

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN MULTI E INTERDISCIPLINARIO PIMI-17-04
“Un análisis comparativo de métodos para determinar la evapotranspiración efectiva del ecosistema del páramo en el norte del Ecuador”

En la ciudad de Quito D.M., a los doce días del mes de octubre del año dos mil veintidós, comparecen a la celebración de la presente Acta de Finalización del Proyecto Multi e Interdisciplinario **PIMI-17-04 “Un análisis comparativo de métodos para determinar la evapotranspiración efectiva del ecosistema del páramo en el norte del Ecuador”**, por una parte, la **Dra. Alexandra Patricia Alvarado Cevallos** en calidad de **Vicerrectora de Investigación, Innovación y Vinculación** de la Escuela Politécnica Nacional, y por otra el **Dr. Xavier Eduardo Zapata Ríos** en calidad de **Director del Proyecto Multi e Intedisciplinario PIMI-17-04**, al tenor de lo siguiente:

1. ANTECEDENTES:

El 4 de julio de 2017, al amparo de lo dispuesto por el Consejo de Investigación y Proyección Social - CIPS, mediante Resolución R079/17, se aprueba el cronograma para la convocatoria de proyectos de investigación 2017. El 1 de agosto de 2017, mediante Resolución R092/17, se aprueba la reforma al cronograma.

El 5 de abril de 2018, al amparo de lo dispuesto por Consejo de Investigación y Proyección Social, mediante Resolución R048/18, se aprobó el “*Alcance al Informe Final - Convocatoria 2017*”, donde se mostraron los resultados y los proyectos aprobados de la Convocatoria 2017. Entre los proyectos aprobados se encuentra el proyecto Multi e Interdisciplinario denominado “*Un análisis comparativo de métodos para determinar la evapotranspiración efectiva del ecosistema del páramo en el norte del Ecuador*”, presentado por el Dr. Xavier Zapata.

Mediante Memorando EPN-VIPS-2018-0792-M del 10 de abril de 2018, el Vicerrectorado de Investigación y Proyección Social, notifica al Jefe Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental (DICA), la aprobación del proyecto “*Un análisis comparativo de métodos para determinar la evapotranspiración efectiva del ecosistema del páramo en el norte del Ecuador*”, presentado por el Dr. Xavier Zapata.

Mediante Memorando EPN-VIPS-2018-0795-M del 10 de abril de 2018, el Vicerrectorado de Investigación y Proyección Social, notifica al Dr. Xavier Zapata, el inicio del proyecto PIMI-17-04 “*Un análisis comparativo de métodos para determinar la evapotranspiración efectiva del ecosistema del páramo en el norte del Ecuador*” con fecha de inicio 2 de mayo de 2018 y fecha de fin 2 de mayo de 2021.

Mediante Memorando EPN-CIIV-2020-0325-M del 17 de diciembre de 2020, el Consejo de Investigación, Innovación y Vinculación, notifica al Dr. Xavier Zapata, director del proyecto PIMI-17-04 la aprobación de suspensión del proyecto desde el 4 de enero de 2021 hasta el 3 de julio de 2021, teniendo como nueva fecha de fin 1 de noviembre 2021.

2. DATOS GENERALES DEL PROYECTO:

Código del proyecto	PIMI-17-04
Título del proyecto	Un análisis comparativo de métodos para determinar la evapotranspiración efectiva del ecosistema del páramo en el norte del Ecuador
Director	-ZAPATA RIOS XAVIER EDUARDO
Codirector	-VILLACIS ERAZO MARCOS JOSHUA
Colaborador	-FLORES SANCHEZ MIGUEL ALFONSO -ALVAREZ RUEDA ROBIN GERARDO -MINAYA MALDONADO VERONICA GRACIELA- DESV.
Colaborador externo	-AGUIRRE MARIA SOLEDAD
Unidad ejecutora	Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
Líneas de investigación	-Meteorología y climatología aplicada -Comunicaciones inalámbricas

	-Geografía y paisaje -Hidrología, hidrogeología y recursos hídricos
Objetivo	Estimar la evapotranspiración efectiva (ET) del ecosistema del páramo en el norte de Ecuador mediante la aplicación de cuatro metodologías independientes.
Duración del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> • Fecha de Inicio: 2018-05-02 • Fecha de Fin Planeada: 2021-05-02 • Periodo de Suspensión: Desde el: 2021-01-04 hasta: 2021-07-03 • Fecha de Fin Real: 2021-11-01 • Duración total: 36 meses
Presupuesto aprobado	\$ 199.929,44 USD
Presupuesto ejecutado	\$ 154.780,19 USD
Fecha entrega informe final	27 de junio de 2022

3. INFORME FINAL:

Mediante Memorando EPN-PIMI-17-04-2022-0002-M del 27 de junio de 2022, el Dr. Xavier Zapata, Director del Proyecto PIMI-17-04, presenta el Informe Final del Proyecto Multi e Interdisciplinario que dirige, mismo que es revisado por la Dirección de Investigación, que se anexa y forma parte integrante del Acta de Finalización, cuyas conclusiones y productos generados son:

CONCLUSIONES:

- Se cumplió el 100% del alcance inicialmente planteado del proyecto y además se expandió al análisis en otras áreas relacionadas. Con referencia a los datos principales medidos por la torre, las concentraciones de CO₂ en la atmosfera indican un promedio de 408 ppm durante los últimos 24 meses. A manera comparativa, la estación de Hawaii a la fecha indica una concentración de CO₂ de 412 ppm. El páramo de pajonal actúa como un sumidero de carbono, obteniendo tasas de captura de CO₂ mayores en el mes de junio de 0.85 $\text{umol.m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y menores a inicios de año por ejemplo en el mes de enero con valores de 0.37 $\text{umol.m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Estos valores de captura medidos en el páramo en la zona norte son inéditos y por lo tanto no han sido replicados anteriormente en la zona norte de los Andes de Ecuador. La radiación neta medida por la torre en promedio indica valores de 104 y 116 W.m^{-2} como promedio diario para los años 2020 y 2021, respectivamente. La evapotranspiración real fue de 544 y 514 mm por año para el 2020 y 2021, con valores promedio diarios de 1,43 mm. Además, al análisis de carbono, energía y agua por la torre EC, se analizaron la variabilidad espacial y temporal de los caudales del Ecuador y de la Amazonía. Los caudales son una consecuencia del balance hidrológico superficial en una cuenca es decir la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración efectiva. Además, se hicieron validaciones de información meteorológica medida por la torre EC e instrumentación en zonas de páramo aledañas como la misma reserva Antisana y en la reserva Cayambe Coca, específicamente en el embalse Salve Faccha.
- Durante el período de desarrollo del proyecto existieron limitaciones de tiempo que estuvieron más allá del control de los investigadores o de la estructura de investigación de la Escuela Politécnica Nacional. Estos hechos fortuitos no pudieron ser planificados en la elaboración del proyecto y sin duda causaron retrasos en la ejecución del mismo. El primero hace referencia al no desembolso de recursos económicos al proyecto durante todo el año 2018. Esta restricción presupuestaria limitó actividades claves del proyecto como contratación de personal e inicio de las adquisiciones de equipos durante los primeros 8 meses de vida del proyecto. La segunda circunstancia fueron los tiempos largos de contratación pública, la adquisición efectiva de la torre y su instalación no fue posible hasta finales del año 2019. Es decir, la torre Eddy covariance, sistema clave de este proyecto, fue instalada 20 meses después de la fecha de inicio del mismo. El tercer hecho fue el mal funcionamiento de sensores al inicio de la operación de la torre. La torre es un sistema complejo de sensores, controles y fuentes de energía. El sistema de energía instalado proveía un exceso de energía que causaba el no funcionamiento de varios sensores durante las horas con mayor radiación. Este problema no pudo ser resuelto hasta octubre del año 2020 debido a las

restricciones en la movilidad de los técnicos desde Cuenca, sumados a las restricciones de acceso al lugar de la torre Eddy Covariance como consecuencia de la pandemia de COVID19. El poner a funcionar un sistema complejo demanda un tiempo inicial de seguimiento por parte de técnicos electrónicos. Este seguimiento inicial lamentablemente fue interrumpido y complicado por la pandemia. Por tanto, el proyecto tuvo que expandir su alcance para poder cumplir con los productos del proyecto y mantener al personal contratado trabajando al 100% del tiempo.

- Los resultados del proyecto se cumplieron al 100% luego de la ampliación del plazo de entrega del informe final, ambos por los motivos señalados en el literal anterior. El sistema Eddy Covariance instalado es una inversión importante y el inicio de un proyecto de investigación con un horizonte de tiempo de al menos 10 años, por lo que se continuará con los trabajos de investigación y se buscarán nuevas fuentes de financiamiento para mantener al sistema operando en perfectas condiciones. El sistema instalado es de mucho interés para la Empresa de Agua de Quito (EPMAPS) el Fondo de Agua de la ciudad (FONAG) y para las actividades de docencia que desarrollo dentro de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Escuela Politécnica Nacional.

PRODUCTOS:

- **Artículo publicado:** “Application of neural network models and ANFIS for water level forecasting of the Salve Faccha Dam in the Andean Zone in Northern Ecuador”; Pablo Páliz Larrea, Xavier Zapata-Ríos, Lenin Campozano Parra, Pablo Paliz Larrea; Water, MDPI (Indexado Scopus, Q1); ISSN: 20734441; DOI: <https://doi.org/10.3390/w13152011>; julio 2021.
- **Artículo publicado:** “Classifying flow regimes of the Amazon basin”; Sharmin F. Siddiqui, Xavier Zapata-Ríos, Sandra Torres-Paguay, Andra C. Encalada, Elizabeth P. Anderson, Mark Allaire, Carolina Rodriguez da Costa Doria, David A. Kaplan; Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems (Indexado Scopus, Q1); ISSN: 10527613, 10990755; DOI: <https://doi.org/10.1002/aqc.3582>; abril 2021.
- **Presentación en congreso por revisión por pares:** “Mediciones del balance de energía, flujos de carbono y agua en el páramo norte de Ecuador”; Xavier Zapata-Ríos; VIII CONVENCION IBEROAMERICANA SOBRE AMBIENTE Y SUSTENTABILIDAD (Virtual); 6-10 de junio del 2022.
- **Presentación en congreso por revisión por pares:** “Flujos de energía, carbono y agua en el páramo en la zona Andina en el norte de Ecuador”; Xavier Zapata-Ríos VIII Congreso Internacional de Investigación REDU (Virtual); 15-18 de noviembre del 2021.
- **Poster:** “Classifying hydrologic regimes of the Amazon”; Sharmin F. Siddiqui, Xavier Zapata-Ríos, Sandra Torres-Paguay, Andra C. Encalada, Elizabeth P. Anderson, Mark Allaire, David A. Kaplan; UF Water Institute Symposium; 25-26 Febrero 2020; Gainesville, Florida.
- **Presentación a la comunidad politécnica:** “Clasificación hidrológica de los regímenes de flujo en el Ecuador con algoritmos de agrupamiento y enfoque funcional estadístico”; Conferencia; Sandra Torres; 26 de noviembre 2020.
- **Presentación a la comunidad politécnica:** “Observaciones iniciales de un sistema Eddy Covariance en el área de conservación hídrica Antisana”; Conferencia; Xavier Zapata Ríos; 30 de enero 2020.
- **Proyecto de titulación de Ingeniería Civil y Ambiental:** “Diseño Optimo de la Red pluviométrica utilizando Cokriging y entropía en la cuenca alta del Río Guayllabamba, Distrito Metropolitano de Quito”; María Belén Chicaiza & Jhon Villarreal Veloz; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19830> ; octubre 2018.
- **Proyecto de titulación de Ingeniería Civil y Ambiental:** “Evaluación de la herramienta de simulación del recurso hídrico HYDRO-BID para la cuantificación de la disponibilidad de agua en la cuenca alta del Río Guayllabamba y unidades hídricas aportantes de agua para el Distrito

Metropolitano de Quito"; Viviana Paola Bravo Ortiza; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20708>; enero 2020.

- **Proyecto de titulación de Ingeniería Civil y Ambiental:** "Estimación de la variabilidad espacial y temporal de la escorrentía en microcuencas que drenan los páramos del Ecuador"; María José Guerra Amán; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20479>; septiembre 2019.
- **Proyecto de titulación de Ingeniería Civil y Ambiental:** "Balance hidrológico de un pedón de suelo en el ecosistema del páramo en el norte del Ecuador"; Jonatan Stalin Tibanquiza Cauja; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21999>; diciembre 2021.
- **Proyecto de titulación de Ingeniería Civil y Ambiental:** "Un análisis comparativo de métodos para determinar la evapotranspiración efectiva del ecosistema del páramo en el norte del Ecuador"; Erick Viscarra Gualpa; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21999>; diciembre 2021.
- **Tesis de maestría en hidráulica:** Pronóstico del nivel de agua de 1 a 6 días del reservorio Salve Faccha utilizando modelos de redes neuronales y ANFIS; Páliz Larrea, Pablo Ignacio; https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=90860&shelfbrowse_itemnumber=104686; Año 2020.
- **Trabajo de integración curricular Ingeniería Ambiental:** "Cuantificación de la evapotranspiración para el ecosistema del páramo en el norte de Ecuador mediante modelos climáticos e información satelital. Análisis de los productos de evapotranspiración MODIS y CRU"; Karla Rocha Castro; septiembre 2022; <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22943>.
- **Trabajo de integración curricular Ingeniería Ambiental:** "Cuantificación de la evapotranspiración para el ecosistema del páramo en el norte de Ecuador mediante modelos climáticos e información satelital. Análisis de los productos de evapotranspiración GLDAS y REANALYSIS NCEP"; Karen Rosero Salcedo; septiembre 2022; <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23004>
- **Trabajo de integración curricular Ingeniería Ambiental:** "Cuantificación de la evapotranspiración para el páramo en el norte de Ecuador por medio de modelos climáticos e información satelital: cuantificación del balance de energía y la evapotranspiración mediante el método de penman monteith mediante datos de la torre de eddy covariance."; Yacelga Beltran, Andrea Verónica; septiembre 2022. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23006?mode=full>

4. LIQUIDACIÓN ECONÓMICA:

El monto asignado al Proyecto Multi e Interdisciplinario PIMI-17-04 fue de \$ 199.929,44 USD (ciento noventa y nueve mil novecientos veinte y nueve dólares americanos, con 44/100), y se ejecutaron \$ 154.870,19 USD (ciento cincuenta y cuatro mil ocho cientos setenta dólares americanos, con 19/100), conforme al detalle emitido por la Unidad de Gestión de Investigación y Proyección Social del Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Vinculación, que se adjunta a la presente Acta y forma parte integrante de la misma.

5. FINALIZACIÓN:

Con la presente Acta se declara finalizado y cerrado el Proyecto de Investigación Multi e Interdisciplinario PIMI-17-04 "Un análisis comparativo de métodos para determinar la evapotranspiración efectiva del ecosistema del páramo en el norte del Ecuador".

Para constancia de lo ejecutado y por estar de acuerdo con el contenido de la presente Acta, las partes libre y voluntariamente suscriben la misma, en tres ejemplares de igual contenido, tenor y valor legal.

Dado en la ciudad de Quito, D.M. a los doce días del mes de octubre del año dos mil veintidós.

Dra. Alexandra Alvarado
**Vicerrectora de Investigación,
Innovación y Vinculación**

cc/np

Dr. Xavier Zapata
**Director del Proyecto
PIMI-17-04**