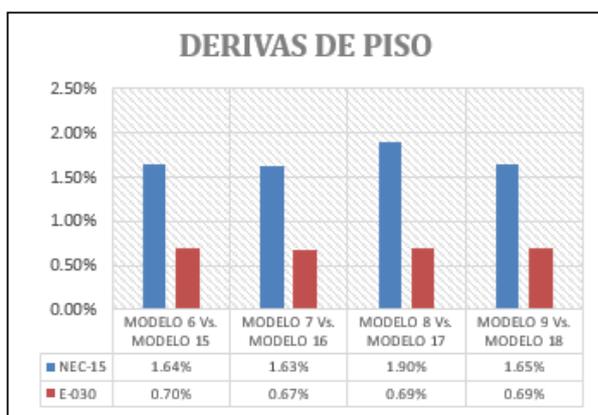
La NEC-15 establece que la deriva máxima para cualquier piso no excederá los límites dispuestos (2%), mientras la NSR-10 dispone un parámetro del 1% para estructuras de concreto armado, sin embargo, este estudio consideró que para la comparación del desempeño las estructuras deberían tener desplazamiento de piso relativos iguales al límite máximo permitido por cada norma más una tolerancia adicional de 0.1%.

El Reglamento Nacional de Edificaciones E.030 Perú, es el más riguroso referente a la deriva permitida, ya que establece un valor de deriva permisible de hasta el 0.7%. Resulta evidente que debido a derivas bajas las estructuras modeladas usando la normativa peruana resultaran más rígidas.

Una vez establecidas las secciones de los modelos y luego de verificar su resistencia de acuerdo con cada normativa, se obtuvo de cada modelo las derivas de piso las cuales según se pueden apreciar en las figuras 3 y 4 están dentro de los límites máximos considerados para para este estudio.

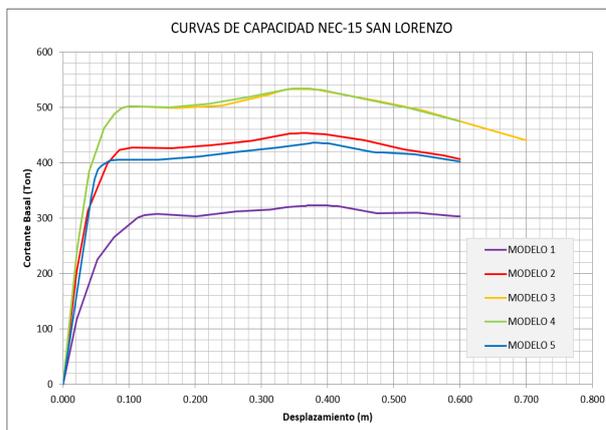


**Figura 3. Derivas de piso NEC-15 vs. NRS-10**



**Figura 4. Derivas de piso NEC-15 vs. E.030**

Luego de realizar el análisis estático lineal y una vez obtenidas las secciones de hormigón armado de cada elemento estructural se realizó un análisis estático no lineal de todos los modelos tridimensionales usando los coeficientes de FEMA 356, se logró estimar la curva de capacidad de los 18 modelos y se presentan a continuación. Estas curvas muestran la relación entre el desplazamiento en el techo de los edificios y la fuerza Basal.



**Figura 5. Curvas de capacidad San Lorenzo**

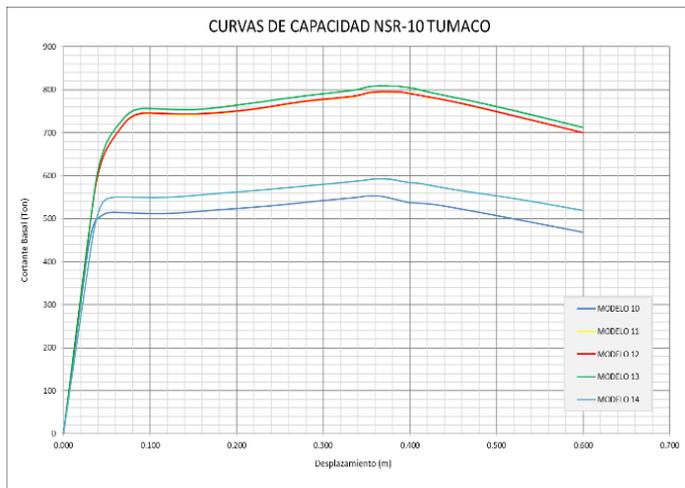


Figura 6. Curvas de capacidad Tumaco

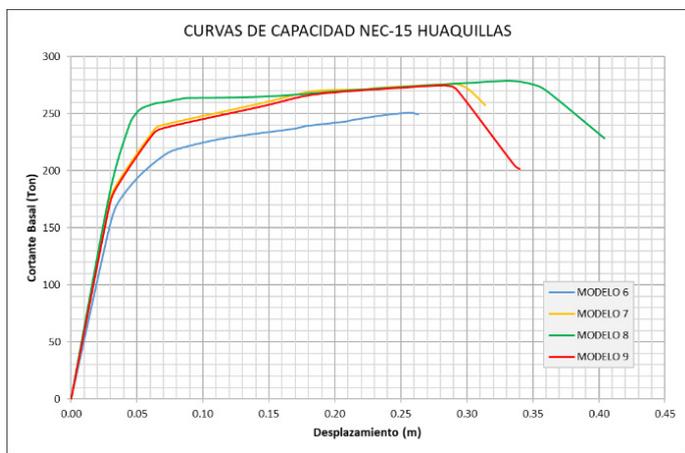


Figura 7. Curvas de capacidad Huaquillas

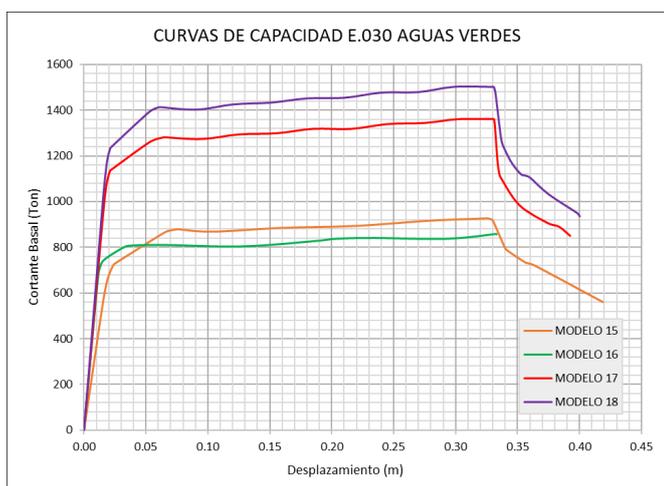


Figura 8. Curvas de capacidad Aguas Verdes

Dentro del análisis de las Curvas de Capacidad se tiene en consideración que los modelos desarrollados con la NEC-15 (ver figuras 5 y 7), presentan una menor capacidad de resistencia estructural, puesto que los valores de capacidad de los modelos desarrollados con

la NSR-10 y E.030 son mayores (ver figuras 6 y 8), quedando claro en este estudio que la normativa ecuatoriana es la más permisiva, esto es un resultado lógico teniendo en cuenta el valor del porcentaje admisible de derivas de piso (2%), en comparación con Colombia (1%) y Perú (0.7%).

Hay que tener en consideración que el nivel de desempeño puede obtenerse a partir de la sectorización de la curva de capacidad se tiene así los siguientes límites “Ocupación Inmediata” (IO) y “Seguridad de Vida” (LS) y Prevención de Colapso (CP) (ver figura 9). Referente a estructuras no esenciales las normas analizadas no exigen tener niveles de desempeño de ocupación inmediata, pero si buscan garantizar al menos el nivel de Seguridad de Vida.

La figura 9 muestra esquemáticamente la curva de capacidad, reflejando los umbrales de desplazamiento lateral y estados límite considerados por los lineamientos FEMA.

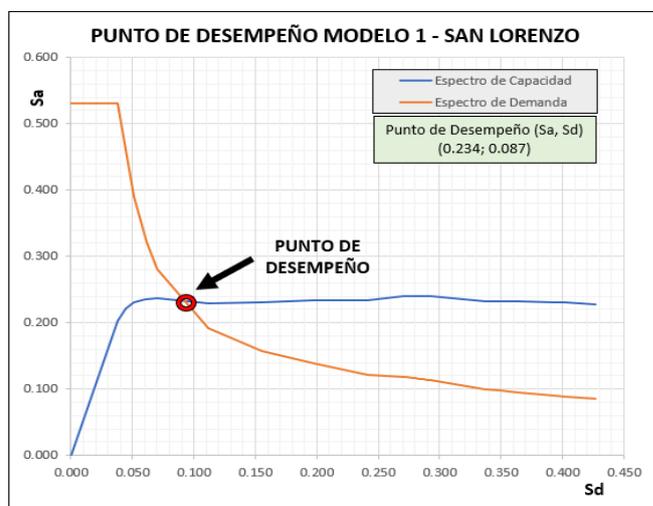


Figura 9 Curva de capacidad y estados límite

Una vez definidas las curvas de capacidad y de demanda, se obtuvieron los puntos de desempeño de los 18 modelos, los mismo que representan el máximo desplazamiento probable para una determinada demanda sísmica, se aprecia por ejemplo en el figura 10 el punto de desempeño del modelo 1.



Figura 10. Punto de desempeño modelo 1

Finalmente se presentan (tabla 2) los puntos de desempeño obtenidos y el nivel de desempeño de cada uno de los modelos, teniendo en cuenta que los modelos colombianos tienen como límite de desempeño común "Seguridad de Vida" (LS), lo que determina que el uso de esta normativa da como resultado estructuras menos vulnerables, ante sismos, que sus pares ecuatoriana y peruana.

Tabla 2. Puntos y nivel de desempeño

| PAIS     | MODELO    | PUNTO DE DESEMPEÑO (Sa; Sd) |        | NIVEL DE DESEMPEÑO         |
|----------|-----------|-----------------------------|--------|----------------------------|
| ECUADOR  | MODELO 1  | 0.234                       | 0.087  | Seguridad de Vida (LS)     |
|          | MODELO 2  | 0.233                       | 0.096  | Seguridad de Vida (LS)     |
|          | MODELO 3  | 0.261                       | 0.222  | Prevención de Colapso (CP) |
|          | MODELO 4  | 0.252                       | 0.157  | Seguridad de Vida (LS)     |
|          | MODELO 5  | -                           | -      | Prevención de Colapso (CP) |
|          | MODELO 6  | 0.148                       | 0.0564 | Seguridad de Vida (LS)     |
|          | MODELO 7  | 0.159                       | 0.057  | Seguridad de Vida (LS)     |
|          | MODELO 8  | 0.175                       | 0.181  | Prevención de Colapso (CP) |
|          | MODELO 9  | -                           | -      | Prevención de Colapso (CP) |
| COLOMBIA | MODELO 10 | 0.236                       | 0.055  | Seguridad de Vida (LS)     |
|          | MODELO 11 | 0.318                       | 0.066  | Seguridad de Vida (LS)     |
|          | MODELO 12 | 0.307                       | 0.108  | Seguridad de Vida (LS)     |
|          | MODELO 13 | 0.310                       | 0.135  | Seguridad de Vida (LS)     |
|          | MODELO 14 | 0.240                       | 0.352  | Prevención de Colapso (CP) |
| PERU     | MODELO 15 | 0.224                       | 0.032  | Seguridad de Vida (LS)     |
|          | MODELO 16 | 0.265                       | 0.061  | Seguridad de Vida (LS)     |
|          | MODELO 17 | -                           | -      | Prevención de Colapso (CP) |
|          | MODELO 18 | -                           | -      | Prevención de Colapso (CP) |

### CONCLUSIONES

La aplicación de la normativa colombiana da como resultado estructuras con mejores niveles de desempeño dentro del marco de este análisis comparativo. Dado que los puntos de desempeño obtenidos con la NSR-10 (Colombia) son más conservadores respecto al resto

de casos.

Se considera que, al tener valores de derivas de piso altas, los elementos no estructurales tendrán un daño importante, mientras que al rigidizar los elementos estructurales se tendrá derivas con valores más bajos y por lo tanto se reduciría el daño en los elementos no estructurales. La figura 11 muestra una comparativa de las secciones obtenidas, se aprecia que utilizando la normativa peruana las secciones son mayores para un mismo edificio, así mismo se evidencia que las secciones de columnas y vigas de acuerdo a la normativa colombiana son 1.85 y 1.59 respectivamente veces más que la norma ecuatoriana, y con la normativa peruana son 2.40 y 3.56 respectivamente veces más, lo que significa que la aplicación de esta última produce edificaciones más rígidas.

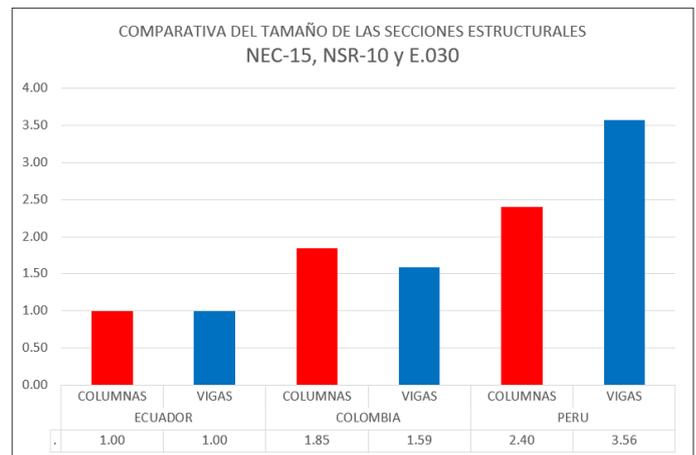


Figura 11. Comparativa de tamaño de secciones.

En el diseño de la estructura tanto la NEC-15, la NSR-10 y la E-030 establecen que los elementos estructurales serán agrietados; en Ecuador, Colombia y Perú los factores de reducción de rigidez son diferentes, por este motivo los modelos obtenidos usando la norma colombiana tienen un mejor desempeño pese a ser menos rígidos que los modelos obtenidos usando la norma peruana, sin embargo se aprecia que tanto la norma colombiana como la peruana muestran mejores niveles de desempeño que los obtenidos con la norma ecuatoriana, se concluye que la deriva máxima establecida en la NEC-15 es demasiado permisiva e incide directamente en el nivel de desempeño obtenido.

## REFERENCIAS

Aguiar, R. (2003). Análisis sísmico por desempeño, Centro de Investigaciones Científicas, Escuela Politécnica del Ejército, Quito, Ecuador.

Agostini, M. y Gerbaudo, G.M. (2018). Análisis Estático No-Lineal para Cuantificar la Vulnerabilidad Sísmica de Edificios de Hormigón Armado, Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.

Andino, J.L. y Lema, C. (2020). Análisis Comparativo del Diseño Estructural de una Edificación de Cinco Pisos, de Hormigón Armado, Aplicando la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015), El Reglamento Colombiano de la Construcción (NSR-10) y El Reglamento Nacional de Edificaciones (E.030) Perú. (Tesis de Pregrado). Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (S.F.). Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente (NSR-10). Bogotá, Colombia.

Correa, M. Machado, L. (2016). Comparación Económica al Diseñar Edificios de Hormigón Armado de 7 y 14 Pisos, con la NEC-11 y la CEC-2000. (Tesis de Postgrado). Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.

Crisafulli, F. J. (2013). Diseño Sismorresistente de Construcciones de Acero. Mendoza, Argentina.

Duarte, C., Martínez, M., Santamaria J., (2017). Análisis Estático No Lineal (Pushover) del Cuerpo Central del Edificio de la Facultad de Medicina de la Universidad de El Salvador. El Salvador.

Durán, J. (2017). Comparación de las normas ASCE 7-10 y NEC-15 en el Diseño Sísmico con la aplicación a pórticos especiales con y sin Muros Estructurales. (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca.

Guía práctica para el diseño de estructuras de hormigón armado, de conformidad con la norma ecuatoriana de la construcción NEC 2015.

Guzmán M. F. (2015). Diseño Sismo Resistente de Edificios de Hormigón Armado, Cálculo

de Periodos de Vibración y Niveles de Agrietamiento. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador.

<https://www.google.com.ec/search?sxsrf=ALeKk00ZdFOITGS5n5f112XeQ4Q6mr-VHEA:1582829309635&q=mapa+de+zonificaci%C3%B3n+s%C3%ADsmica+del+ecuador&tbm=isch&source=univ&sa=X&ved=2ahUKEwjAmfbVsvLnAhVJMawKHdh2Cn4QsAR6BAGKEAE&biw=1536&bih=682&dpr=1.25#imgrc=T6ZSpXipQ-tHQM>

[https://www.google.com.ec/search?q=mapa+de+zonificaci%C3%B3n+s%C3%ADsmica+del+peru&tbm=isch&ved=2ahUKEwj-xo3YsvLnAhVPI1kKHSX-5DoMQ2-cCegQIABAA&oq=mapa+de+zonificaci%C3%B3n+s%C3%ADsmica+del+peru&gs\\_l=img.3...39052.41351..42107...0.0..0.348.2909.0j-1j6j4.....0....1..gws-wiz-img.....35i39j0.M46n2SA2e3U-&ei=Ag9YXv69DM\\_G5AKI8ruYCA&bih=682&biw=1536#imgrc=gEmWWv-XXCC0pM](https://www.google.com.ec/search?q=mapa+de+zonificaci%C3%B3n+s%C3%ADsmica+del+peru&tbm=isch&ved=2ahUKEwj-xo3YsvLnAhVPI1kKHSX-5DoMQ2-cCegQIABAA&oq=mapa+de+zonificaci%C3%B3n+s%C3%ADsmica+del+peru&gs_l=img.3...39052.41351..42107...0.0..0.348.2909.0j-1j6j4.....0....1..gws-wiz-img.....35i39j0.M46n2SA2e3U-&ei=Ag9YXv69DM_G5AKI8ruYCA&bih=682&biw=1536#imgrc=gEmWWv-XXCC0pM)

[https://www.google.com.ec/search?q=mapa+de+zonificaci%C3%B3n+s%C3%ADsmica+del+colombia&tbm=isch&ved=2ahUKEwiAuPHsvLnAhUKk1kKH4L-CrwQ2-cCegQIABAA&oq=mapa+de+zonificaci%C3%B3n+s%C3%ADsmica+del+colombia&gs\\_l=img.3.35i39.13215.15361..15759...0.0..0.389.3502.0j-1j4j7.....0....1..gws-wiz-img.....0i67j0.HyUP9FPOO-lo&ei=LQ9YXsDtL4qm5gKOI6jgCw&bih=682&biw=1536#imgrc=RzAc5Ecbq\\_22MM](https://www.google.com.ec/search?q=mapa+de+zonificaci%C3%B3n+s%C3%ADsmica+del+colombia&tbm=isch&ved=2ahUKEwiAuPHsvLnAhUKk1kKH4L-CrwQ2-cCegQIABAA&oq=mapa+de+zonificaci%C3%B3n+s%C3%ADsmica+del+colombia&gs_l=img.3.35i39.13215.15361..15759...0.0..0.389.3502.0j-1j4j7.....0....1..gws-wiz-img.....0i67j0.HyUP9FPOO-lo&ei=LQ9YXsDtL4qm5gKOI6jgCw&bih=682&biw=1536#imgrc=RzAc5Ecbq_22MM)

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015), NEC-SE-DS. Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente, Quito, Ecuador.

Reglamento Colombiano de Construcción (NSR-10). Título A, Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente. Bogotá, Colombia.

Reglamento Nacional de Edificaciones (E-030) PERU.

Vasco, P. (2016). Sismo Resistencia en Edificios de Hormigón y Acero para Zonas de Alta Peligrosidad Sísmica. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador.

# POTENCIAL GEOLÓGICO DEL ALÓFANO EN LA PROVINCIA DE SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS.

## ALLOPHANE GEOLOGICAL POTENTIAL IN THE SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS PROVINCE

**Edwin Gallardo**  
Instituto de Investigación Geológico y Energético  
Ecuador  
edwin.gallardo@geoenergia.gob.ec  
<https://orcid.org/0000-0003-1836-3187>

**Carlos Abril**  
Instituto de Investigación Geológico y Energético  
Ecuador  
carlos.abril@geoenergia.gob.ec  
<https://orcid.org/0000-0002-8865-6439>

**Angélica María Robles Carrillo**  
Instituto de Investigación Geológico y Energético  
Ecuador  
angelica.robles@geoenergia.gob.ec  
<https://orcid.org/0000-0002-7137-1111>

**Andrea Albán**  
Instituto de Investigación Geológico y Energético  
Ecuador  
andrea.alban@geoenergia.gob.ec  
<https://orcid.org/0000-0002-2083>

**Silvia Toainga**  
Instituto de Investigación Geológico y Energético  
Ecuador  
silvia.toainga@geoenergia.gob.ec  
<https://orcid.org/0000-0003-3269-4580>

### RESUMEN

Este trabajo fue desarrollado dentro del proyecto de Investigación Geológica y Disponibilidad de Ocurrencias de Recursos Minerales en el Territorio Ecuatoriano, ejecutado por el Instituto de Investigación Geológico y Energético IIGE. La presente investigación estima el potencial geológico del alófano en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, sector Monterrey, y aplica una metodología de prospección a semidetalle, que incluye: topografía, levantamiento de información edafológica, muestreo de suelos, construcción de calicatas, interpretación de resultados del laboratorio químico y estimación preliminar. El área de estudio localizada en el sector de Monterrey, tiene una superficie aproximada de 200 km<sup>2</sup>. Anteriores investigaciones reportan que la formación San Tadeo predomina en la zona, esta contiene material piroclástico, brechas volcánicas y flujos de lodo de composición andesítica, provenientes de centros de emisión cercanos (BGR). Nos vemos entonces. El alófano es un aluminosilicato hidratado, pobremente cristalino, que se forma a partir de ceniza volcánica y que suele ser uno de los primeros productos de su alteración, considerado de interés industrial por su amplia superficie específica. En la zona de estudio en base al contenido de alófano se define una capa de interés con un espesor máximo de 9m. Nuestro estudio identifica anomalías de alófanos con base en el análisis de 60 muestras de suelo mediante difracción y fluorescencia de rayos X. Los resultados fueron cuantificados mediante el método de polígonos. El potencial geológico estimado del alófano en el Sector de Monterrey es 605 Mm<sup>3</sup> a 49 % Alófano; el cual ha sido definido en función al cálculo de la media ponderada y promedio de porcentaje.

**Palabras clave:** alófano; potencial geológico; santo domingo de los tsáchilas - monterrey; método de polígonos; geoestadística, rangos anómicos, targets de exploración.

### ABSTRACT

*This work was developed within the Project of Geological Research and Availability of Occurrences of Mineral Resources in the Ecuadorian Territory, executed by the Institute of Geological and Energy Research IIGE. This research estimates the geological potential of the allophane in the province of Santo Domingo de los Tsáchilas, Monterrey sector, and applies a semi-prospective prospecting methodology, which includes topography, edaphological*

*information gathering, soil sampling, construction of pits, interpretation of chemical laboratory results and preliminary. The study area located in the Monterrey sector, has an approximate surface of 200 km<sup>2</sup>. Previous research reports that the San Tadeo formation predominates in the area, it contains pyroclastic material, volcanic breccia and mud flows of andesitic composition, coming from nearby emission centers (BGR).*

*Allophane is a poorly crystalline hydrated aluminosilicate, which formed from volcanic ash and is usually one of the first products of its alteration, considered of industrial interest for its large specific surface. In the study area based on the allophane content, a layer of interest with a maximum thickness of 9m defined. Our study identifies allophane anomalies based on the analysis of 60 soil samples by X-ray diffraction and fluorescence. The results were quantified using the polygon method. The estimated geological potential of the allophane in the Monterrey Sector is 605Mm<sup>3</sup> a 49% Allophane; which has been defined based on the calculation of the weighted average and percentage average.*

**Keywords:** *allophane; geological potential; santo domingo de los tsáchilas - monterrey; polygons method; geostatistics, anomalous ranges, exploration targets.*

## INTRODUCCIÓN

El objetivo de este estudio es delimitar zonas de interés que presenten altas concentraciones de alófono y establecer su potencial geológico, mediante una estimación preliminar del recurso en un área de interés y su ley promedio.

El alófono es un mineral cuyas características químicas presentan una facilidad para combinarse o enlazar aniones libres, que se pueden aplicar en la reducción de sustancias químicas que contaminan el entorno de una determinada población cercana a cualquier actividad extractiva, con lo que se reduce sustancialmente la contaminación, esto gracias a su propiedad física de alto valor de superficie específica.

La investigación pretende de manera preliminar, estimar el potencial geológico del alófono, con el fin de conocer el volumen y ley del material alofónico, para elaborar una metodología de trabajo a semi detalle, que contemple actividades de mapeo geológico, muestreo de suelos y construcción de calicatas, todo esto con el fin de generar expectativas de inversión nacional e internacional. (INIGEMM a, 2017)

Para este estudio hay que considerar que las capas de alófono se encuentran depositadas de forma horizontal a subhorizontal y su altura es igual al espesor de la capa, para la estimación preliminar del alófono se aplicó el método

de polígonos; que nos proporcionan valores de superficies en (m<sup>2</sup>) que multiplicado por el espesor de la capa en (m) resulta el volumen de influencia (m<sup>3</sup>), formando conjuntos de prismas poliédricos cuyas bases y topes lo constituyen los polígonos o zonas de influencia, con leyes de alófonos diferentes asignadas para cada uno.

El área de estudio se encuentra ubicado en la Parroquia Monterrey, cantón Santo Domingo, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas y su fase de gabinete fue realizada en el IIGE, donde después de un análisis de la información levantada en campo nos permitió conocer el potencial geológico existente en la zona.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación geográfica

El área de estudio está ubicada en la parroquia de Monterrey del cantón La Concordia, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, al noroccidente de la cordillera Occidental de los Andes ecuatorianos, es una zona con clima lluvioso tropical, su temperatura media es de 25,5 °C, se localiza a 190 km al oeste de Quito, con un tiempo de 3 h 30 min y se puede acceder a través de las vías E20 y E28.

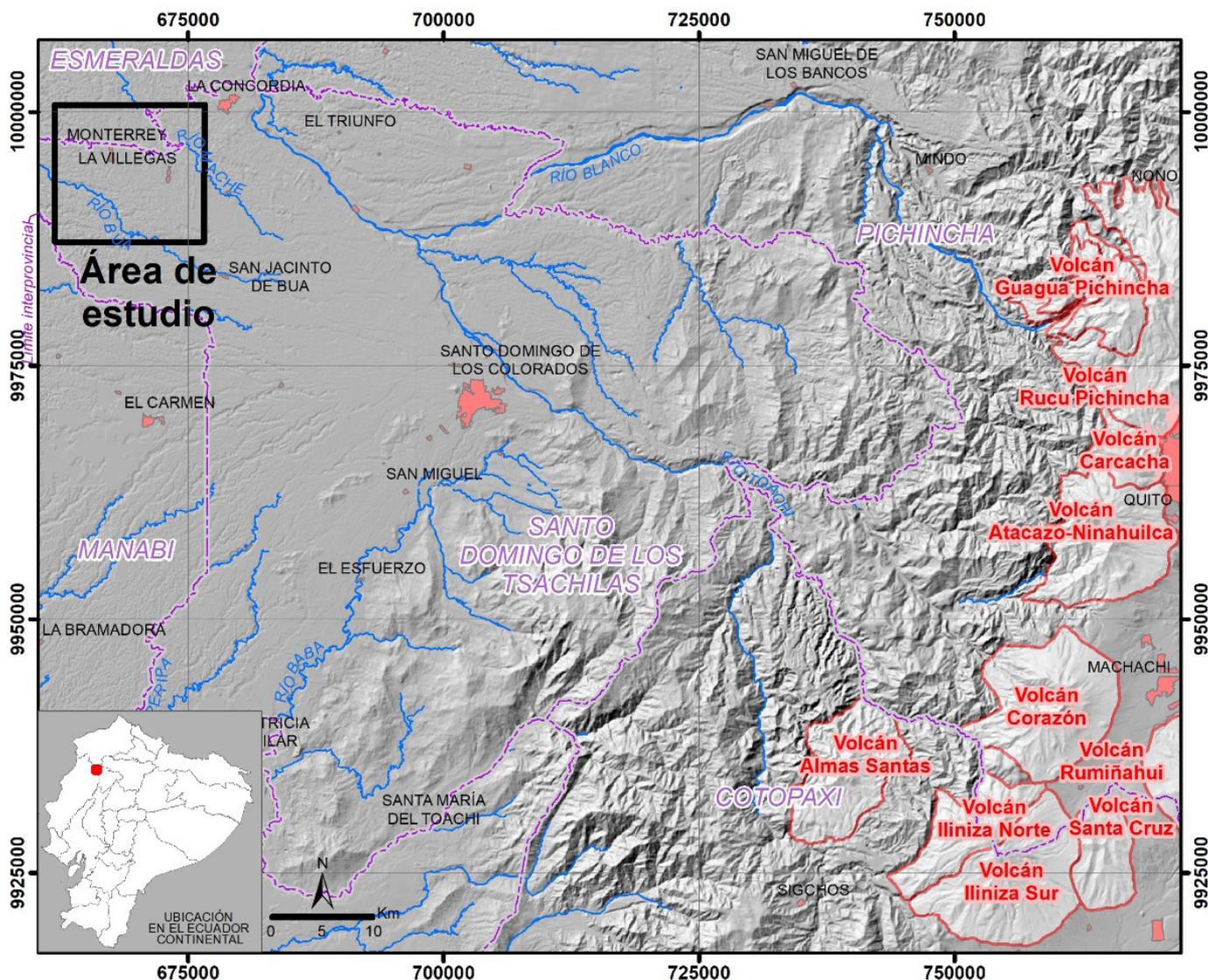


Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio. Fuente: IIGE, 2020

### Características geológicas de la zona

El depósito de andisol enriquecido de alófono se localiza en la cordillera Occidental del Ecuador, cuyo basamento consiste de rocas máficas y ultramáficas, interpretado como un bloque de composición toleítico posiblemente parte del plateau del Caribe (Kerr et al., 2002), acrecionado en Cretácico superior – Paleógeno (GooSENS y Rose, 1973; Jaillard et al., 1995; Vallejo et al., 2006; Vallejo et al. 2019). Fallas transcurrentes con tendencia N-S que dieron lugar a un conjunto de unidades tectono-estratigráficas que se unen a secuencias sedimentarias marinas (turbiditas) del Cretácico tardío y secuencias volcánicas y sedimentarias de arco de islas Macuchi acrecionado en el Eoceno (Toro & Jaillard, 2005; Hughes y Pilatasig, 2002; Vallejo et al., 2019), cubiertas por una secuencia de arco volcánico continental de composición calcoalcalina correspondiente a la Formación San Juan de Lachas ocurrido en el Eoceno al Oligoceno;

en el Mioceno se depositan las secuencias sedimentarias marino litorales de margen continental (Viche, Angostura y Onzole).

En el Plioceno se depositan secuencias de piedemonte y de llanura aluvial (Borbón y San Tadeo). La depositación de sedimentos de llanura aluvial y abanicos aluviales (Formación Pichilingue) se desarrollan en el Plio-Pleistoceno.

El área de estudio está conformada por depósitos del cuaternario perteneciente a la Formación San Tadeo, la cual está constituida por material piroclástico y flujos de lodo de composición andesítica, provenientes de centros de emisión cercanos. Hacia el tope está conformada por arcillas blanquecinas meteorizadas con óxido de hierro y a la base se evidencia un cambio gradacional, incrementando el tamaño de grano de la matriz y de los clastos de origen ígneo, hasta conformar brechas y conglomerados. Su espesor fluctúa entre los 200 y 300 m (DGGM, 1978) (BGR 1990).

## Características generales del alófono

El alófono es un aluminosilicato hidratado, pobremente cristalino, que se forma a partir de ceniza volcánica y que suele ser uno de los primeros productos de su alteración, considerado de interés industrial por su amplia superficie específica la cual define características de los suelos, como por ejemplo la capacidad de retención de agua y fosfatos (Kaufhold, et al., .2010), sin embargo, su aplicación aún no es masiva debido a la escasez de depósitos, pues los más representativos se encuentran en Japón, Nueva Zelanda y Ecuador, siendo este último el de mayor extensión y mejor calidad (INIGEMM a, 2017)

Su formación se da en climas húmedo tropical y perhúmedo (Hoffmann, 2003) y resulta de la meteorización temprana de cenizas volcánicas con alto contenido de bases, en un ambiente ligeramente ácido (pH entre 4,7 y 7), bajas cantidades de materia orgánica y ciertos tipos de vegetación (Lizcano, Herrera & Santamaría, 2006); el contenido de carbón orgánico es mínimo, lo cual incrementa su calidad y por ende su valor industrial.

Kaufhold y otros (2010) mencionan que los depósitos enriquecidos en alófono se desarrollan en suelos formados a partir de cenizas volcánicas, es decir en andisoles, su partícula primaria es de grano muy fino y forma esférica, cuyo diámetro y porosidad varía de 3 a 5 nm.

Desde el punto de vista químico la formación del alófono se debe a la precipitación de aniones de sílice monomérico, mientras que en la formación del grupo no cristalino alófono – imogolita es la precipitación de aluminio. Las propiedades físico-químicas que caracterizan a los suelos ricos en alófono son acidez, retención de fosfatos y carga iónica variable (Zapata, 2006).

Al profundizar en la temática del ambiente geológico en el que se desarrolló el alófono, se debe recalcar que es una sustancia especialmente común en los suelos de origen volcánico o andisoles (suelos que provienen de los volcanes andinos), lo que da paso al debate respecto a cuales fueron los centros de emisión que constituyeron la fuente de la ceniza volcánica original que debió ser producto de erupciones de varios centros de emisión de la Cordillera Occidental, entre ellos, los complejos volcánicos Atacazo – Ninahuilca, Pichincha, Casitahua, Pululahua y probablemente Los Ilinizas y el Quilotoa.

Con base en la granulometría fina de los andisoles, se deduce que las erupciones habrían sido explosivas y originaron columnas eruptivas robustas, constituidas por material piroclástico que ascendió varios kilómetros sobre el cráter, formando nubes eruptivas; la ceniza más fina habría sido transportada por el viento por decenas e incluso cientos de kilómetros y se depositó a manera de lluvia sobre la topografía preexistente, cubriéndola con potentes mantos que con el paso del tiempo geológico y en un ambiente húmedo y cálido se transformaron en suelos volcánicos. Figura 2.

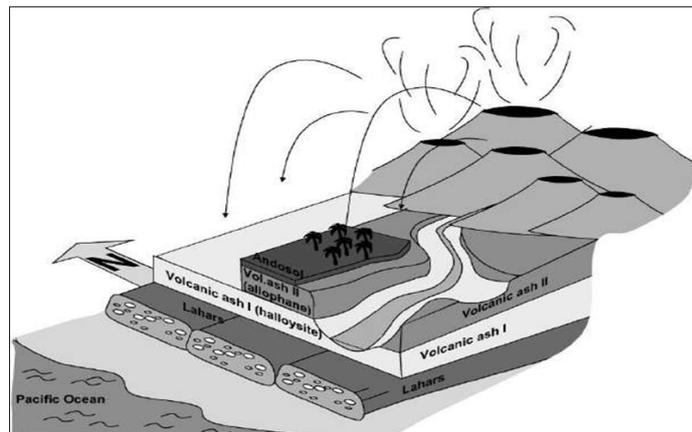


Figura 2. Sección idealizada del ambiente geológico en el que se desarrolla la capa rica en alófono.

## Topografía

se utilizó un método directo con la colocación de puntos de control y la toma de fotografía aérea a través de VANT o dron. El proceso en su primera fase inicia en gabinete diseñando el plan de vuelo y definiendo la ubicación de puntos de control sobre una imagen satelital disponible, sin embargo hay que considerarlo como tentativo pues puede cambiar debido a fenómenos meteorológicos, condiciones del relieve y el componente social.

La segunda fase consiste en la georreferenciación del área de estudio, que se realiza mediante el uso de un Sistema Global de Navegación por Satélite GNSS, utilizando las constelaciones de satélites NAVSTAR y GLONASS, tomando como punto de referencia una estación de monitoreo continuo de la Red Nacional GPS del Ecuador – REGME.

La tercera fase es la toma de fotografías en campo con el dron, el post-proceso de datos GPS y el geoprocesamiento de imágenes aéreas con ajuste de puntos de control.

Cabe señalar que la resolución de las imágenes es 4cm/pix aproximadamente, mientras que el Modelo Digital de Elevación tiene resolución 7,41cm/pix. Con estos productos se obtienen las curvas de nivel del sector desde 50 cm en adelante, según las necesidades de la investigación.

### Toma de muestras

La metodología para la toma de muestras de suelos derivados de cenizas volcánicas con im-

portante contenido de alófono, busca establecer un mecanismo y protocolos sistemáticos, ordenados y secuenciales de muestreo que asegure la representatividad, calidad y confiabilidad de las muestras, mismos que garanticen la reproducibilidad de resultados de análisis in situ y en laboratorio.

En la Figura 3, se resume el procedimiento general para el muestreo de suelos derivados de cenizas volcánicas.

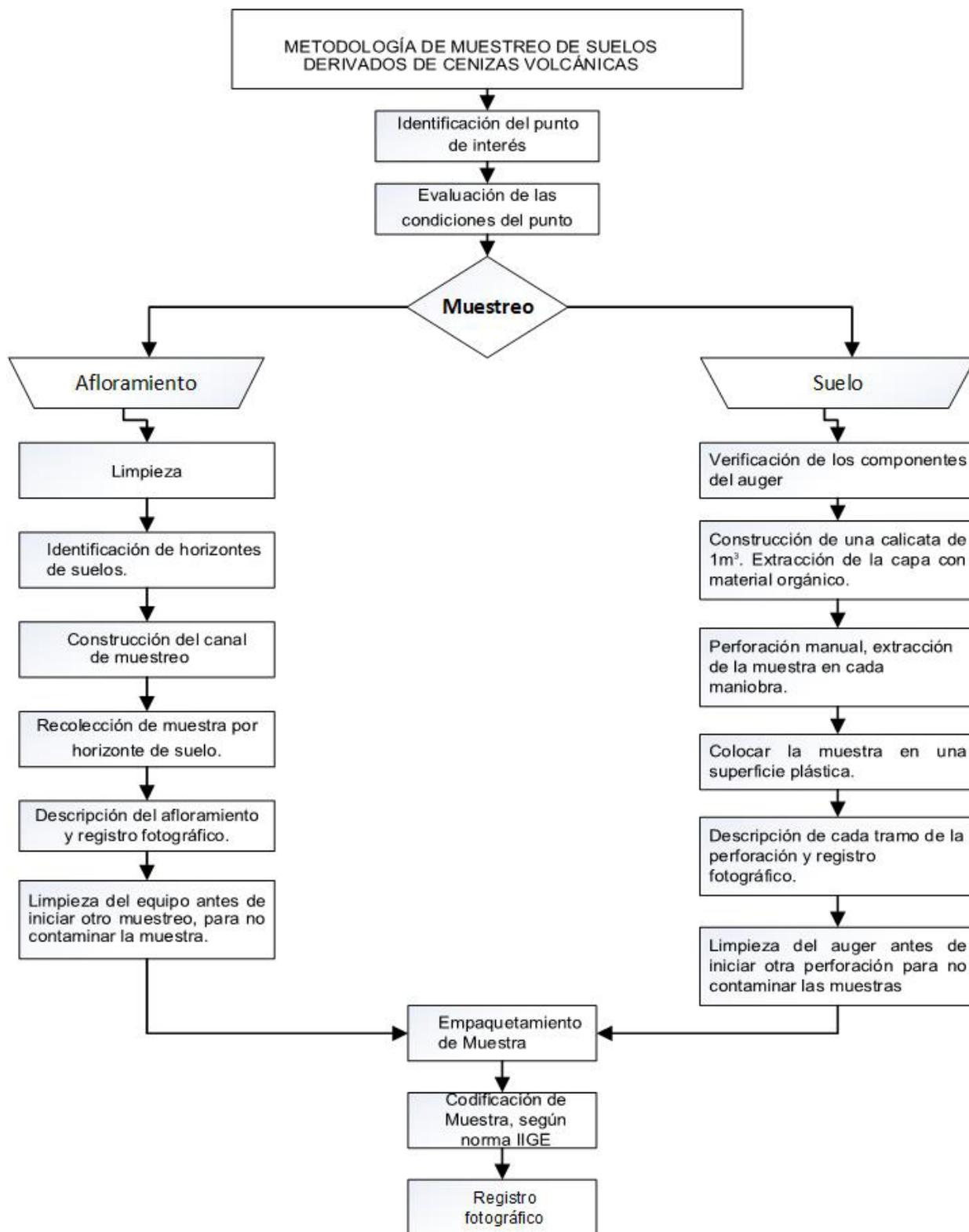


Figura 3. Metodología de muestreo de suelos derivados de cenizas volcánicas, basado en la norma ANSI. / Fuente: IIGE, 2020

Cabe indicar que para la evaluación se recolectaron en Monterrey 60 muestras de suelos las cuales fueron enviadas al laboratorio químico. Anexo 1

### Afloramiento

Identificado el estrato o una superficie en la que se puede determinar la presencia de alófono se realiza la limpieza de la capa orgánica que recubre el afloramiento. A continuación, se construye un canal vertical cuyas dimensiones son 0,70 m de profundidad por 1 m de ancho y por la altura del afloramiento, para proceder con el muestreo a partir de los 0.50 m en el canal, desde la capa vegetal superficial hasta el horizonte indicador de halloysita o inferior visible. (INIGEMM, 2017).

De acuerdo a las características generales del alófono contenido en el andisol, en este depósito se han podido identificar 6 tipos de horizontes, en los cuales se recolecta 0.5 kg de material previamente cuarteado, empaquetado y codificado por cada horizonte para su posterior envío al laboratorio químico.

La caracterización del alófono debe contener tipo de suelo, dureza, grado de compactación, humedad, color, olor, tamaño de grano visible, topes y bases de cada estrato y la tipificación se lo realiza macroscópicamente. (IIGE c, 2018).

### Suelo

Una vez determinado el punto de muestreo mediante el levantamiento topográfico de los puntos de perforación, se procede a la limpieza de la capa vegetal superior y se excava una calicata de 1m<sup>3</sup> de volumen, tomando como centro el punto ubicado a ser investigado. (Hoffmann, 2003).

Extraída la muestra con la ayuda del auger, se coloca sobre una superficie plana aislada (plástico), a medida que va avanzando la perforación respetando la secuencia, para poder identificar in situ tope y base de los horizontes que han sido atravesados, se procede a tomar de 0.5 kg del material por cada horizonte identificado, para evitar realizar un composito de toda la perforación, lo que provocaría una gran disolución del material alofánico; se codifica el material bajo la normativa y procedimientos vigentes del IIGE para esta actividad (IIGE c, 2018).

En referencia a la caracterización de la muestra, esta debe contener información de tipo de suelo, grado de plasticidad, dureza, grado de compactación, humedad, color, olor, tamaño de grano visible, topes y bases de cada estrato y la tipificación de los estratos se lo realiza macroscópicamente. (IIGE c, 2018).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Geoestadística

Dentro del área de estudio, un trabajo primordial constituye la geoestadística cuyo objetivo radica en identificar la mayor concentración de alófono, para lo cual primero se revisó, depuró, corrigió y validó la base de datos de las muestras tomadas, que fueron enviadas al laboratorio químico para ser analizadas por los métodos de difracción y fluorescencia de rayos X y sus resultados fueron analizados e interpretados para obtener el contenido de alófono reportado en valores numéricos de porcentaje y posteriormente almacenados en una base de datos que cuenta con información de coordenadas UTM, altura (msnm), potencia (m) y el valor interpretado en porcentaje (%) del alófono. (Pérez, 2016)

Se espacializaron los datos correspondientes a porcentaje de alófono sobre una base topográfica para realizar un tratamiento geoestadístico simple con los resultados de las muestras para determinar gráficamente mediante la interpolación de valores la máxima concentración o anomalía geoquímica, cuya metodología la describimos a continuación:

1. Organización de los datos de porcentaje de alófono de mayor a menor.
2. Identificación de datos máximos y mínimos y cálculo del rango.
3. Definición y análisis geoestadísticos de variables.
4. Definición de intervalos según la categorización de los valores mayores o de máxima concentración que corresponden a lugares anómicos y menores o de mínima concentración a lugares no anómicos.
5. Interpretación e interpolación manual de valores porcentuales de alófono y zonificación de la anomalía geoquímica.
6. Aplicación de una gama de colores los cua-

les representan una mayor concentración (cálidos) o menor concentración (fríos) de alófono, según se detalla en la Figura 4. (Vargas, 2016)

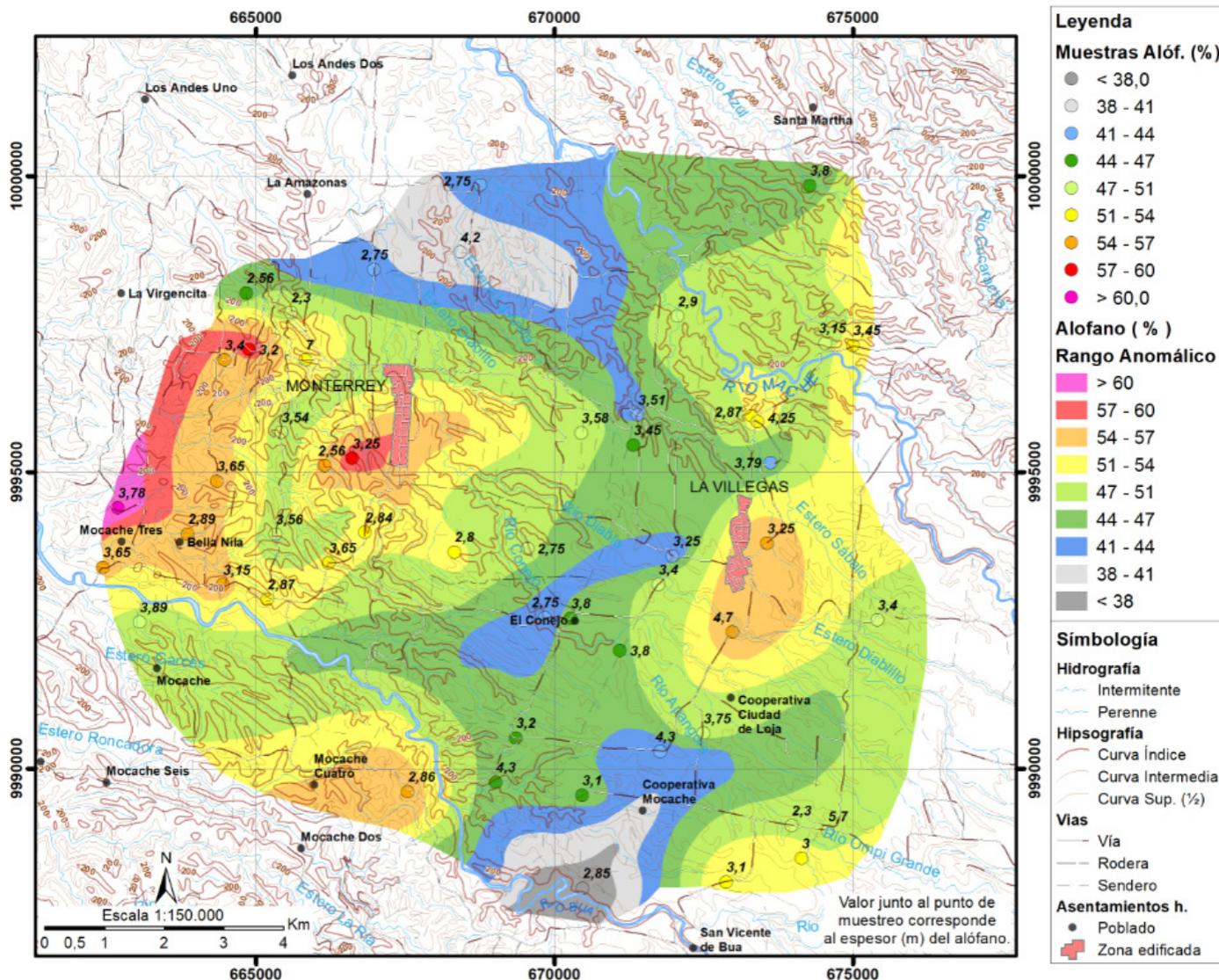


Figura 4. Mapa de zonas anomálicas de alófono. Monterrey, Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. Fuente IIGE, 2020

### Estimación preliminar

La estimación preliminar del alófono en el sector de Monterrey constituye la etapa más importante del presente estudio que permite conocer el potencial geológico en la zona.

Se aplicó el método de polígonos que consiste en la construcción de áreas de influencia definidas por las mediatrices trazadas sobre los segmentos que unen cada punto de muestreo, tanto el espesor como la ley del mineral se consideran constantes dentro de cada polígono (Instituto Tecnológico GeoMinero de España,

1991). Los polígonos proporcionan valores de superficies en (m<sup>2</sup>) y multiplicado por el espesor de la capa en (m) resulta el volumen de influencia (m<sup>3</sup>).

Para este estudio hay que considerar que las capas de alófono se encuentran depositadas de forma horizontal a subhorizontal y su altura es igual al espesor de la capa determinada por la construcción de calicatas en campo, ubicada en el centro del polígono para formar volúmenes, en un conjunto de prismas poliédricos cuyas bases y topes lo constituyen los polígonos o zonas de influencia, con leyes de alófono diferentes asignadas para cada uno, utilizando una gama de colores los cuales representan una mayor concentración (cálidos) o menor concentración (fríos) de alófono, según se detalla en la Figura 5, Tabla 1.

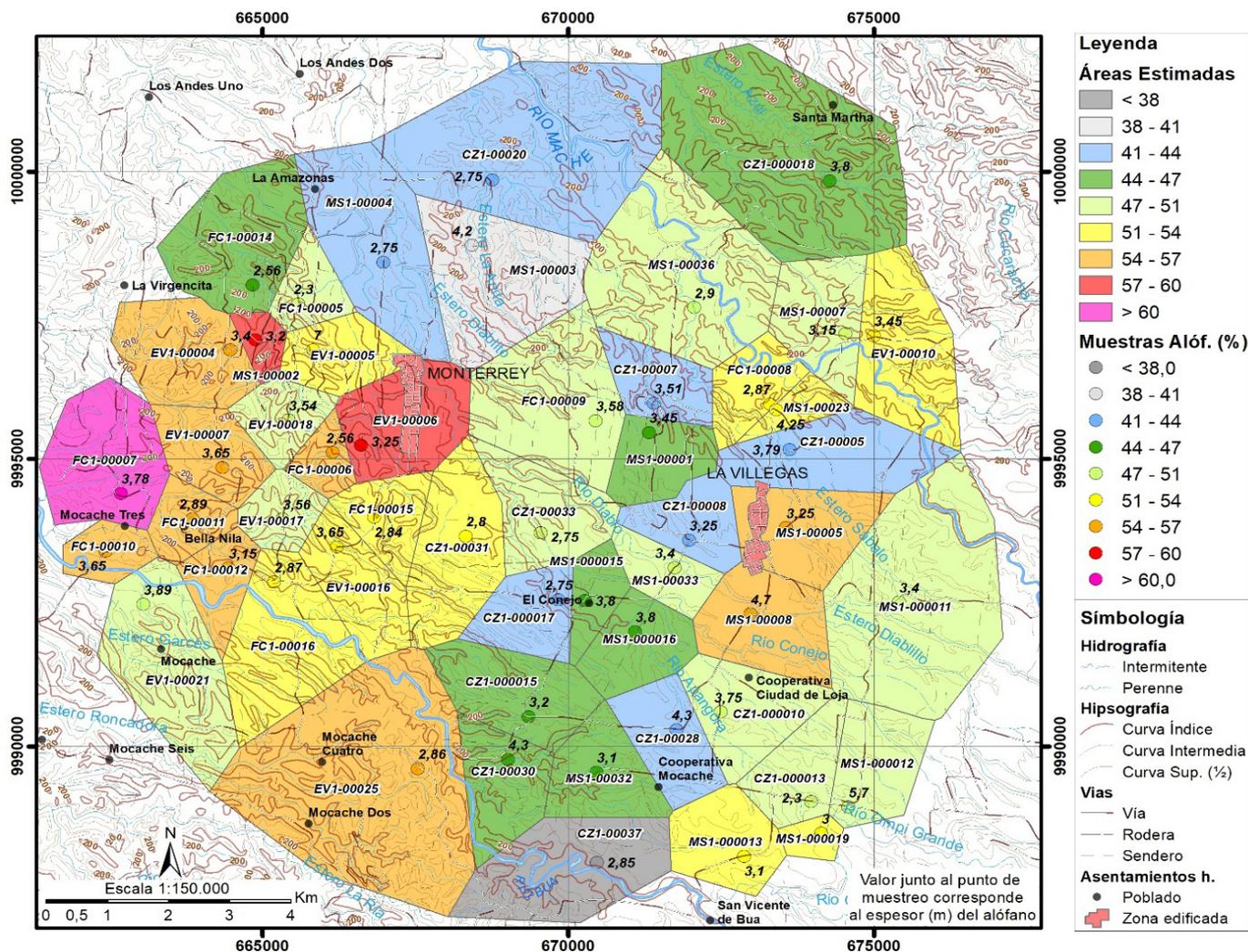


Figura 5. Cálculo de áreas y volúmenes en el sector de Monterrey/ Fuente: IIGE-2020

Tabla 1. Tabla resumen de resultados de los bloques obtenidos. Fuente: IIGE-2020

| Intervalos Alófono (%)            | Área (m <sup>2</sup> ) | Volumen (m <sup>3</sup> ) |
|-----------------------------------|------------------------|---------------------------|
| < 38                              | 4786015,9              | 13640145,45               |
| 38 - 41                           | 5360684,0              | 22514872,60               |
| 41 - 44                           | 28058617,6             | 87469658,45               |
| 44 - 47                           | 29545337,1             | 103411408,45              |
| 47 - 51                           | 47576292,1             | 162375679,09              |
| 51 - 54                           | 25519400,7             | 88172157,18               |
| 54 - 57                           | 30071767,3             | 98376135,24               |
| 57 - 60                           | 4218021,6              | 13672482,43               |
| >60                               | 4094365,0              | 15476699,52               |
| <b>TOTAL</b>                      | <b>179230501,2</b>     | <b>605109238,4</b>        |
| <b>Promedio % Alófono = 48,89</b> |                        |                           |
| <b>605Mm3 @ 49 % Alófono</b>      |                        |                           |

El método se reduce a la separación de las zonas y volúmenes de influencia por cada una de los rangos anomálicos para establecer mediante el cálculo de la media ponderada, leyes

promedios de mineral, y están definidos por la siguiente fórmula:

$$L = \frac{L1.V1 + L2.V2 + \dots + Ln.Vn}{V1 + V2 + \dots + Vn} = \frac{\sum_{i=1}^n N^{L1.V1}}{\sum_{i=1}^n Vi} \quad \text{Ec.(1)}$$

En donde:

L= Media ponderada de la ley.

L<sub>1-n</sub> = Ley en porcentaje de alófono por polígono.

V<sub>1-n</sub> = Volumen de alófono por polígono.

Los resultados de la evaluación de medias ponderadas calculadas de cada uno de los rangos anomálicos se las agrupa y se realiza el promedio general proporcionando como resultado la ley general del depósito, el potencial geológico se determinó en base a la sumatoria del volumen calculado y la ley general del porcentaje de alófono que es de 605 Mm<sup>3</sup> a 49 % alófono. Anexo 2

El enfoque de este cálculo preliminar del potencial geológico del alófono en el sector de Monterrey, fue definir áreas o targets delimitadas como interés que se detallan en la siguiente tabla 2 y Figura 6.

Tabla 2. Áreas de interés del sector Monterrey.

| TARGET | SUPERFICIE (ha) |
|--------|-----------------|
| 1      | 2468            |
| 2      | 340             |
| 3      | 270             |

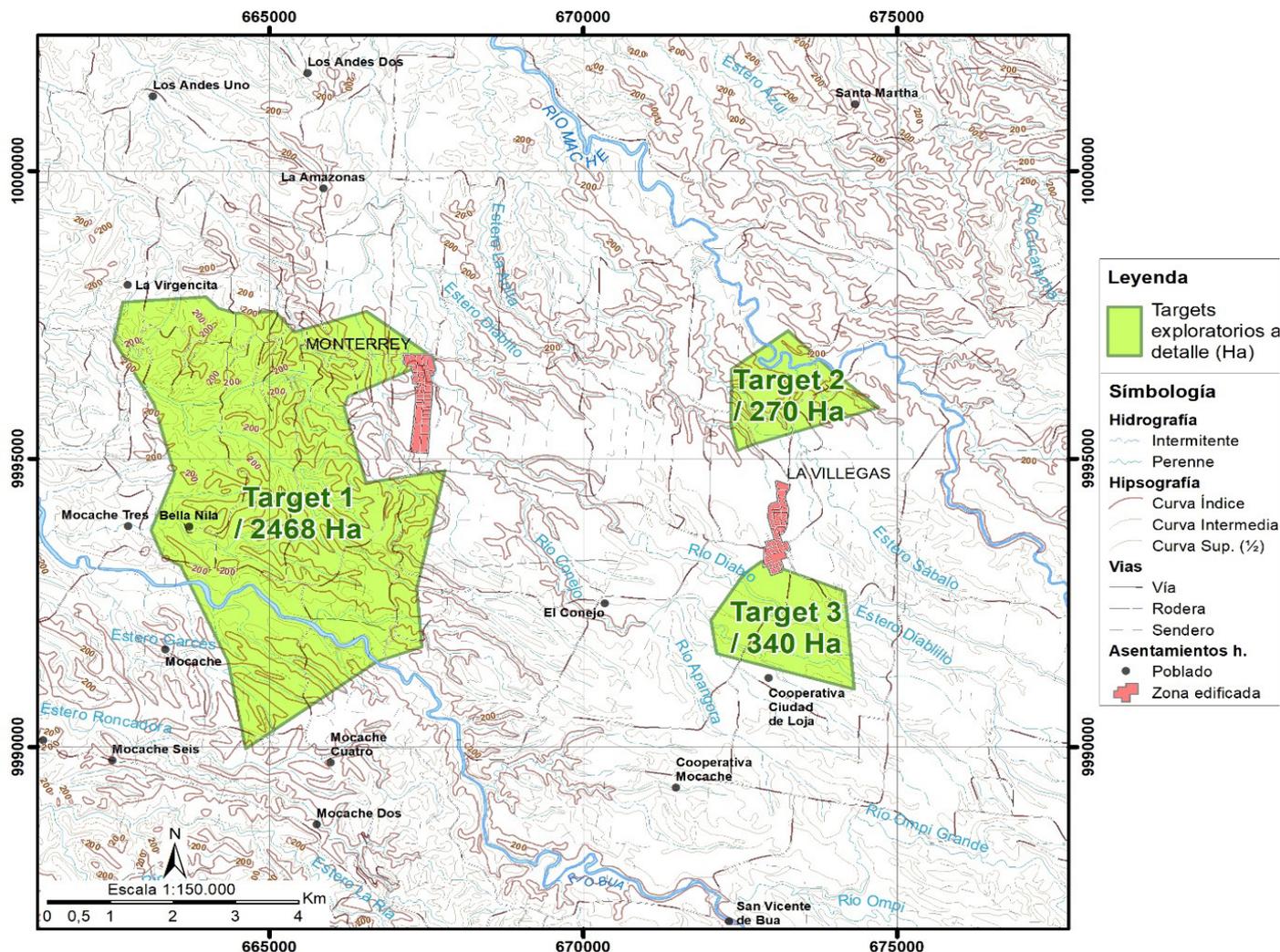


Figura 6. Target de exploración definidos Fuente: IIGE-2020

## CONCLUSIONES

La zona de Monterrey presenta anomalías de alófono, con concentraciones que oscilan entre 37 y 61 % en el muestreo de andisol.

La estimación preliminar es de 605 Mm<sup>3</sup> a 49 % alófono el cual fue calculado utilizando los valores del porcentaje de alófono interpretado, cuyos muestreos fueron de carácter regional, es decir presenta un alto grado de incertidumbre y para reducir la misma se debe ejecutar un muestreo a semi detalle mediante la ubicación de una línea base y lí-

neas perpendiculares en donde se construirán calicatas que a profundidad alcancen el bedrock y se pueda definir tope, base, espesores reales y características típicas del alófono.

La geofísica es un método indirecto que se puede aplicar en este sector mediante pruebas de caracterización geoelectrica del alófono, para la definición de estratos enriquecidos dentro de las capas de arcillas en las líneas perpendiculares a la línea base, cuyos datos e información interpretada será entregada en secciones para tener una apreciación clara de la distribución espacial

del depósito, en los sectores en los que se aplique el ensayo y junto a la información de los muestreos (afloramiento y suelo), se correlacionará la geología y forma del depósito.

Los modelos digitales del terreno se utilizaron para reconocer la superficie y las acumulaciones de alófono en forma de cuerpos enriquecidos y los posibles tajos y excavaciones que se podrían planificar a futuro. Sin embargo, estos no describen las características geoeconómicas y demás información que contiene dicho cuerpo mineral, por tal razón se hace necesario usar esta herramienta para en función a la información de subsuelo generar modelos geológicos 3D que permitan calcular recursos o reservas de acuerdo a modelos de bloques, para estimar la distribución de leyes y otras propiedades de la estructura a explotar.

El método de polígonos es una solución inicial viable para la definición del potencial estimado del depósito y presenta una evaluación rápida para levantar expectativas de los inversionistas quienes financiarán las actividades exploratorias a detalle.

En la zona de estudio, las principales actividades antrópicas que podrían afectar las actividades posteriores a la estimación son la ganadería y agricultura.

ísticas del alófono en función del estudio de sus propiedades físicas, químicas y estructurales. Quito: IIGE.

IIGE c. (2018). Protocolo de muestreo de suelos derivados de cenizas volcánicas ricos en alófono. Quito: IIGE.

INIGEMM a. (2017). Characterization and Activation of Allophane ( $Al_2SiO_5 \cdot nH_2O$ ) as Adsorbent of Heavy Metals and Metalloids present in Ore Acid Effluents. Quito: INIGEMM.

INIGEMM b. (2017). Investigación del Potencial de materias primas no metálicas. Quito: INIGEMM.

Instituto Tecnológico GeoMinero de España. (1991). Manual de Evaluación Técnico-Económica. Madrid: ITGE.

Kaufhold, S., Dohrmann, R., Abidin, Z., Henmi, T., Matsue, N., Eichinger, L., . . . Jhan, R. (2010). Allophane compared with other sorbent minerals for the removal of fluoride from water with particular focus on a mineable Ecuadorian allophane. *Applied Clay Science*, 50.

Pérez, S. (2016). Aplicación de Geoestadística como Metodología para la Estimación de Recursos de un Yacimiento sedimentario. Bogotá: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Vargas, V. F. (2016). Estimación de Reservas Minerales y Propuesta de Diseño. Guayaquil: ESPOL.

## REFERENCIAS

Aguilar, A. (2007). Guía Metodológica Toma de Muestras. Buenos Aires: IHOBE.

Hernández, R. (2012). Métodos clásicos de Estimación de reservas. [https://www.academia.edu/25040736/M%C3%A9todos\\_cl%C3%A1sicos\\_de\\_Estimaci%C3%B3n\\_de\\_reservas](https://www.academia.edu/25040736/M%C3%A9todos_cl%C3%A1sicos_de_Estimaci%C3%B3n_de_reservas).

Hoffmann, R. (2003). Investigación del Potencial de materias primas no metálicas. Quito: DINAGE/BGR. Quito: DINAGE.

IIGE a. (2018). Caracterización geológica del depósito de alófono de Santo Domingo. Quito: IIGE.

IIGE b. (2018). Determinación de las caracte-

**Anexos.**

Anexo 1. Resultados de laboratorio procesado el porcentaje de alófono/ Fuente: IIGE-2020

| Código de Muestra | Coordenadas UTM WGS84 |         | Z (msnm) | Alófono (%) | Potencia total (m) |
|-------------------|-----------------------|---------|----------|-------------|--------------------|
|                   | X                     | Y       |          |             |                    |
| EV1-00004         | 664472                | 9996897 | 180      | 54,77       | 3,4                |
| EV1-00005         | 665834                | 9996900 | 201      | 53,61       | 7                  |
| FC1-00005         | 665587                | 9997698 | 200      | 50,8        | 2,3                |
| EV1-00006         | 666611                | 9995236 | 193      | 58,64       | 3,25               |
| FC1-00006         | 666148                | 9995112 | 183      | 56,74       | 2,56               |
| EV1-00007         | 664346                | 9994851 | 185      | 55,29       | 3,65               |
| FC1-00007         | 662683                | 9994403 | 177      | 61,02       | 3,78               |
| FC1-00008         | 673307                | 9995956 | 209      | 53,72       | 2,87               |
| FC1-00009         | 670449                | 9995665 | 201      | 50,4        | 3,58               |
| EV1-00010         | 675009                | 9997142 | 202      | 51,73       | 3,45               |
| FC1-00010         | 662433                | 9993396 | 180      | 54,72       | 3,65               |
| FC1-00011         | 663860                | 9993961 | 186      | 55          | 2,89               |
| FC1-00012         | 664443                | 9993102 | 208      | 55,51       | 3,15               |
| FC1-00014         | 664838                | 9998023 | 196      | 44,4        | 2,56               |
| FC1-00015         | 666827                | 9993987 | 217      | 51,09       | 2,84               |
| EV1-00016         | 666215                | 9993474 | 201      | 51,15       | 3,65               |
| FC1-00016         | 665193                | 9992862 | 203      | 52,2        | 2,87               |
| EV1-00017         | 665330                | 9993956 | 203      | 49,28       | 3,56               |
| EV1-00018         | 665430                | 9995679 | 205      | 49,28       | 3,54               |
| EV1-00021         | 663052                | 9992470 | 181      | 47,36       | 3,89               |
| EV1-00025         | 667542                | 9989613 | 214      | 55,93       | 2,86               |
| MS1-00001         | 671330                | 9995457 | 221      | 46,83       | 3,45               |
| MS1-00002         | 664886                | 9997070 | 185      | 58,88       | 3,2                |
| MS1-00003         | 668429                | 9998716 | 182      | 39,72       | 4,2                |
| MS1-00004         | 666981                | 9998423 | 195      | 43,73       | 2,75               |
| MS1-00005         | 673566                | 9993806 | 228      | 55,44       | 3,25               |
| CZ1-00005         | 673631                | 9995162 | 213      | 43,2        | 3,79               |
| MS1-00006         | 673407                | 9995858 | 222      | 47,83       | 3,23               |
| CZ1-00007         | 671407                | 9995966 | 196      | 43,46       | 3,51               |
| MS1-00007         | 674541                | 9997181 | 196      | 48,41       | 3,15               |
| CZ1-00008         | 671984                | 9993588 | 219      | 41,54       | 3,25               |
| MS1-00008         | 672986                | 9992306 | 221      | 54,21       | 4,7                |
| CZ1-00009         | 672983                | 9992297 | 221      | 54,21       | 3,85               |
| CZ1-00010         | 672502                | 9990600 | 231      | 47,93       | 3,75               |

|            |        |         |     |       |      |
|------------|--------|---------|-----|-------|------|
| MS1-000011 | 675413 | 9992510 | 243 | 48,62 | 3,4  |
| MS1-000012 | 674587 | 9988945 | 249 | 47,41 | 5,7  |
| CZ1-000013 | 673979 | 9989042 | 245 | 48,25 | 2,3  |
| MS1-000013 | 672884 | 9988090 | 248 | 53,36 | 3,1  |
| CZ1-000015 | 669357 | 9990518 | 227 | 46,26 | 3,2  |
| MS1-000015 | 670277 | 9992536 | 218 | 45,31 | 3,8  |
| MS1-000016 | 671100 | 9991992 | 209 | 46,9  | 3,8  |
| CZ1-000017 | 669846 | 9992552 | 208 | 41,18 | 2,75 |
| CZ1-000018 | 674279 | 9999838 | 183 | 44,52 | 3,8  |
| MS1-000019 | 674148 | 9988490 | 177 | 52,31 | 3    |
| MS1-000020 | 668429 | 9998716 | 182 | 58,22 | 2,9  |
| CZ1-00020  | 668761 | 9999851 | 172 | 41,31 | 2,75 |
| MS1-00021  | 666981 | 9998423 | 195 | 43,61 | 2,75 |
| CZ1-00022  | 673631 | 9995162 | 213 | 46,54 | 2,8  |
| MS1-00023  | 673407 | 9995858 | 222 | 52,59 | 4,25 |
| CZ1-00023  | 671407 | 9995966 | 196 | 42,12 | 3,15 |
| MS1-00024  | 674541 | 9997181 | 196 | 49,25 | 2,5  |
| CZ1-00026  | 672502 | 9990600 | 231 | 49,81 | 3,4  |
| CZ1-00028  | 671778 | 9990289 | 218 | 41,61 | 4,3  |
| CZ1-00030  | 669017 | 9989774 | 202 | 44,08 | 4,3  |
| CZ1-00031  | 668330 | 9993655 | 215 | 52,66 | 2,8  |
| MS1-00032  | 670469 | 9989547 | 224 | 45,47 | 3,1  |
| MS1-00033  | 671743 | 9993107 | 220 | 47,92 | 3,4  |
| CZ1-00033  | 669550 | 9993716 | 211 | 47,9  | 2,75 |
| MS1-00036  | 672070 | 9997633 | 181 | 48,56 | 2,9  |
| CZ1-00037  | 670475 | 9987982 | 211 | 37,02 | 2,85 |

## Anexo 2. Resultados del procesamiento el porcentaje de alófono, con área y volumen/ Fuente: IIGE-2020

| Código Muestra | Alófono (%) | Intervalos Alófono (%) | Área (m <sup>2</sup> ) | Potencia Alófono (m) | Volumen (m <sup>3</sup> ) |
|----------------|-------------|------------------------|------------------------|----------------------|---------------------------|
| CZ1-00037      | 37,02       | < 38                   | 4786015,9              | 2,85                 | 13640145,45               |
| <b>TOTAL</b>   |             | <b>&lt; 38</b>         | <b>4786015,9</b>       |                      | <b>13640145,45</b>        |

| Código Muestra | Alófono (%) | Intervalos Alófono (%) | Área (m <sup>2</sup> ) | Potencia Alófono (m) | Volumen (m <sup>3</sup> ) |
|----------------|-------------|------------------------|------------------------|----------------------|---------------------------|
| MS1-00003      | 39,72       | 38 - 41                | 5360684,0              | 4,20                 | 22514872,60               |
| <b>TOTAL</b>   |             | <b>38 - 41</b>         | <b>5360684,0</b>       |                      | <b>22514872,60</b>        |

| Código Muestra | Alófono (%) | Intervalos Alófono (%) | Área (m <sup>2</sup> ) | Potencia Alófono (m) | Volumen (m <sup>3</sup> ) |
|----------------|-------------|------------------------|------------------------|----------------------|---------------------------|
| CZ1-00028      | 41,61       | 41 - 44                | 2451694,7              | 4,30                 | 10542287,25               |
| CZ1-000017     | 41,18       | 41 - 44                | 2145140,2              | 2,75                 | 5899135,48                |
| CZ1-00008      | 41,54       | 41 - 44                | 2017663,5              | 3,25                 | 6557406,35                |
| CZ1-00005      | 43,20       | 41 - 44                | 3844566,0              | 3,79                 | 14570905,00               |
| CZ1-00007      | 43,46       | 41 - 44                | 1975201,0              | 3,51                 | 6932955,61                |
| MS1-00004      | 43,73       | 41 - 44                | 5455194,0              | 2,75                 | 15001783,49               |
| CZ1-00020      | 41,31       | 41 - 44                | 10169158,3             | 2,75                 | 27965185,28               |
| <b>TOTAL</b>   |             | <b>41 - 44</b>         | <b>28058617,6</b>      |                      | <b>87469658,45</b>        |

| Código Muestra | Alófono (%) | Intervalos Alófono (%) | Área (m <sup>2</sup> ) | Potencia Alófono (m) | Volumen (m <sup>3</sup> ) |
|----------------|-------------|------------------------|------------------------|----------------------|---------------------------|
| MS1-00001      | 46,83       | 44 - 47                | 2106807,1              | 3,45                 | 7268484,48                |
| CZ1-000015     | 46,26       | 44 - 47                | 3385408,7              | 3,20                 | 10833307,77               |
| MS1-000016     | 46,90       | 44 - 47                | 2317209,8              | 3,80                 | 8805397,37                |
| CZ1-000018     | 44,52       | 44 - 47                | 10720936,6             | 3,80                 | 40739559,02               |
| FC1-00014      | 44,40       | 44 - 47                | 4501396,8              | 2,56                 | 11523575,81               |
| MS1-000015     | 45,31       | 44 - 47                | 1262275,9              | 3,80                 | 4796648,52                |
| CZ1-00030      | 44,08       | 44 - 47                | 2637832,4              | 4,30                 | 11342679,20               |
| MS1-00032      | 45,47       | 44 - 47                | 2613469,8              | 3,10                 | 8101756,28                |
| <b>TOTAL</b>   |             | <b>44 - 47</b>         | <b>29545337,1</b>      |                      | <b>103411408,45</b>       |

| Código Muestra | Alófono (%) | Intervalos Alófono (%) | Área (m <sup>2</sup> ) | Potencia Alófono (m) | Volumen (m <sup>3</sup> ) |
|----------------|-------------|------------------------|------------------------|----------------------|---------------------------|
| CZ1-000010     | 47,93       | 47 - 51                | 3057601,4              | 3,75                 | 11466005,25               |
| EV1-00021      | 47,36       | 47 - 51                | 5175341,9              | 3,89                 | 20132080,00               |
| MS1-00036      | 48,56       | 47 - 51                | 7739508,5              | 2,90                 | 22444574,79               |
| FC1-00005      | 50,80       | 47 - 51                | 1384109,9              | 2,30                 | 3183452,66                |
| MS1-00007      | 48,41       | 47 - 51                | 2844981,7              | 3,15                 | 8961692,33                |
| FC1-00009      | 50,40       | 47 - 51                | 5397455,7              | 3,58                 | 19322891,29               |
| EV1-00018      | 49,28       | 47 - 51                | 1595988,7              | 3,54                 | 5649799,89                |
| CZ1-00033      | 47,90       | 47 - 51                | 3075365,5              | 2,75                 | 8457255,19                |
| EV1-00017      | 49,28       | 47 - 51                | 1396212,8              | 3,56                 | 4970517,53                |
| MS1-000011     | 48,62       | 47 - 51                | 9511786,7              | 3,40                 | 32340074,80               |
| MS1-00033      | 47,92       | 47 - 51                | 1513218,4              | 3,40                 | 5144942,58                |
| MS1-000012     | 47,41       | 47 - 51                | 2666922,0              | 5,70                 | 15201455,25               |
| CZ1-000013     | 48,25       | 47 - 51                | 2217798,9              | 2,30                 | 5100937,52                |
| <b>TOTAL</b>   |             | <b>47 - 51</b>         | <b>47576292,1</b>      |                      | <b>162375679,09</b>       |

| Código Muestra | Alófano (%) | Intervalos Alófano (%) | Área (m <sup>2</sup> ) | Potencia Alófano (m) | Volumen (m <sup>3</sup> ) |
|----------------|-------------|------------------------|------------------------|----------------------|---------------------------|
| EV1-00005      | 53,61       | 51 - 54                | 2139366,8              | 7,00                 | 14975567,35               |
| FC1-00008      | 53,72       | 51 - 54                | 1827827,0              | 2,87                 | 5245863,37                |
| MS1-00023      | 52,59       | 51 - 54                | 870292,3               | 4,25                 | 3698742,47                |
| MS1-000019     | 52,31       | 51 - 54                | 623698,9               | 3,00                 | 1871096,70                |
| MS1-000013     | 53,36       | 51 - 54                | 2590072,3              | 3,10                 | 8029224,20                |
| CZ1-00031      | 52,66       | 51 - 54                | 4061346,6              | 2,80                 | 11371770,47               |
| FC1-00015      | 51,09       | 51 - 54                | 1796337,5              | 2,84                 | 5101598,41                |
| EV1-00016      | 51,15       | 51 - 54                | 2622661,6              | 3,65                 | 9572714,91                |
| FC1-00016      | 52,20       | 51 - 54                | 4659177,2              | 2,87                 | 13371838,48               |
| EV1-00010      | 51,73       | 51 - 54                | 4328620,5              | 3,45                 | 14933740,82               |
| <b>TOTAL</b>   |             | <b>51 - 54</b>         | <b>25519400,7</b>      |                      | <b>88172157,18</b>        |

| Código Muestra | Alófano (%) | Intervalos Alófano (%) | Área (m <sup>2</sup> ) | Potencia Alófano (m) | Volumen (m <sup>3</sup> ) |
|----------------|-------------|------------------------|------------------------|----------------------|---------------------------|
| EV1-00025      | 55,93       | 54 - 57                | 12505178,7             | 2,86                 | 35764810,99               |
| MS1-00008      | 54,21       | 54 - 57                | 3404430,0              | 4,70                 | 16000820,93               |
| FC1-00012      | 55,51       | 54 - 57                | 1584649,4              | 3,15                 | 4991645,45                |
| FC1-00010      | 54,72       | 54 - 57                | 1221980,1              | 3,65                 | 4460227,37                |
| MS1-00005      | 55,44       | 54 - 57                | 3190118,0              | 3,25                 | 10367883,51               |
| FC1-00011      | 55,00       | 54 - 57                | 1409088,1              | 2,89                 | 4072264,74                |
| FC1-00006      | 56,74       | 54 - 57                | 976297,8               | 2,56                 | 2499322,26                |
| EV1-00007      | 55,29       | 54 - 57                | 2268295,6              | 3,65                 | 8279278,91                |
| EV1-00004      | 54,77       | 54 - 57                | 3511729,7              | 3,40                 | 11939881,09               |
| <b>TOTAL</b>   |             | <b>54 - 57</b>         | <b>30071767,3</b>      |                      | <b>98376135,24</b>        |

| Código Muestra | Alófano (%) | Intervalos Alófano (%) | Área (m <sup>2</sup> ) | Potencia Alófano (m) | Volumen (m <sup>3</sup> ) |
|----------------|-------------|------------------------|------------------------|----------------------|---------------------------|
| EV1-00006      | 58,64       | 57 - 60                | 3496266,8              | 3,25                 | 11362867,24               |
| MS1-00002      | 58,88       | 57 - 60                | 721754,7               | 3,20                 | 2309615,19                |
| <b>TOTAL</b>   |             | <b>57 - 60</b>         | <b>4218021,6</b>       |                      | <b>13672482,43</b>        |

| Código Muestra | Alófano (%) | Intervalos Alófano (%) | Área (m <sup>2</sup> ) | Potencia Alófano (m) | Volumen (m <sup>3</sup> ) |
|----------------|-------------|------------------------|------------------------|----------------------|---------------------------|
| FC1-00007      | 61,02       | > 60                   | 4094365,0              | 3,78                 | 15476699,52               |
| <b>TOTAL</b>   |             | <b>&gt; 60</b>         | <b>4094365,0</b>       |                      | <b>15476699,52</b>        |

# ESTUDIO DE LA EFICACIA DE LA TOMA DE MEDIDAS DE VIBRACIONES MECÁNICAS SOBRE SUPERFICIES IRREGULARES Y NO RÍGIDAS

## STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF TAKING MEASUREMENTS OF MECHANICAL VIBRATIONS ON IRREGULAR AND NON-RIGID SURFACES

**Hernández Dávila Eduardo**  
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.  
Ecuador  
edhernandez@esPOCH.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0003-4899-2371>

**Olivo Malliquinga Danilo**  
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.  
Ecuador  
<https://orcid.org/0000-0001-7577-7584>

**Carrillo Villa Cristian**  
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.  
Ecuador  
<https://orcid.org/0000-0003-3184-337X>

### RESUMEN

El objetivo de la presente investigación experimental fue evaluar el valor eficaz de las mediciones de velocidad global de vibración obtenidas en cuatro puntos diferentes de superficie irregular y no rígida, en comparación con las obtenidas sobre un inserto plano y rígido utilizado como referencia. Todas las mediciones se efectuaron en el plano radial vertical del rodamiento del lado libre del motor eléctrico de un módulo de pruebas funcionando bajo condiciones de trabajo constantes. La normalidad de los datos obtenidos fue evaluada mediante la prueba de Shapiro Wilk, y la comparación de las muestras se efectuó aplicando el estadístico de prueba de t student. Como resultado se obtuvo que las mediciones sobre superficies irregulares y no rígidas son diferentes a las obtenidas sobre insertos, aportando con evidencia concluyente que respalda el cuidado que debe existir al momento de acoplar un sensor de análisis vibracional sobre la superficie de la máquina a inspeccionar.

**Palabras clave:** medición de vibración, análisis vibracional, valor eficaz, inserto.

### ABSTRACT

*The objective of this experimental investigation was evaluate the effective value of the global vibration velocity measurements obtained at four different points of irregular and non-rigid surface, compared to those obtained on a flat and rigid insert used as a reference. All measurements were made in the vertical radial plane of the bearing on the free side of the electric motor of a test module operating under constant working conditions. The normality of the data obtained was evaluated by the Shapiro Wilk test, and the comparison of the samples was carried out by applying the t student test statistic, where it was obtained as a result that the measurements on irregular and non-rigid surfaces are different to those obtained on inserts, providing conclusive evidence that supports the care that must exist when attaching a vibrational analysis sensor on the surface of the machine to be inspected.*

**Keywords:** vibration measurement, vibrational analysis, effective value, insert

## INTRODUCCIÓN

En el diagnóstico técnico de máquinas rotacionales es común la aplicación de análisis de vibraciones para diagnosticar las fallas, en el que se emplean distintos tipos de sensores, el más utilizado es el acelerómetro con de bases magnéticas cuya correcta utilización se obtiene colocando este sensor sobre puntos rígidos y lisos. En el caso que la máquina a analizar carezca de estos puntos se instalan insertos o targets (Vassileva, 2007).

La vibración es el movimiento armónico de una máquina, o elemento de ella, en cualquier dirección del espacio desde su posición de equilibrio (Royo et al., 2000). Los parámetros característicos de las vibraciones son el desplazamiento que indica la cantidad de movimiento que la masa experimenta con respecto a su posición de reposo, el periodo es el tiempo que tarda la masa en realizar un ciclo completo, la frecuencia es el número de ciclos que ocurren en una unidad de tiempo, velocidad que se refiere a la proporción del cambio de posición con respecto al tiempo y la aceleración proporciona la medida del cambio de la velocidad con respecto al tiempo (Royo et al., 2000; AENOR, 2009; Olarte et al., 2010).

Los datos que se deben considerar, desplazamiento, velocidad o aceleración dependen de la velocidad de la máquina, de acuerdo con su relación equivalente de frecuencia ( $\text{rpm}=\text{cpm}$ ), así, para bajas rpm, se toman datos de desplazamientos (Ebersbach, 2008). Para valores que estén dentro del orden de 600 y 60.000 rpm, se miden velocidades, y los de orden superior, se consideran las aceleraciones (Moreno et al., 2014; Olarte et al., 2010).

Existen motores de molinos que trabajan bajo niveles de vibración aceptables que generalmente no superan los 2 mm/s, por esta razón se deben tener en cuenta en las mediciones que superan estos valores, aunque están dentro de lo normal, por lo que es necesario definir el contexto operacional de la máquina donde se especifican los parámetros normales de operación (Torres y Batista, 2010; Martin et al., 2018).

También se aplica la medición de vibraciones para realizar diagnóstico técnico de problemas más serios en las máquinas y estructuras, donde el riesgo de una falla puede ser catastrófico debido a la generación de grietas con antecedentes en la literatura del colapso de plantas

debido a ejes y estructuras agrietadas (Zepeng, 2020).

Con el análisis de vibración se puede determinar problemas específicos de los rodamientos como grietas en la pista interna, en la pista externa, problemas de rodadura y canasta que presentan armónicos específicos generados por grietas en la estructura (Zepeng, 2020). Al momento de realizar el análisis de vibraciones en máquinas, se debe conocer datos técnicos, historial de mantenimiento, criticidad, debido que es una metodología con un alto valor de diagnóstico. (Iriundo, 2007; González, 2019).

En la bibliografía consultada se pone énfasis en las aplicaciones del análisis de vibracional, sin embargo, no se resalta la importancia que tiene la repetitividad de las mediciones la cual se define como la proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mensurado bajo las mismas condiciones de mediciones y para este requerimiento es necesario colocar el sensor de manera adecuada (Portuondo y Portuondo, 2010; Saavedra, 2011; García, 2014).

En este sentido, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la repetitividad de las mediciones del módulo de pruebas colocando el sensor en puntos cercanos al rodamiento y sobre un inserto. Los datos de las muestras obtenidas se compararon con el estadístico paramétricos t-student.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para investigar los errores en la toma de medidas de vibraciones de motores eléctricos mediante acelerómetros y bases magnéticas, se usarán como referencias las medidas que se obtienen en los insertos de acuerdo con las sugerencias que se establecen en normas internacionales que recomiendan colocar los sensores lo más cercano a los rodamientos en una base rígida y lisa asegurando su montaje completo para obtener medidas exactas (Estupiña et al., 2006; Peral Orts et al., 2008).

La medición de referencia está constituida por la utilización de un inserto circular de acero ANSI 1020 de 3 mm de espesor, diámetro de 25 mm y con superficie lisa en la cual se asentó el sensor.

Al desarrollar el experimento se utilizó el módulo de prueba de la figura 1, que consiste en un motor trifásico jaula de ardilla con potencia de 373W de cuatro polos magnéticos anclado sobre una base de acero ANSI 1020 de 10 mm de espesor. Para la alimentación se empleó tablero eléctrico que controla directamente el encendido y apagado del motor (Almeida, 2010).

El sensor utilizado consta internamente de un material piezo eléctrico que genera electricidad proporcional a la presión aplicada sobre el mismo por las vibraciones del motor, además cuenta con un electro imán de 16 libras que asegura el sensor al inserto. El sensor y analizador de vibraciones VIBRACHECK se encargó de recolectar los datos de vibraciones en los puntos antes mencionados (IDEAR, 2019). El análisis de datos se realizó con el software del MAINTraQ Predictive que incluye el analizador de vibraciones (EVTECH, 2020; Pernía, 2004).



Figura 1. Módulo de pruebas

En la figura 2 se especifican los puntos en los cuales se realizaron las mediciones que se usaron:

- a. Punto 1, medida de referencia con sensor montado en el inserto.
- b. Punto 2, sobre el punto 1 pero quitando el inserto.
- c. Punto 3, sobre la tapa del motor.
- d. Punto 4, sobre las aletas del motor.
- e. Punto 5, sobre la superficie curva de la carcasa del motor.

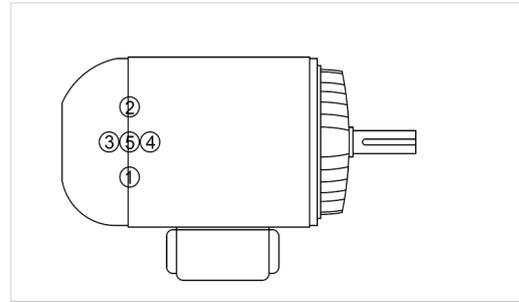


Figura 2. Esquema de los puntos de medición

Para el análisis estadístico se utilizó el software R, donde se evaluó la normalidad de los datos y se compararon las muestras (Hernández Dávila et al., 2019).

### RESULTADOS

El valor eficaz de las cincuenta medidas de velocidad global de vibraciones de los distintos puntos del plano radial vertical del rodamiento del lado libre del motor eléctrico y del módulo de pruebas funcionando bajo condiciones de trabajo constantes, se pueden apreciar en la tabla 1.

Tabla 1. Mediciones de la velocidad global de vibración en los diferentes puntos

| Nº | Inserto [mm/s] | Sin inserto [mm/s] | Tapas [mm/s] | Aletas [mm/s] | Superficie Curva [mm/s] |
|----|----------------|--------------------|--------------|---------------|-------------------------|
| 1  | 8,502          | 8,171              | 10,728       | 4,082         | 4,543                   |
| 2  | 8,595          | 8,289              | 10,759       | 4,058         | 5,157                   |
| 3  | 8,493          | 8,226              | 10,593       | 4,074         | 4,879                   |
| 4  | 8,547          | 8,252              | 10,659       | 4,152         | 4,966                   |
| 5  | 8,564          | 8,188              | 10,888       | 4,199         | 5,434                   |
| 6  | 8,529          | 8,263              | 10,803       | 4,037         | 5,059                   |
| 7  | 8,637          | 8,246              | 10,594       | 4,145         | 4,515                   |
| 8  | 8,519          | 8,161              | 10,630       | 4,166         | 4,450                   |
| 9  | 8,546          | 8,187              | 10,781       | 4,131         | 4,689                   |
| 10 | 8,447          | 8,259              | 10,688       | 4,067         | 4,523                   |
| ⋮  | ⋮              | ⋮                  | ⋮            | ⋮             | ⋮                       |
| 50 | 8,215          | 8,173              | 4,217        | 8,565         | 10,584                  |

Los resultados del análisis estadístico de los datos indicados en la tabla 1, se observan en la tabla 2, cuyos respectivos histogramas de frecuencias, están ilustrados en la figura 3.

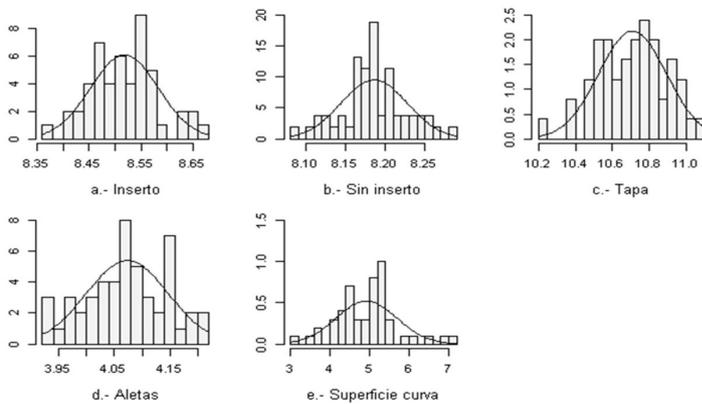
**Tabla 2. Valores estadísticos de las mediciones obtenidas**

| UBICACIÓN DE SENSOR | MÍNIMO [mm/s] | MÁXIMO [mm/s] | MEDIA [mm/s] | DESVIACIÓN ESTÁNDAR |
|---------------------|---------------|---------------|--------------|---------------------|
| Inserto             | 8,373         | 8,661         | 8,518        | 0,0652804           |
| Sin inserto         | 8,085         | 8,289         | 8,186        | 0,0418837           |
| Tapa                | 10,25         | 11,07         | 10,71        | 0,1832880           |
| Aletas              | 3,926         | 4,217         | 4,074        | 0,0739275           |
| Superficie Curva    | 3,031         | 7,021         | 4,929        | 0,7638764           |

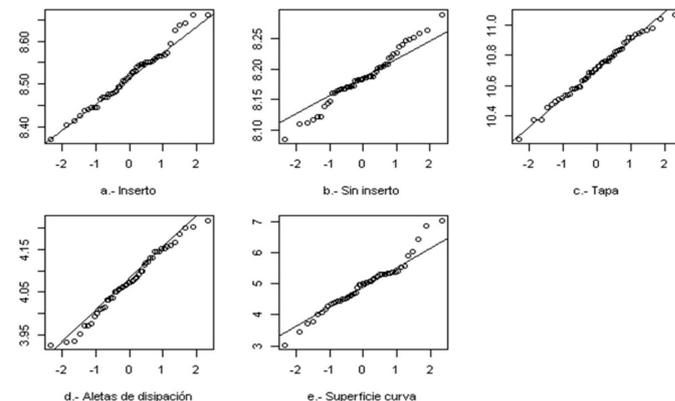
Para poder seleccionar el método para la comparación de las muestras es imprescindible que primeramente se realice una prueba de normalidad de los datos, para tal propósito, se decidió utilizar el método de Shapiro Wilk (Sánchez, 2015; Saldaña, 2016), por su aceptable efectividad y amplia utilización. Estos resultados se indican en la tabla 3 y se visualiza en la figura 4.

**Tabla 3. Resultado prueba de normalidad**

| UBICACIÓN DE SENSOR | W       | P-VALOR       | NORMALIDAD                   |
|---------------------|---------|---------------|------------------------------|
| Inserto             | 0,98012 | 0,5572 > 0,05 | Si se distribuye normalmente |
| Sin inserto         | 0,98088 | 0,5515 > 0,05 | Si se distribuye normalmente |
| Tapa                | 0,93194 | 0,9234 > 0,05 | Si se distribuye normalmente |
| Aletas              | 0,98043 | 0,5701 > 0,05 | Si se distribuye normalmente |
| Superficie curva    | 0,93824 | 0,1590 > 0,05 | Si se distribuye normalmente |



**Figura 5. Histogramas de las pruebas de normalidad**



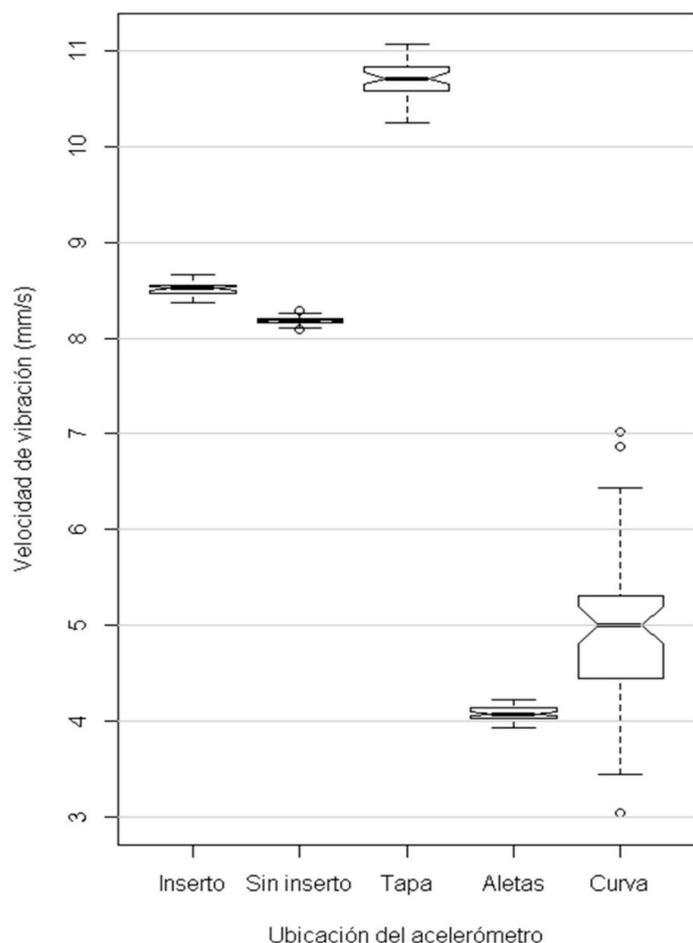
**Figura 4. Gráfico cuantil – cuantil de las muestras**

Dado que en las pruebas de Shapiro-Wilk se encontró que todos los datos se distribuyen normalmente, se aplicó, el método paramétrico de comparación de muestras t student (Sánchez Turcios 2015), de manera de realizar la demostración de la hipótesis; en donde la Ho corresponde a la igualdad de las muestras, que indica que la diferencia en la ubicación del acelerómetro no afecta a la eficacia de las medidas tomadas y cuyos resultados se muestran en la tabla 4.

**Tabla 4. Comparación de variables**

| VARIABLES COMPARADAS      | T       | DF     | P-VALOR        |
|---------------------------|---------|--------|----------------|
| Inserto; Sin inserto      | 30,528  | 82,696 | 2,2e-16 < 0,01 |
| Inserto; Tapa             | -79,641 | 61,235 | 2,2e-16 < 0,01 |
| Inserto; Aletas           | 318,64  | 96,522 | 2,2e-16 < 0,01 |
| Inserto; Superficie curva | 33,104  | 49,716 | 2,2e-16 < 0,01 |

**Figura 5. Comparación de las muestras mediante el diagrama de cajas**



## DISCUSIÓN

La tabla 2 revela que las medidas de velocidad de vibración obtenidas sobre el punto sin inserto son las menos dispersas puesto que su desviación estándar es 0,0418837, que es menor a los otros grupos de datos y su media se distancia muy poco de la media de las medidas obtenidas sobre el inserto. Por otro lado, las medidas más dispersas corresponden a las realizadas sobre la superficie curva, por tanto, son las menos confiables desde el punto de vista de la repetitividad.

En conformidad con los resultados expuestos en la tabla 3 y figura 4, las cincuenta mediciones que conforman las muestras de la velocidad global de vibración de los distintos puntos donde se colocó el sensor, se distribuyen normalmente con el 95% de confianza, por lo que se justifica la utilización del método paramétrico t student para la demostración de la hipótesis.

En la evaluación de hipótesis, el p-valor obtenido con la prueba t student mediante el software estadístico R, es menor que 0,01; por lo tanto, se rechaza la  $H_0$  y se

concluye que las muestras son diferentes con el 99% de confianza; por consecuencia, la diferencia en la ubicación del acelerómetro afecta significativamente a la eficacia de las mediciones.

## CONCLUSIONES

Las mediciones de la velocidad global de vibración extraídas sobre superficies irregulares y no rígidas arrojan valores diferentes a las que se obtienen mediante la utilización de insertos, por lo que se concluye que las mediciones sobre estas superficies irregulares y no rígidas son ineficaces.

Las superficies irregulares y no rígidas generan un área de contacto incompleta e inestable con la base magnética del sensor; por lo que se deduce que se llega al mismo problema con cualquier factor que cause mal contacto como por ejemplo presencia de suciedad o lubricantes en la superficie del punto de sujeción del sensor.

La evidencia aportada en la presente investigación ratifica el cuidado que debe existir al momento de acoplar un sensor de análisis vibracional sobre la superficie de la máquina a inspeccionar.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AENOR. (2009). ISO 10816-3:2009. Evaluation of machine vibration. AENOR.
- Almeida, C. (2010). Diseño y construcción de un banco de pruebas para diagnosticar fallas en engranajes mediante espectros vibracionales para el laboratorio de mantenimiento de la Facultad de Mecánica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. Ecuador.
- Ebersbach S. (2008). Desarrollo de sistemas expertos para el análisis de vibraciones en el monitoreo del estado de la máquina. Sistemas Expertos con Aplicaciones. Vol. 34(1): 291-299.
- Estupiñan, E., San Martín, C. y Solaligue, R. (2006). Diseño e implementación de un analizador virtual.

- Revista de la Facultad de Ingeniería on line. Vol. 14(1): 7-15.
- EVTECH. (2020). Principios de funcionamiento de sensores de proximidad en maquinaria rotativa [Online]. [cited 2020 01/15]. Disponible en: <https://evtech.cl/principio-de-funcionamiento-de-sensores-de-proximidad-en-maquinaria-rotativa>.
- García MJG. (2014). Metodología de selección de indicadores. Tesis doctoral. Escuela Politécnica Superior Universidad Carlos III de Madrid, Departamento de Ingeniería Mecánica. Madrid. España.
- González, R. (2019). Incremento en disponibilidad y control de almacén mediante un análisis del historial del mantenimiento. Revista de Operaciones Tecnológicas. Vol. 3(10): 14-18.
- Hernández Dávila, E.; Cajamarca-Villa, J.; Cacuango-Eugenio, L.; López - Pérez, V. (2019). Estimación empírica del pretensado de una banda trapezoidal mediante el deslizamiento de las poleas. INGENIUS Revista de Ciencia y Tecnología. Vol. 21: 63-70.
- IDEAR. (2019). VIBRA chek 200. Analizador de vibraciones mecánicas de dos canales. Manual. IDEAR condition monitoring.
- Iriondo MR. (2007). Vibraciones mecánicas, qué son y cómo se evalúa el riesgo. DYNA Ingeniería e Industria. Vol. 82: 499-506.
- Martín, DI.; Nadra, A.; Senar, P. (2018). Las nuevas realidades del diseñador en el contexto de la digitalización industrial. Actas de Jornadas de Investigación. Tecnología en relación proyectual. Buenos Aires. Argentina. Disponible en <https://publicacionescientificas.fadu.uba.ar/index.php/actas/article/view/563/813>. Fecha de acceso 16-05-2020.
- Moreno García, F.; Becerra-Vargas, J.; Rendón-Echeverri, C.; Moreno, F. (2014). Diseño de un sistema de análisis temporal y espectral para detectar fallas por vibración en motores eléctricos. Revista Facultad de Ingeniería 24(38):41.
- Olarte, W.; Botero, A.; Cañón, M.; Benhur, A (2010). Análisis de vibraciones: Una herramienta clave en el mantenimiento predictivo. Scientia et Technica. Vol. XVI (45): 219-222.
- Peral Orts, R.; Campillo Davó, N.; Velasco Sánchez, E. (2008). Bancos de ensayos para docencia en vibraciones mecánicas. Acústica. 2008. Universidad de Coimbra. Coimbra. Portugal.
- Pernía A. (2004). Introducción a la medición de vibración. Tesis de maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes. Mérida. Venezuela.
- Portuondo Paisan, Y.; Portuondo, J (2010). La Repetibilidad y Reproducibilidad en el Aseguramiento de la Calidad de los Procesos de Medición. Tecnología Química. Vol. XXX (2): 117-121.
- Royo, J.; Rabanaque, G.; Torres, F. (2000). Análisis de vibraciones e interpretación de datos. DIDYF Universidad de Zaragoza. Zaragoza. España.
- Saavedra PN. (2011) La medición y análisis de las vibraciones como técnica de inspección de equipos y componentes, aplicaciones, normativas y certificación. [Online]. Disponible en <http://www.aaende.org.ar/sitio/material/CONFCHILE.pdf>. Fecha de acceso: 12 de mayo, 2020.
- Saldaña R. (2016). Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal. Revista Enfermería del trabajo. Vol. 6(3): 105-114.
- Sánchez Turcios, R. (2015). T-Student. Usos y abusos. Revista Mexicana de Cardiología. Vol. XXVI (1): 59-61.
- Sánchez, RA. (2015). Prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney: mitos y realidades. Revista Mexicana de Endocrinología, Metabolismo & Nutrición. Vol 2 (1) 18-21.
- Torres, RM; Batista, C. (2010). Análisis vibro dinámico de motores eléctricos. Ingeniería Mecánica. Vol. 13(1): 9-8.
- Vassileva MP. (2007). Mantenimiento y Análisis de vibraciones. Ciencia y Sociedad. Vol. XXXII (4): 668-678.
- Zepeng, L. (2020). Análisis de vibraciones para la detección de fallas en cojinetes de palas de turbinas eólicas a gran escala con un método empírico de umbralización de wavelet. Renewable Energy. Vol. 146: 99-110.



# GUÍA PARA LA PRESENTACIÓN Y APROBACIÓN DE ARTÍCULOS

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

## 1. Normas de presentación: Originalidad

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

Si se trata un artículo basado un trabajo de titulación, éste debe constar en las referencias.

### Uso ético de la información:

Comercialismo. El material de naturaleza comercial es inaceptable en un documento técnico por la Revista FIGEMPA.

Las descripciones genéricas pueden sustituir a los nombres comerciales.

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

## Estructura

El artículo deberá contener: resumen en español e inglés, palabras claves en español e inglés, introducción, metodología, discusión de resultados, conclusiones y referencias bibliográficas

## Formato

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

Evitar hacer afirmaciones que no están claramente apoyadas por resultados de otras investigaciones o que han sido validados con estudios rigurosos. El idioma de la revista es español.

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

### 1.1 Título principal

El título principal debe contener no más de 15 palabras. Deberá también presentarlo en inglés y una fotografía en 300 dpis, afín al artículo

### 1.2 Nombres de los autores y sus e-mails

- Los nombres de los participantes
- Foto del autor en jpg y en 250 dpis
- Título más importante que ha obtenido
- El nombre de la institución a la que pertenece y/o trabaja.
- Correos electrónicos

### 1.3 Gráficos, fotografías y tablas

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

No colocar figuras antes de su primera mención en el texto. Los ejes de las figuras deberán tener nombres y no símbolos.

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

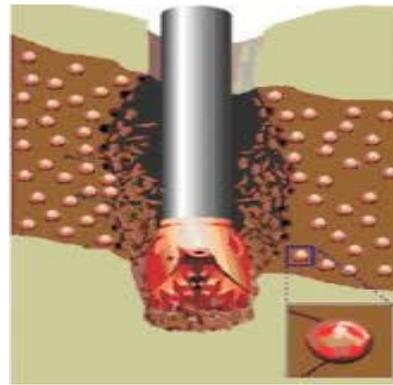
Use mayúsculas sólo en la primera palabra de cada título de las figuras y de las Tablas. Las figuras y las tablas se deben numerar separadamente. Por ejemplo: "Figura 1. Los títulos de la figura deberán estar centrados debajo de las figuras. Los títulos de las tablas deberán estar centrados arriba de las tablas.

**Ejemplos:**

**Tabla 1.xxxxxxxx.**

Fuente: xxxxxxxxxxxxxxxx

| MEDIDAS MÍNIMAS DE LOS ORIFICIOS DE VENTILACIÓN, LLENADO Y DRENAJE REQUERIDO POR LA LONGITUD DE LA SECCIÓN |                          |           |           |           |             |             |           |             |             |             |             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Diametro del tubo (mm)                                                                                     | ≤ 50                     | 60 - 76   | 89        | 102 - 114 | 127 - 152   | 165         | 219       | 245         | 273         | 324         | 335         |
| Medidas                                                                                                    | 50 x 30                  | 80 x 40   | 80 x 80   | 100 x 50  | 100 x 100   | 200 x 100   | 180 x 180 | 200 x 200   | 300 x 200   | 400 x 200   | 300 x 300   |
| RMS (mm)                                                                                                   | 60 x 80                  | 70 x 70   | 120 x 60  | 120 x 80  | 120 x 120   | 150 x 150   | 250 x 150 | 220 x 220   | 250 x 250   | 450 x 250   | 450 x 250   |
| Longitud (m)                                                                                               | 50 x 60                  | 70 x 20   | 100 x 20  | 100 x 100 | 150 x 100   |             |           |             | 240 x 200   |             |             |
|                                                                                                            | Medida del orificio (mm) |           |           |           |             |             |           |             |             |             |             |
| 1                                                                                                          | 10 (12)                  | 10 (12)   | 10 (12)   | 12 (2x10) | 16 (2x12)   | 20 (2X16)   | 25 (2X20) | 30 (2X25)   | 30 (2X25)   | 40 (2X30)   | 40 (2X30)   |
| 2                                                                                                          | 10 (12)                  | 10 (12)   | 12 (2x10) | 12 (2x10) | 16 (2x12)   | 20 (2x16)   | 25 (2X20) | 30 (2X25)   | 30 (2X25)   | 40 (2X30)   | 50 (2X40)   |
| 3                                                                                                          | 10 (12)                  | 12 (2x10) | 12 (2x10) | 12 (2x10) | 16 (2x12)   | 20 (2x16)   | 25 (2X20) | 30 (2X25)   | 40 (2X30)   | 50 (2X40)   | 50 (2X40)   |
| 4                                                                                                          | 12 (2x10)                | 12 (2x10) | 16 (2x12) | 16 (2x12) | 16 (2x12)   | 25 (2X20)   | 25 (2X20) | 30 (2X25)   | 40 (2X30)   | 50 (2X40)   | 2X50 (1X40) |
| 5                                                                                                          | 12 (2x10)                | 16 (2x12) | 16 (2x12) | 16 (2x12) | 25 (2X20)   | 25 (2X20)   | 30 (2X25) | 40 (2X30)   | 50 (2X40)   | 50 (2X40)   | 2X50 (1X40) |
| 6                                                                                                          | 12 (2x10)                | 16 (2x12) | 20 (2x16) | 20 (2x16) | 25 (2X20)   | 25 (2X20)   | 30 (2X25) | 40 (2X30)   | 50 (2X40)   | 2X50 (1X40) | 2X50 (1X40) |
| 7                                                                                                          | 16 (2x12)                | 16 (2x12) | 20 (2x16) | 20 (2x16) | 25 (2X20)   | 25 (2X20)   | 30 (2X25) | 40 (2X30)   | 50 (2X40)   | 2X50 (1X40) | 2X50 (1X40) |
| 8                                                                                                          | 16 (2x12)                | 16 (2x12) | 20 (2x16) | 25 (2X20) | 25 (2X20)   | 2X25 (1X20) | 50 (2X40) | 50 (2X40)   | 2X50 (1X40) | 2X50 (1X40) | 2X50 (1X40) |
| 9                                                                                                          | 16 (2x12)                | 16 (2x12) | 25 (2X20) | 25 (2X20) | 2X25 (1X20) | 2X25 (1X20) | 50 (2X40) | 2X50 (1X40) | 2X50 (1X40) | 2X50 (1X40) | 2X50 (1X40) |
| 10+                                                                                                        | 20 (2x16)                | 25 (2X20) | 25 (2X20) | 25 (2X20) | 2X25 (1X20) | 2X25 (1X20) | 50 (2X40) | 2X50 (1X40) | 2X50 (1X40) | 2X50 (1X40) | 2X50 (1X40) |



**Figura 3. Ejemplo de Figura**

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

**1.3.2 Ecuaciones**

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

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

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

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

Otro ejemplo:

$$\int_0^{\infty} \tilde{F}(r, ) dr d \quad [r_2 / (2_0)] \quad \text{Ec. (2)}$$

$$\exp(|z_i z_i|) \quad J_1(r_2) \cdot J_0(r_i) d .$$

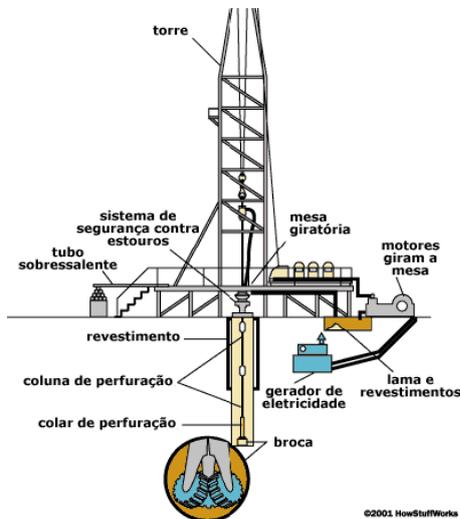
Utilice explícitamente la notación exponencial, es decir,  $5.6 \times 10^{-3}$

**1.4 Citas**

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

**Las citas textuales o directas:**

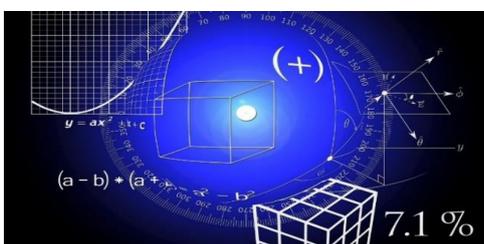
Estas reproducen de forma exacta el material, sin cambios o añadidos. Se debe indicar el autor, año y número de página. Si la fuente citada no tiene paginación, entonces se escribe el número de párrafo.



**Figura 1. Esquema de perforación. Fuente: xxxxxx**

**1.3.1 Imágenes a color**

Está permitido el uso de imágenes a color.



**Figura 2. Ejemplo de Figura**

Si la cita tiene menos de 40 palabras se coloca como parte del cuerpo del texto, entre comillas y al final entre paréntesis se señalan los datos de la referencia.

Ejemplos:

- Al analizar los resultados y según la opinión de Machado (2010): "Todos los participantes..." (p.74)

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

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

Ejemplos:

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

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

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

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

### Citas indirectas o paráfrasis

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

Ejemplo:

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

- Así aparecen las grandes monarquías de España, Francia e Inglaterra, las cuales

intentaron hacerse con la hegemonía europea entablando guerra en diversas ocasiones (Spielvogel, 2012, p. 425).

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

### Otras normas de citado:

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

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

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

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

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

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

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

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

**Comunicaciones personales:** cartas personales, memorándums, mensajes electrónicos, etc.

Manuela Álvarez (comunicación personal, 4 de junio, 2010). No se incluyen en la lista de referencias.

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

**Fuente anónima:** se escriben las primeras palabras del título de la obra citada (Informe de Gestión, 2013), Lazarillo de Tormes (2000).

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

### 1.5 Abreviaturas y acrónimos

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

### 1.6 Conclusiones

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

### 1.7 Recomendaciones

De ser necesarias y conforme al artículo.

### Agradecimientos (opcional)

Exponga reconocimientos a instituciones y grupo de apoyo.

### 1.8 Referencias

Se organiza alfabéticamente y se le coloca sangría francesa.

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

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

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

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

**Capítulo de libro:** únicamente en los casos de libros compilatorios y antologías donde cada capítulo tenga un autor diferente y un compilador o editor: Apellido, A. A., y Apellido, B. B. (Año). Título del capítulo o la entrada. En A. A. Apellido. (Ed.), Título del libro (pp. xx-xx). Ciudad, País: Editorial.

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

**Podcast:** Apellido, A. (Productor). (Fecha). Título del podcast [Audio podcast]. Recuperado de <http://www...>

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

**Ejemplo:**

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

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

Juste, M. R. P. (2008). Educación para la salud con personas mayores: Descripción de una experiencia. Global Health Promotion, 15 (3), pp. 58- 62. DOI: 10.1177/1025382308095665

Parker, O. (director), y Finlay, T. (guión). (2010). El retrato de Dorian Gray, [DVD] [interpretes Ben Barnes, Colin Firth]. Madrid: Aurum produccione

Ramos, M. (2010). Aprendizaje en un centro comunitario el cine y el programa Sroybool Weaver como núcleos generadores de cuentos. [Tesis doctoral inédita]. Universidad de Alcalá, Facultad de Psicopedagogía, España.

Sparks, D., Chase, D. y Coughlin, L. (2009). We have a problem: a review of self-reported We related injuries. Informatics In Primary Care, 17 (1), pp.

55-57. Recuperado de la base de datos Pubmed.

Torres, R. y Ceberio, M. (5 de julio 2011). La SGAE mantiene a Bautista, pero una comisión rectora asumirá sus funciones. El País. Recuperado de: [http://www.elpais.com/articulo/cultura/SGAE/mantiene/Bautista/comision/rectora/asumira/funciones/elpepucul/20110705elpepucul\\_1/Tes](http://www.elpais.com/articulo/cultura/SGAE/mantiene/Bautista/comision/rectora/asumira/funciones/elpepucul/20110705elpepucul_1/Tes)

**2. DE LA PRESENTACIÓN**

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

- a. Remitir el artículo en el formato planteado para la revista que debe estar firmado por sus autores con nombres y apellidos y/o declaración de autor institucional, a la plataforma de la Revista <http://revistadigital.uce.edu.ec>
- b. La convocatoria para la presentación de artículos es abierta
- c. Para subir el artículo debe realizar lo siguiente:
  - I. Ingresar a la plataforma: <http://revistadigital.uce.edu.ec>
  - II. Seleccionar la opción FIGEMPA.
  - III. Luego ir a la opción registrarse.
  - IV. Llenar los datos que le solicitan en minúsculas.
  - V. Ingresar con el usuario que le llegará al correo electrónico ingresado.
  - VI. Seleccionar la opción nuevo envío y llenar los datos solicitados.

Toda la información recibirá al correo electrónico registrado.

**3. DE LA SELECCIÓN**

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

### Evaluación Etapa 1:

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

### Evaluación Etapa 2:

Verificación del cumplimiento de requerimientos académicos y éticos como son: declaración de originalidad y de que el artículo no ha sido enviado a otra revista para su publicación, que no exista indicios de plagio, información de autores y filiación, cumplimiento de políticas y del formato para la publicación como son que no exceda de 8000 palabras, fotografías, tablas, gráficos, ecuaciones y presentación adecuada de referencias. La realiza una subcomisión del Consejo Editorial que informa a éste de los resultados para que se traslade a conocimiento de los autores.

### Evaluación Etapa 3:

Evaluación Técnico - científica que considera:

- a. El Consejo Editorial dispone de una base de datos con nombres de profesores, investigadores y colaboradores técnicos internos y externos a la FIGEMPA para que actúen como revisores y evaluadores para todas las áreas en que ha sido calificada por Latindex.
- b. Cada artículo será remitido a un Par académico Revisor conjuntamente con un formulario para la evaluación donde constan los indicadores técnicos que deben cumplir para su aprobación, quien mediante una evaluación objetiva informará si cumple con los criterios requeridos y proporcionará retroalimentación constructiva sobre cómo podría mejorarlo. Esta es una evaluación conocida como Doble Ciego, ya que el Revisor no conoce los nombres de los autores ni los autores conocen los nombres de sus Evaluadores.
- c. En caso de que existan observaciones, la Dirección de la Revista las remite a los autores para que las incorporen de

considerarlas pertinente, y una nueva versión se recibe y se vuelve a enviar al Revisor.

- d. El Consejo Editorial de la Revista conocerá y a través de la Dirección notificará a los autores los resultados de la evaluación.
- e. Los artículos que sean aprobados pasarán a las fases de Edición Técnica y Gráfica y publicación
- f. Los artículos seleccionados deberán presentarse en un congreso.

### REFERENCIAS

Diccionario de la Real Academia Española. 2018. [www.rae.es](http://www.rae.es).

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

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



## SISTEMA DE ARBITRAJE: EVALUACIÓN EXTERNA POR PARES Y ANÓNIMA

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

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

La valoración incidirá en el interés del artículo, su contribución al conocimiento del tema tratado, las novedades aportadas, la corrección de las relaciones establecidas, el juicio crítico desarrollado, los referentes bibliográficos manejados, su correcta redacción, el uso ético de la información, etc., indicando recomendaciones, si las hubiera, para su posible mejora.

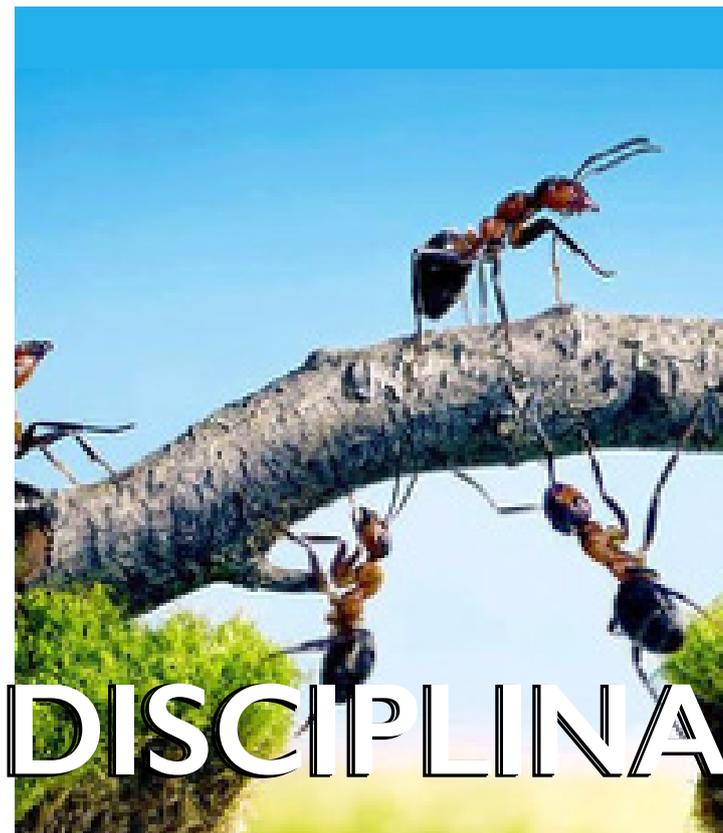
Basándose en las recomendaciones de los revisores, el editor de la revista comunicará a los autores el resultado motivado de la evaluación por correo electrónico, en la dirección que estos hayan utilizado para enviar el artículo. El editor comunicará al autor principal el resultado de la revisión (publicación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

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

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

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

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



Mantener cierto orden según unas reglas o normas morales y de urbanidad que son preceptivas para los infantes, estudiantes o educadores en general y que sin ellas sería imposible la buena marcha de la instrucción didáctica del maestro, padre, hijo o alumno en general. Esta idea de disciplina no está desligada del sentido ético-moral, en la medida en que esas reglas también quieren transmitir unos valores o hacer que adquieran ciertas virtudes por el mero hecho de cumplir las reglas de la disciplina, tales como: respeto, cumplimiento de las tareas asignadas, generosidad, camaradería, responsabilidad, urbanidad.

Estado de ánimo que nos permite una posibilidad de vida deseable o pretendemos que sea posible, es la virtud que capacita al hombre para tener confianza de alcanzar la vida plena. Los fuertes se aferran a la esperanza, porque desean hacer posible sus proyectos y saben que no se puede vivir la vida sin ella.





FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL



# Investigación y Desarrollo

## Universidad Central del Ecuador

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL

AÑO 2020/ VOLUMEN 1 / NÚMERO 1

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

5932 2266726 / 593 9 987 76225

[revista.figempa@uce.edu.ec](mailto:revista.figempa@uce.edu.ec)

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

QUITO - ECUADOR