**Influencia de factores climáticos en la vegetación de cuencas alto-andinas**

Jheimy Pacheco1, Abel Solera2, Alex Avilés3,4

1 Grupo de Territorio y Geomática, Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador (IERSE), Universidad del Azuay, Av. 24 de mayo 7-77 y Hernán Malo, Cuenca 010204, Ecuador

2 Research Institute of Water and Environmental Engineering (IIAMA), Universitat Politècnica de València, 46022 Valencia, Spain

3Grupo de Evaluación de Riesgos Ambientales en Sistemas de Producción y Servicios (RISKEN), Departamento de Química Aplicada y Sistemas de Producción, Eco Campus Balzay, Universidad de Cuenca, Cuenca 010207, Ecuador

4Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Químicas, Eco Campus Balzay, Universidad de Cuenca, Cuenca 010207, Ecuador

**Resumen**

La vegetación constituye un componente de gran valor ecológico en nuestro planeta, procesos como la regulación de la humedad y temperatura, el ciclo del agua y otros procesos biogeoquímicos dan cuenta de la importancia de las relaciones que mantiene la vegetación con el ambiente que le rodea [(Piao et al., 2020)](https://www.zotero.org/google-docs/?gweX0L). Mediante procesos como la fotosíntesis, respiración y transpiración la vegetación puede modificar el sistema atmosférico de nuestro planeta y a su vez también verse afectada [(Peng, Shu Shi et al., 2014)](https://www.zotero.org/google-docs/?GbZMEZ).

La distribución y crecimiento de la vegetación pueden estar determinados por factores humanos, naturales o una combinación de los dos. Entre los factores naturales se encuentran las variables climáticas como la precipitación y la temperatura, que de registrarse niveles por debajo de sus mediciones normales, pueden influir en la humedad del suelo y por consiguiente en el suministro de agua para la planta, provocando condiciones de sequía en la vegetación. Es por esto, que monitorear la vegetación se ha convertido en una actividad de gran importancia para la comunidad científica.

Las imágenes satelitales constituyen una gran ventaja para la observación de grandes áreas de vegetación espacial y temporal en relación a métodos tradicionales de campo. Es así que en los últimos años, se han logrado grandes avances en el estudio de la vegetación mediante índices, siendo el más conocido el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), muy útil para analizar la actividad de la vegetación a escalas globales y regionales, pero que dificulta identificar condiciones de estrés debido a condiciones anómalas del clima como la sequía. Para afrontar este problema autores como Jiao [(2016)](https://www.zotero.org/google-docs/?LIIj9h) y Quiring y Ganesh [(2010)](https://www.zotero.org/google-docs/?IEzpkl) muestran que el VCI (Vegetation Condition Index) [(F. Kogan et al., 1998)](https://www.zotero.org/google-docs/?Nx0qWv) es más adecuado.

Aunque varios estudios analizan la compleja interacción que existe entre la vegetación y factores climáticos como aquellos ligados a la temperatura superficial del mar, tanto del Pacífico como del Atlántico [(Aralova et al., 2016; Casa et al., 2021; Vilanova et al., 2021)](https://www.zotero.org/google-docs/?xBvdHx), también es necesario acotar que la vegetación y las variables climáticas responden de diferente manera en distintas latitudes [(Zhan et al., 2022; Zhou et al., 2022)](https://www.zotero.org/google-docs/?Z7H56I). En este sentido, entre los tipos de vegetación más importantes que se registran en el Ecuador, se encuentra el páramo que constituye un ecosistema estratégico proveedor de agua dulce y caudal de base considerable y sostenido para los ríos que alimenta [(Buytaert et al., 2006)](https://www.zotero.org/google-docs/?irjT6p).

Este estudio presenta una análisis de las relaciones obtenidas entre índices climáticos relacionados con la temperatura del mar tanto del Pacífico como del Atlántico y la vegetación de páramo de dos cuencas alto-andinas para el período 2001 - 2019.

El área de estudio corresponde a dos subcuencas, Tomebamba y Machángara, pertenecientes al sistema hídrico de la Cuenca del Río Paute localizado al sur de los andes ecuatorianos. Las dos subcuencas están cubiertas en su parte alta, por páramo y humedales, existe también una gran cantidad de lagunas y en las tierras medias y bajas se encuentran mosaicos de bosques, tierras agropecuarias y asentamientos humanos. Una parte de la subcuenca del Tomebamba pertenece a la zona protegida del Parque Nacional Cajas [(Avilés et al., 2016; Ochoa-Tocachi et al., 2016)](https://www.zotero.org/google-docs/?pMCMfv).

Para evaluar la relación entre la vegetación de páramo e índices climáticos, se realizó correlación cruzada con retraso entre el índice VCI obtenido a partir de imágenes satelitales MODIS (([**https://modis.gsfc.nasa.gov**](https://modis.gsfc.nasa.gov/)) del producto EVI (Enhanced Vegetation Index) de forma mensual para el período 2001 - 2019. De acuerdo con Kogan [(1995)](https://www.zotero.org/google-docs/?0jyjNw) la vegetación presenta buenas condiciones si registra valores entre 40 y 100%, valores más bajos indica condiciones de estrés. Para los índices climáticos del Atlántico se evaluaron TNA (Tropical Northern Atlantic Index), TSA (Tropical Southern Atlantic Index), AMO (Atlantic Multidecadal Oscillation), y para el Pacífico, ONI (Ocean Niño Index) y TNI (Trans Niño Index) obtenidos de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) y disponibles en [**https://psl.noaa.gov/data/climateindexes/list**](https://psl.noaa.gov/data/climateindexes/list).

Las correlaciones más significativas se presentaron con la subcuenca del Tomebamba entre los índices TSA, TNA, AMO, ONI, todos en asociación con retraso temporal variando entre 6 y 18 meses. Los resultados sugieren que el VCI presenta retrasos respecto del índice climático con el que se correlaciona, tal como se presentan en otros estudios realizados en la zona [(Ávila & Ballari, 2019; Nieves et al., 2022)](https://www.zotero.org/google-docs/?onV4Zc). Aunque las correlaciones reportadas son significativas no corresponden a valores altos, por lo que incluir otros índices tanto climáticos como de vegetación podría mejorar los resultados de este estudio.

**Palabras clave:** VCI, índices climáticos, sequía, correlación con retardo.

**Bibliografía**

[Aralova, D., Toderich, K., Jarihani, B., Gafurov, D., & Gismatulina, L. (2016). Monitoring of vegetation condition using the NDVI/ENSO anomalies in Central Asia and their relationships with ONI (very strong) phases. *Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications VII*, *10005*, 1000512. https://doi.org/10.1117/12.2242164](https://www.zotero.org/google-docs/?q6ThA5)

[Ávila, R., & Ballari, D. (2019). A Bayesian Network Approach to Identity Climate Teleconnections within Homogeneous Precipitation Regions in Ecuador. *Conference on Information Technologies and Communication of Ecuador*, 21-35.](https://www.zotero.org/google-docs/?q6ThA5)

[Avilés, A., Célleri, R., Solera, A., & Paredes, J. (2016). Probabilistic Forecasting of Drought Events Using Markov Chain-and Bayesian Network-Based Models: A Case Study of an Andean Regulated River Basin. *Water*, *8*(37), 1-16.](https://www.zotero.org/google-docs/?q6ThA5)

[Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., & Hofstede, R. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, *79*(1-2), 53-72. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.06.002](https://www.zotero.org/google-docs/?q6ThA5)

[Casa, A. de la, Ovando, G., & Díaz, G. (2021). Linking data of ENSO, NDVI-MODIS and crops yield as a base of an early warning system for agriculture in Córdoba, Argentina. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, *22*(December 2020), 100480. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100480](https://www.zotero.org/google-docs/?q6ThA5)

[Jiao, W., Zhang, L., Chang, Q., Fu, D., Cen, Y., & Tong, Q. (2016). Evaluating an enhanced vegetation condition index (VCI) based on VIUPD for drought monitoring in the continental United States. *Remote Sensing*, *8*(3). https://doi.org/10.3390/rs8030224](https://www.zotero.org/google-docs/?q6ThA5)

[Kalisa, W., Igbawua, T., Henchiri, M., Ali, S., Zhang, S., Bai, Y., & Zhang, J. (2019). Assessment of climate impact on vegetation dynamics over East Africa from 1982 to 2015. *Scientific Reports*, *9*(1), 1-20. https://doi.org/10.1038/s41598-019-53150-0](https://www.zotero.org/google-docs/?q6ThA5)

[Kogan, F. N. (1995). Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*, *15*(11), 91-100. https://doi.org/10.1016/0273-1177(95)00079-T](https://www.zotero.org/google-docs/?q6ThA5)

[Kogan, F., Sullivan, J., & Seiler, R. A. (1998). AVHRR-based vegetation and temperature condition indices for drought detection in Argentina. *Advances in Space Research*, *21*(3), 481-484. https://doi.org/10.1016/S0273-1177(97)00884-3](https://www.zotero.org/google-docs/?q6ThA5)

[Nieves, A., Contreras, J., Pacheco, J., Urgilés, J., García, F., & Avilés, A. (2022). Assessment of drought time-frequency relationships with local atmospheric-land conditions and large-scale climatic factors in a tropical Andean basin. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, *26*(April). https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100760](https://www.zotero.org/google-docs/?q6ThA5)

[Ochoa-Tocachi, B. F., Buytaert, W., De Bievre, B., Célleri, R., Crespo, P., Villacís, M., Llerena, C. A., Acosta, L., Villazón, M., Guallpa, M., & others. (2016). Impacts of land use on the hydrological response of tropical Andean catchments. *Hydrological Processes*, *30*(22), 4074-4089.](https://www.zotero.org/google-docs/?q6ThA5)

[Peng, Shu Shi, Piao, Shilong, Zeng, Zhenzhong, Ciais, Philippe, Zhou, Liming, Li, Laurent Z.X., Myneni, Ranga B., Yin, Yi, & Zeng, Hui. (2014). Afforestation in China cools local land surface temperature. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *111*(8), 2915-2919. https://doi.org/10.1073/pnas.1315126111](https://www.zotero.org/google-docs/?q6ThA5)

[Piao, S., Wang, X., Park, T., Chen, C., Lian, X., He, Y., Bjerke, J. W., Chen, A., Ciais, P., Nemani, R. R., Myneni, R. B., Tømmervik, H., Nemani, R. R., & Myneni, R. B. (2020). Characteristics, drivers and feedbacks of global greening. *Nature Reviews Earth and Environment*, *1*(1), 14-27.](https://www.zotero.org/google-docs/?q6ThA5)

[Quiring, S. M., & Ganesh, S. (2010). Evaluating the utility of the Vegetation Condition Index (VCI) for monitoring meteorological drought in Texas. *Agricultural and Forest Meteorology*, *150*(3), 330-339. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.11.015](https://www.zotero.org/google-docs/?q6ThA5)

[Van Loon, A. F., Stahl, K., Di Baldassarre, G., Clark, J., Rangecroft, S., Wanders, N., Gleeson, T., Van Dijk, A. I. J. M., Tallaksen, L. M., Hannaford, J., Uijlenhoet, R., Teuling, A. J., Hannah, D. M., Sheffield, J., Svoboda, M., Verbeiren, B., Wagener, T., & Van Lanen, H. A. J. (2016). Drought in a human-modified world: Reframing drought definitions, understanding, and analysis approaches. *Hydrology and Earth System Sciences*, *20*(9), 3631-3650. https://doi.org/10.5194/hess-20-3631-2016](https://www.zotero.org/google-docs/?q6ThA5)

[Vilanova, R. S., Delgado, R. C., Frossard de Andrade, C., Lopes dos Santos, G., Magistrali, I. C., Moreira de Oliveira, C. M., Teodoro, P. E., Capristo Silva, G. F., Silva Junior, C. A. da, & de Ávila Rodrigues, R. (2021). Vegetation degradation in ENSO events: Drought assessment, soil use and vegetation evapotranspiration in the Western Brazilian Amazon. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, *23*(April). https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100531](https://www.zotero.org/google-docs/?q6ThA5)

[Zhan, C., Liang, C., Zhao, L., Jiang, S., Niu, K., & Zhang, Y. (2022). Drought-related cumulative and time-lag effects on vegetation dynamics across the Yellow River Basin, China. *Ecological Indicators*, *143*(August), 109409. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109409](https://www.zotero.org/google-docs/?q6ThA5)

[Zhou, Z., Liu, S., Ding, Y., Fu, Q., Wang, Y., Cai, H., & Shi, H. (2022). Assessing the responses of vegetation to meteorological drought and its influencing factors with partial wavelet coherence analysis. *Journal of Environmental Management*, *311*(January), 114879. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114879](https://www.zotero.org/google-docs/?q6ThA5)