**Descripción espacio – temporal del NDVI (MODIS) de los pajonales ecuatorianos y su vínculo con variables hidrometeorológicas e índices climáticos globales**

Villarreal-Veloz Jhon, Zapata-Ríos Xavier, Uvidia-Zambrano Karla, Borja-Escobar Carla

**RESUMEN**

La variación espacio temporal del nivel de verdor de los pajonales ecuatorianos fueron evaluados usando información del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) proveniente del producto Espectroradiómetro de Imágenes de Resolución Moderada (MODIS). La información recolectada en un periodo de 18 años (2001 – 2018) del NDVI se analizó en 10 zonas representativas de los Andes ecuatorianos y como el NDVI en estas zonas se ven influenciadas a variables hidrometeorológicas e índices climáticos. Se realizó el análisis estadístico (media, mediana, desviación estándar, anomalías z-score, Mann Kendall test y Sen’s Slope) además de un indicador de productividad TI-NDVI (Área bajo la curva de la serie temporal de NDVI). Además, la precipitación, temperatura del suelo y disponibilidad de agua son algunas de las variables reconocidas por su influencia en los índices espectrales de vegetación por lo que se correlacionaron con el NDVI. De la misma manera se analizó la relación del NDVI de los pajonales ecuatorianos con respecto a diversos índices climáticos globales (AAO, MEI, MJO, NAO, PDO, El Niño 1+2, 3, 3.4 y 4). Los resultados muestran que los pajonales presentan características similares a lo largo de todas las zonas y de éstas los pajonales del callejón interandino por sobre la latitud 2°S son los más productivos seguidos por los ubicados en la cordillera real. Además, el pico de productividad de los pajonales converge con el pico de máxima precipitación. Por otra parte, la zona 8 (callejón interandino sur) responde a la humedad de la Amazonía que se ve influenciada por la temperatura del océano Atlántico presentando su pico de productividad en los meses JJA. Los pajonales ecuatorianos muestran correlaciones débiles y moderadas tanto con la precipitación (positivas) como con la temperatura del suelo (negativas) al ser examinadas individualmente. Sin embargo, el NDVI presenta correlaciones moderadas y fuertes con la precipitación y temperatura del suelo cuando son evaluadas en conjunto. Por otra parte, el NDVI promedio muestra fuertes relaciones lineales con la disponibilidad de agua representado por los caudales que drenan la cordillera occidental. Es decir, a mayor precipitación o disponibilidad de agua se tendrá un mayor nivel de verdor en los pajonales. Sin embargo, a mayor temperatura del suelo el nivel de verdor será menor. Se tiene un incremento de las anomalías en dirección nororiental partiendo de anomalías negativas en la cordillera Occidental. Se observa que en la cordillera occidental se tiene anomalías negativas mostrando la falta de influencia Amazónica por el bloqueo topográfico que la cordillera misma representa. Toda el área de estudio presenta tendencias positivas de tal forma se espera que el nivel de verdor de los pajonales aumente en los años por venir. Las mayores tendencias positivas se encuentran en la cordillera real por lo que se ve una influencia de la humedad proveniente de la vertiente Amazónica y las menores tendencias positivas se encuentran en los pajonales del callejón interandino siendo una posible respuesta a la fertilización global de CO2. El NDVI mostró tendencias lineales muy débiles y débiles con los diferentes índices de teleconexión. De estos el NAO mostró las relaciones más altas en todas las zonas de estudio seguido del PDO. Sin embargo, MEI, El Niño 1+2, 3, 3.4 y 4 mostraron relaciones lineales muy débiles con el NDVI de los pajonales. Por lo tanto, no se observa una influencia directa de la temperatura sobre el océano Pacífico sobre los pajonales de los Andes ecuatorianos. Sin embargo, el análisis de anomalías espacio – temporales mostró que a nivel general los pajonales si muestran una ligera respuesta a eventos de El Niño y La Niña.

Keywords: NDVI, precipitación, temperatura superficial del suelo, índices climáticos globales, pajonal ecuatoriano

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alcaraz-Segura, D., Baldi, G., Durante, P., & Garbulsky, M. F. (2008). Análisis de la dinámica temporal del NDVI en áreas protegidas: Tres casos de estudio a distintas escalas espaciales, temporales y de gestión. *Ecosistemas*, *17*(3).

Álvarez-Dávila, E. A., Cayuela, L., González-Caro, S., Aldana, A. M., Stevenson, P. R., Phillips, O., Lvaro Cogollo, A. ´, Peñuela, M. C., von Hildebrand, P., Jimpenez 10, E., Melo, O., Londoño-Vega, A. C., Mendoza, I., Velásquez, O., Fernández 11, F., Serna, M., Velázquez-Rua, C., Benítez, D., & Rey-Benayas, J. M. (2017). *Forest biomass density across large climate gradients in northern South America is related to water availability but not with temperature*. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171072

Appenzeller, T. (2019). Fire on the mountain. *Science*, *365*(6458). https://doi.org/10.1126/science.365.6458.1094

Arboit, M. E., & Maglione, D. S. (2020). Categorización de las manzanas urbanas para la integración de la silvicultura urbana en la planificación de las ciudades. Caso de estudio: Área Metropolitana de Mendoza, Argentina. *III Congreso Internacional ISUF-H. CIUDAD COMPACTA VS. CIUDAD DIFUSA*, *20-05–2020*, 297–305. https://doi.org/10.4995/ISUFH2019.2019.9938

Arias, P. A., Garreaud, R., Poveda, G., Espinoza, J. C., Molina-Carpio, J., Masiokas, M., Viale, M., Scaff, L., & van Oevelen, P. J. (2021). Hydroclimate of the Andes Part II: Hydroclimate Variability and Sub-Continental Patterns. *Frontiers in Earth Science*, *8*, 666. https://doi.org/10.3389/FEART.2020.505467/BIBTEX

Bendix, J. (2000). Precipitation dynamics in Ecuador and northern Peru during the 1991/92 El Nino: A remote sensing perspective. *International Journal of Remote Sensing*, *21*(3), 533–548. https://doi.org/10.1080/014311600210731

Bendix, J., Trachte, K., Palacios, E., Rollenbeck, R., Göttlicher, D., Nauss, T., & Bendix, A. (2011). El Niño meets La Niña-anomalous rainfall patterns in the “traditional” El Niño region of Southern Ecuador. *Erdkunde*, *65*(2). https://doi.org/10.3112/erdkunde.2011.02.04

Benesty, J., Chen, J., Huang, Y., & Cohen, I. (2009). Noise Reduction in Speech Processing. En *Noise reduction in speech …* (Vol. 2).

Buchhorn, M., Raynolds, M. K., Walker, D. A., Herrera Estrella, E., Stoeth, A., Krakauer, N. Y., & Devineni, N. (2021). Quantifying vegetation response to environmental changes on the Galapagos Islands, Ecuador using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). *Environmental Research Communications*, *3*(6), 065003. https://doi.org/10.1088/2515-7620/AC0BD1

Burgheimer, J., Wilske, B., Maseyk, K., Karnieli, A., Zaady, E., Yakir, D., & Kesselmeier, J. (2006). Relationships between Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and carbon fluxes of biologic soil crusts assessed by ground measurements. *Journal of Arid Environments*, *64*(4). https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.06.025

Buytaert, W., & Bievre, B. de. (2012). Water for cities: The impact of climate change and demographic growth in the tropical Andes. *Water Resources Research*, *48*(8). https://doi.org/10.1029/2011WR011755

Buytaert, W., Iñiguez, V., Celleri, R., de Bièvre, B., Wyseure, G., & Deckers, J. (2006). Analysis of the Water Balance of Small Páramo Catchments in South Ecuador. *Environmental Role of Wetlands in Headwaters*, *63*(24), 271–281. https://doi.org/10.1007/1-4020-4228-0\_24

Buytaert, W., Wyseure, G., de Bièvre, B., & Deckers, J. (2005). The effect of land-use changes on the hydrological behaviour of Histic Andosols in south Ecuador. *Hydrological Processes*, *19*(20). https://doi.org/10.1002/hyp.5867

Cáceres, B., Francou, B., Favier, V., Bontron, G., Maisincho, L., Tachker, P., Bucher, R., Taupin, J. D., Delachaux, F., & Chazarin, J. P. (2007). EI glaciar 15 del Antisana. Diez años de investigaciones glaciológicas. *Memorias de la primera conferencia internacional de cambio climático: impacto en los sistemas de alta montaña*, *1*, 63–74.

Cárdenas, G. (2022). *Teleconexión El Niño-oscilación del Sur/oscilación del Atlántico Norte y su relación con la precipitación en Colombia*. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

Chamorro Sevilla, H. E., & Erazo, A. (2019). Estudio multiespectral del cultivo de tuna para determinar los índices NDVI, CWSI y SAVI, a partir de imágenes SENTINEL 2A, en el cantón Guano, provincia de Chimborazo, Ecuador. *Enfoque UTE*, *10*(3), 55–66. https://doi.org/10.29019/ENFOQUE.V10N3.453

Chen, M., Parton, W. J., Hartman, M. D., del Grosso, S. J., Smith, W. K., Knapp, A. K., Lutz, S., Derner, J. D., Tucker, C. J., Ojima, D. S., Volesky, J. D., Stephenson, M. B., Schacht, W. H., & Gao, W. (2019). Assessing precipitation, evapotranspiration, and NDVI as controls of U.S. Great Plains plant production. *Ecosphere*, *10*(10). https://doi.org/10.1002/ecs2.2889

Cleland, E. E., Chiariello, N. R., Loarie, S. R., Mooney, H. A., & Field, C. B. (2006). Diverse responses of phenology to global changes in a grassland ecosystem. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *103*(37). https://doi.org/10.1073/pnas.0600815103

Crespo, P. J., Feyen, J., Buytaert, W., Bücker, A., Breuer, L., Frede, H. G., & Ramírez, M. (2011). Identifying controls of the rainfall–runoff response of small catchments in the tropical Andes (Ecuador). *Journal of Hydrology*, *407*(1–4), 164–174. https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2011.07.021

Dayeh, M. A., Desai, M. I., Dwyer, J. R., Rassoul, H. K., Mason, G. M., & Mazur, J. E. (2009). Composition and spectral properties of the 1 au quiet-time suprathermal ion population during solar cycle 23. *Astrophysical Journal*, *693*(2). https://doi.org/10.1088/0004-637X/693/2/1588

de Beurs, K., & Henebry, G. (2010). Spatio-temporal statistical methods for modelling land surface phenology. En *Phenological Research: Methods for Environmental and Climate Change Analysis* (pp. 177–208). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3335-2\_9

de Beurs, K., Wright, C., & Henebry, G. (2009). Dual scale trend analysis for evaluating climatic and anthropogenic effects on the vegetated land surface in Russia and Kazakhstan. *Environmental Research Letters*, *4*(4), 040512. https://doi.org/10.1088/1748-9326/4/4/045012

Delire, C., de Noblet-Ducoudré, N., Sima, A., & Gouirand, I. (2011). Vegetation dynamics enhancing long-term climate variability confirmed by two models. *Journal of Climate*, *24*(9). https://doi.org/10.1175/2010JCLI3664.1

Dettinger, M. D., Battisti, D. S., Garreaud, R. D., McCabe, G. J., & Bitz, C. M. (2001). Interhemispheric Effects of Interannual and Decadal ENSO-Like Climate Variations on the Americas. *Interhemispheric Climate Linkages*, 1–16. https://doi.org/10.1016/B978-012472670-3/50004-5

Domínguez-Castro, F., García-Herrera, R., & Vicente-Serrano, S. M. (2018). Wet and dry extremes in Quito (Ecuador) since the 17th century. *International Journal of Climatology*, *38*(4). https://doi.org/10.1002/joc.5312

Duan, S. B., Li, Z. L., Li, H., Göttsche, F. M., Wu, H., Zhao, W., Leng, P., Zhang, X., & Coll, C. (2019). Validation of Collection 6 MODIS land surface temperature product using in situ measurements. *Remote Sensing of Environment*, *225*. https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.020

Eklundh, L., & Jönsson, P. (2017). TIMESAT 3.3 with seasonal trend decomposition and parallel processing Software Manual. En *Lund and Malmo University, Sweden*. http://www.nateko.lu.se/TIMESAT/

Emck, P. (2007). A Climatology of South Ecuador - With special focus on the Major Andean Ridge as Atlantic-Pacific Climate Divide. En *Universität  Erlangen* (Vol. 1).

Estrella, E. H., Stoeth, A., Krakauer, N. Y., & Devineni, N. (2021). Quantifying vegetation response to environmental changes on the Galapagos Islands, Ecuador using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). *Environmental Research Communications*, *3*(6). https://doi.org/10.1088/2515-7620/AC0BD1

Farley, J., Aquino, A., Daniels, A., Moulaert, A., Lee, D., & Krause, A. (2010). Global mechanisms for sustaining and enhancing PES schemes. *Ecological Economics*, *69*(11). https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.02.016

Francou, B., Vuille, M., Favier, V., & Cáceres, B. (2004). New evidence for an ENSO impact on low-latitude glaciers: Antizana 15, Andes of Ecuador, 0°28’S. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, *109*(18). https://doi.org/10.1029/2003JD004484

Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., & Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations - A new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, *2*. https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66

Gamon, J. A., Field, C. B., Goulden, M. L., Griffin, K. L., Hartley, A. E., Joel, G., Penuelas, J., & Valentini, R. (1995). Relationships between NDVI, canopy structure, and photosynthesis in three Californian vegetation types. *Ecological Applications*, *5*(1). https://doi.org/10.2307/1942049

Garreaud, R. D., Vuille, M., Compagnucci, R., & Marengo, J. (2009). Present-day South American climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, *281*(3–4). https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.10.032

Girardin, C. A. J., Espejob, J. E. S., Doughty, C. E., Huasco, W. H., Metcalfe, D. B., Durand-Baca, L., Marthews, T. R., Aragao, L. E. O. C., Farfán-Rios, W., García-Cabrera, K., Halladay, K., Fisher, J. B., Galiano-Cabrera, D. F., Huaraca-Quispe, L. P., Alzamora-Taype, I., Eguiluz-Mora, L., -Revilla, N. S., Silman, M. R., Meir, P., & Malhi, Y. (2014). Productivity and carbon allocation in a tropical montane cloud forest in the Peruvian Andes. *Plant Ecology and Diversity*, *7*(1–2). https://doi.org/10.1080/17550874.2013.820222

Grau, R., & Aide, M. (2008). Globalization and land-use transitions in Latin America. En *Ecology and Society* (Vol. 13, Número 2). https://doi.org/10.5751/ES-02559-130216

Gu, Y., Brown, J. F., Verdin, J. P., & Wardlow, B. (2007). A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central Great Plains of the United States. *Geophysical Research Letters*, *34*(6). https://doi.org/10.1029/2006GL029127

Haigh, J., & Conover, W. J. (1981). Practical Nonparametric Statistics. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, *144*(3). https://doi.org/10.2307/2981807

Hamel, P., Riveros-Iregui, D., Ballari, D., Browning, T., Célleri, R., Chandler, D., Chun, K. P., Destouni, G., Jacobs, S., Jasechko, S., Johnson, M., Krishnaswamy, J., Poca, M., Pompeu, P. V., & Rocha, H. (2018). Watershed services in the humid tropics: Opportunities from recent advances in ecohydrology. *Ecohydrology*, *11*(3). https://doi.org/10.1002/eco.1921

Harden, C. P. (2006). Human impacts on headwater fluvial systems in the northern and central Andes. *Geomorphology*, *79*(3–4). https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.021

Harling, G. (1979). The vegetation types of Ecuador: a brief survey. En K. Larsen & L. B. Holm-Nielsen (Eds.), *Tropical Botany* (pp. 165–174). Academic Press.

Haverd, V., Smith, B., Canadell, J. G., Cuntz, M., Mikaloff-Fletcher, S., Farquhar, G., Woodgate, W., Briggs, P. R., & Trudinger, C. M. (2020). Higher than expected CO2 fertilization inferred from leaf to global observations. *Global Change Biology*, *26*(4). https://doi.org/10.1111/gcb.14950

Hill, M. J., & Donald, G. E. (2003). Estimating spatio-temporal patterns of agricultural productivity in fragmented landscapes using AVHRR NDVI time series. *Remote Sensing of Environment*, *84*(3). https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00128-1

Hofstede, R. (2008). Los Servicios Del Ecosistema Páramo: Una visión desde la evaluación de ecosistemas del milenio. *Páramo y servicios ambientales*.

Hofstede, R., Lips, J., & Jongsma, W. (1998). Geografía,Ecología y Forestación de la Sierra Alta del Ecuador. En *CESA - Intercooperation Suiza* (Vol. 6, Número 7).

Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, *83*(1–2), 195–213. https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2

Ilbay-Yupa, M., Lavado-Casimiro, W., Rau, P., Zubieta, R., & Castillón, F. (2021). Updating regionalization of precipitation in Ecuador. *Theoretical and Applied Climatology*, *143*(3–4), 1513–1528. https://doi.org/10.1007/S00704-020-03476-X

INEC. (2018). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. *Inec*.

IPCC. (2007). Climate Change 2007: impacts, adaptation and vulnerability: contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel. En *Cambridge University Press*.

Jiang, X., Was, L., Du, Q., Hu, & B.X. (2008). Estimation of NDVI Images Using Geostatistical Methods. *Earth Science Frontiers*, *15*(4), 71–80. https://doi.org/10.1016/s1872-5791(08)60040-8

Jomelli, V., Cooley, D., Naveau, P., & Rabatel, A. (2003). The Little Ice Age in the tropical Andes. *American Geophysical Union*. https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2003AGUFMPP51A..07J/abstract

Junquas, C., Heredia, M. B., Condom, T., Ruiz-Hernández, J. C., Campozano, L., Dudhia, J., Espinoza, J. C., Menegoz, M., Rabatel, A., & Sicart, J. E. (2022). Regional climate modeling of the diurnal cycle of precipitation and associated atmospheric circulation patterns over an Andean glacier region (Antisana, Ecuador). *Climate Dynamics*, *58*(11–12), 3075–3104. https://doi.org/10.1007/S00382-021-06079-Y/METRICS

Justice, C., Townshend, J., Holben, A., & Tucker, C. (1985). Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, *6*(8), 1271–1318. https://doi.org/10.1080/01431168508948281

Justice, C., Vermote, E., Townshend, J., Defries, R., Roy, D., Hall, D., Salomonson, V., Privette, J., Riggs, G., Strahler, A., Lucht, W., Myneni, R., Knyazikhin, Y., Running, S., Nemani, R., Wan, Z., Huete, A., van Leeuwen, W., Wolfe, R., … Barnsley, M. (1998). The moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS): Land remote sensing for global change research. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, *36*(4), 1228–1249. https://doi.org/10.1109/36.701075

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). https://doi.org/10.1038/s41598-019-53150-0

Kaser, G. (2001). Glacier-climate interaction at low latitudes. *Journal of Glaciology*, *47*(157). https://doi.org/10.3189/172756501781832296

Krakauer, N. Y., Pradhanang, S. M., Lakhankar, T., & Jha, A. K. (2013). Evaluating satellite products for precipitation estimation in mountain regions: A case study for Nepal. *Remote Sensing*, *5*(8). https://doi.org/10.3390/rs5084107

Kunkel, M. L., Flores, A. N., Smith, T. J., McNamara, J. P., & Benner, S. G. (2011). A simplified approach for estimating soil carbon and nitrogen stocks in semi-arid complex terrain. *Geoderma*, *165*(1). https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.06.011

Lagos, P., Silva, Y., Nickl, E., & Mosuera, K. (2008). El Niño related precipitation variability in Perú. *Advances in Geosciences*, *14*, 231–237.

Laraque, A., Ronchail, J., Cochonneau, G., Pombosa, R., & Guyot, J. L. (2007). Heterogeneous distribution of rainfall and discharge regimes in the Ecuadorian Amazon basin. *Journal of Hydrometeorology*, *8*(6), 1364–1381. https://doi.org/10.1175/2007JHM784.1

Lauer, W. (1981). Ecoclimatological Conditions of the Paramo Belt in the Tropical High Mountains. *International Mountain Society Stable*, *1*(3), 209–221.

Lavad-Casimiro, W. S., Labat, D., Ronchail, J., Espinoza, J. C., & Guyot, J. L. (2013). Trends in rainfall and temperature in the Peruvian Amazon–Andes basin over the last 40 years (1965–2007). *Hydrological Processes*, *27*(20), 2944–2957. https://doi.org/10.1002/HYP.9418

Li, H., Liu, L., Liu, X., Li, X., & Xu, Z. (2019). Greening implication inferred from vegetation dynamics interacted with climate change and human activities over the southeast Qinghai-Tibet Plateau. *Remote Sensing*, *11*(20). https://doi.org/10.3390/rs11202421

Li, Z., Huffman, T., McConkey, B., & Townley-Smith, L. (2013). Monitoring and modeling spatial and temporal patterns of grassland dynamics using time-series MODIS NDVI with climate and stocking data. *Remote Sensing of Environment*, *138*. https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.07.020

Li, Z., Li, X., Wei, D., Xu, X., & Wang, H. (2010). An assessment of correlation on MODIS-NDVI and EVI with natural vegetation coverage in Northern Hebei Province, China. *Procedia Environmental Sciences*, *2*. https://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.108

Llerena, S. A., & Kurbatova, A. I. (2021). ASSESSMENT OF THE SEASONAL DYNAMICS OF THE NORMALIZED DIFFERENTIAL VEGETATION INDEX (NDVI) AND ITS CORRELATION WITH CLIMATE PREDICTORS IN WETLANDS “LA TEMBLADERA” (ECUADOR). *Ekosistemy*, *26*. https://doi.org/10.37279/2414-4738-2021-26-5-11

Madden, R. A., & Julian, P. R. (1994). Observations of the 40-50-day tropical oscillation - a review. *Monthly Weather Review*, *122*(5). https://doi.org/10.1175/1520-0493(1994)122<0814:OOTDTO>2.0.CO;2

Madriñán, S., Cortés, A. J., & Richardson, J. E. (2013). Páramo is the world’s fastest evolving and coolest biodiversity hotspot. *Frontiers in Genetics*, *4*(OCT). https://doi.org/10.3389/fgene.2013.00192

MAE. (2013). *SIstema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental*.

Manan, P., Shital, S., & M.H, K. (2019). Impact of Climate Change and Drought Analysis on Agriculture In Sabarkantha Districtusing Geoinformatics Technology. *Global Journal Of Engineering Science And Researches*, *6*(5), 133–144.

Mazzarino, M., & Finn, J. T. (2016). An NDVI analysis of vegetation trends in an Andean watershed. *Wetlands Ecology and Management*, *24*(6). https://doi.org/10.1007/s11273-016-9492-0

Mena, P., & Hofstede, R. (2006). The ecuadorian páramos. *Botánica económica de los Andes Centrales*.

Mewaldt, R. A., Looper, M. D., Cohen, C. M. S., Haggerty, D. K., Labrador, A. W., Leske, R. A., Mason, G. M., Mazur, J. E., & von Rosenvinge, T. T. (2012). Energy spectra, composition, and other properties of ground-level events during solar cycle 23. *Space Science Reviews*, *171*(1–4). https://doi.org/10.1007/s11214-012-9884-2

Minaya, V., Corzo, G., Romero-Saltos, H., van der Kwast, J., Lantinga, E., Galárraga-Sánchez, R., & Mynett, A. (2016). Altitudinal analysis of carbon stocks in the Antisana páramo, Ecuadorian Andes. *Journal of Plant Ecology*, *9*(5). https://doi.org/10.1093/jpe/rtv073

Morales, J. A., & Estévez, J. V. (2006). El Páramo: ¿Ecosistema En Vía De Extinción? *Revista Luna Azul*, *22*(3), 39–51. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321727224004

Morán-Tejeda, E., Bazo, J., López-Moreno, J. I., Aguilar, E., Azorín-Molina, C., Sanchez-Lorenzo, A., Martínez, R., Nieto, J. J., Mejía, R., Martín-Hernández, N., & Vicente-Serrano, S. M. (2016). Climate trends and variability in Ecuador (1966–2011). *International Journal of Climatology*, *36*(11), 3839–3855. https://doi.org/10.1002/JOC.4597

Moreira, A., Bremm, C., Fontana, D. C., & Kuplich, T. M. (2019). Seasonal dynamics of vegetation indices as a criterion for grouping grassland typologies. *Scientia Agricola*, *76*(1). https://doi.org/10.1590/1678-992x-2017-0173

Myers, N., Mittermeler, R. A., Mittermeler, C. G., da Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, *403*(6772), 853–858. https://doi.org/10.1038/35002501

Myneni, R. B., Hall, F. G., Sellers, P. J., & Marshak, A. L. (1995). Interpretation of spectral vegetation indexes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, *33*(2). https://doi.org/10.1109/36.377948

Myneni, R. B., Keeling, C. D., Tucker, C. J., Asrar, G., & Nemani, R. R. (1997). Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. *Nature*, *386*(6626). https://doi.org/10.1038/386698a0

Navarro-Serrano, F., López-Moreno, J. I., Domínguez-Castro, F., Alonso-González, E., Azorin-Molina, C., El-Kenawy, A., & Vicente-Serrano, S. M. (2020). Maximum and minimum air temperature lapse rates in the Andean region of Ecuador and Peru. *International Journal of Climatology*, *40*(14), 6150–6168. https://doi.org/10.1002/JOC.6574

Paruelo, J. M., Epstein, H. E., Lauenroth, W. K., & Burke, I. C. (1997). ANPP estimates from NDVI for the central grassland region of the United States. *Ecology*, *78*(3). https://doi.org/10.1890/0012-9658(1997)078[0953:AEFNFT]2.0.CO;2

Peter Moller, J., & León-Yánez, S. (1999). Catalogue of the Vascular Plants of Ecuador. *Missouri Botanical Garden*, *75*.

Ponette-González, A. G., Marín-Spiotta, E., Brauman, K. A., Farley, K. A., Weathers, K. C., & Young, K. R. (2014). Hydrologic connectivity in the high-elevation tropics: Heterogeneous responses to land change. En *BioScience* (Vol. 64, Número 2). https://doi.org/10.1093/biosci/bit013

Pourrut, P., Acosta, J., Winckell, A., & Rodriguez, J. (1983). Los climas del Ecuador. En *Centro Ecuatoriano de Investigaciones Geográficas*.

Pourrut, P., & Pouyaud, B. (1995). El agua en el Ecuador: Clima, precipitaciones, escorrentía. En *Estudios de Geografía*.

Poveda, G., Álvarez, D. M., & Rueda, Ó. A. (2010). Hydro-climatic variability over the Andes of Colombia associated with ENSO: a review of climatic processes and their impact on one of the Earth’s most important biodiversity hotspots. *Climate Dynamics 2010 36:11*, *36*(11), 2233–2249. https://doi.org/10.1007/S00382-010-0931-Y

Poveda, G., Gil, M. M., & Quiceno, N. (1998). El ciclo anual de la hidrología de Colombia en relación con el ENSO y la NAO. *Bulletin Institute Francaise d`Etudes Andines*, *27*(3).

Poveda, G., Mesa, O. J., Agudelo, P. A., Álvarez, J. F., Arias, P. A., Moreno, H. A., Salazar, L. F., Toro, V. G., & Vieira, S. C. (2002). Influencia del ENSO, Oscilación Madden-Julian, Ondas del Este, Huracanes y Fases de la Luna en el Ciclo Diurno de la Precipitación en los Andes Tropicales de Colombia. *Meteorología Colombiana*, *5*.

Poveda, G., Mesa, O. J., Salazar, L. F., Arias, P. A., Moreno, H. A., Vieira, S. C., Agudelo, P. A., Toro, V. G., & Alvarez, J. F. (2005). The diurnal cycle of precipitation in the tropical Andes of Colombia. *Monthly Weather Review*, *133*(1), 228–240. https://doi.org/10.1175/MWR-2853.1

Poveda, G., Waylen, P. R., & Pulwarty, R. S. (2006). Annual and inter-annual variability of the present climate in northern South America and southern Mesoamerica. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, *234*(1), 3–27. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.10.031

Ramsay. (1992). The paramo vegetation of Ecuador: the community ecology, dynamics and productivity of Tropical grasslands in the Andes. En *School of Biological Sciences*.

Ramsay, P. M., & Oxley, E. R. B. (2001). An Assessment of Aboveground Net Primary Productivity in Andean Grasslands of Central Ecuador. *Source: Mountain Research and Development*, *21*(2), 161–167. https://doi.org/10.1659/0276-4741(2001)021[0161:AAOANP]2.0.CO;2

Rapp, J. M., Silman, M. R., Clark, J. S., Girardin, C. A. J., Galiano, D., Tito, R., & Doak, D. F. (2012). Intra- and interspecific tree growth across a long altitudinal gradient in the Peruvian Andes. *Ecology*, *93*(9). https://doi.org/10.1890/11-1725.1

Recalde-Coronel, G. C., Zaitchik, B., & Pan, W. K. (2020). Madden–Julian oscillation influence on sub-seasonal rainfall variability on the west of South America. *Climate Dynamics 2020 54:3*, *54*(3), 2167–2185. https://doi.org/10.1007/S00382-019-05107-2

Reich, P. B., Luo, Y., Bradford, J. B., Poorter, H., Perry, C. H., & Oleksyn, J. (2014). Temperature drives global patterns in forest biomass distribution in leaves, stems, and roots. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *111*(38), 13721–13726. https://doi.org/10.1073/PNAS.1216053111/-/DCSUPPLEMENTAL/PNAS.1216053111.ST08.DOCX

Rodríguez-Erazo, N., Pabón-Caicedo, J. D., Bernal-Suárez, N. R., & Martínez-Collanes, J. (2010). *Cambio climático y su relación con el uso del suelo en los Andes Colombianos* (1a ed., Vol. 1). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt.

Roerink, G. J., Menenti, M., Soepboer, W., & Su, Z. (2003). Assessment of climate impact on vegetation dynamics by using remote sensing. *Physics and Chemistry of the Earth*, *28*(1–3). https://doi.org/10.1016/S1474-7065(03)00011-1

Rollenbeck, R., & Bendix, J. (2011). Rainfall distribution in the Andes of southern Ecuador derived from blending weather radar data and meteorological field observations. *Atmospheric Research*, *99*(2), 277–289. https://doi.org/10.1016/J.ATMOSRES.2010.10.018

Schafer, R. W. (2011). What is a savitzky-golay filter? *IEEE Signal Processing Magazine*, *28*(4), 111–117. https://doi.org/10.1109/MSP.2011.941097

Schwartz, M. D., Ahas, R., & Aasa, A. (2006). Onset of spring starting earlier across the Northern Hemisphere. *Global Change Biology*, *12*(2). https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01097.x

Schweiger, A. K., Cavender-Bares, J., Townsend, P. A., Hobbie, S. E., Madritch, M. D., Wang, R., Tilman, D., & Gamon, J. A. (2018). Plant spectral diversity integrates functional and phylogenetic components of biodiversity and predicts ecosystem function. *Nature Ecology and Evolution*, *2*(6). https://doi.org/10.1038/s41559-018-0551-1

Sen, P. K. (1968). Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall’s Tau. *Journal of the American Statistical Association*, *63*(324). https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934

Sierra, Palacios, W., Cerón, C., & Valencia, R. (1999). Las formaciones naturales de la Amazonía del Ecuador. *Proyecto INEFAN/GEF-BIRF Y EcoCiecia*, 111--119.

Spracklen, D. v., & Righelato, R. (2014). Tropical montane forests are a larger than expected global carbon store. *Biogeosciences*, *11*(10). https://doi.org/10.5194/bg-11-2741-2014

Standmuller, T. (1986). *Cloud Forests in the Humid Tropics: A Bibliographic Review*. United Nations University Press.

Stenseth, N. C., Ottersen, G., Hurrell, J. W., Mysterud, A., Lima, M., Chan, K. S., Yoccoz, N. G., & Ådlandsvik, B. (2003). Studying climate effects on ecology through the use of climate indices: The North Atlantic Oscillation, El Niño Southern Oscillation and beyond. En *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* (Vol. 270, Número 1529, pp. 2087–2096). https://doi.org/10.1098/rspb.2003.2415

Sulca-Jota, J. C., Vuille, M., Roundy, P., Takahashi, K., Espinoza, J. C., Silva Vidal, Y., & Zubieta Barragán, R. (2018). Impactos de la concurrencia de la Oscilación Madden-Julian (MJO) y de El Niño-Oscilación Sur (ENOS) en las temperaturas mínimas de verano en los Andes centrales del Perú. En *Boletín técnico: Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño* (Vol. 5, Número 11). Instituto Geofísico del Perú.

Thompson, L. G. (2000). Ice core evidence for climate change in the Tropics: Implications for our future. *Quaternary Science Reviews*, *19*(1–5). https://doi.org/10.1016/S0277-3791(99)00052-9

Tiedemann, J., Zerda, H., Grilli, M., & Ravelo, A. (2010). Distribución espacial de anomalías del NDVI derivado del sensor VEGETATION SPOT 4/5 y su relación con las coberturas vegetales, usos de la tierra y características geomorfológicas en la provincia de Santiago del Estero, Argentina. *Revista Ambiência*, *6*(3). https://doi.org/10.5777/1808-02512010000300001

Tucker, C. J., Pinzon, J. E., Brown, M. E., Slayback, D. A., Pak, E. W., Mahoney, R., Vermote, E. F., & el Saleous, N. (2005). An extended AVHRR 8-km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data. *International Journal of Remote Sensing*, *26*(20), 4485–4498. https://doi.org/10.1080/01431160500168686

Tucker, C. J., & Sellers, P. J. (1986). Satellite remote sensing of primary production. *International Journal of Remote Sensing*, *7*(11). https://doi.org/10.1080/01431168608948944

Vaca-Jiménez, S., Gerbens-Leenes, P. W., & Nonhebel, S. (2019). Water-electricity nexus in Ecuador: The dynamics of the electricity’s blue water footprint. *Science of the Total Environment*, *696*. https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.133959

Vallejo, M. C., & Sacher, W. (2017). Encyclopedia of Mineral and Energy Policy. *Encyclopedia of Mineral and Energy Policy*, *October*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-40871-7

van Leeuwen, W. J. D., Hartfield, K., Miranda, M., & Meza, F. J. (2013). Trends and ENSO/AAO Driven Variability in NDVI Derived Productivity and Phenology alongside the Andes Mountains. *Remote Sensing*, *5*(3). https://doi.org/10.3390/rs5031177

Veettil, B. K., Pereira, S. F. R., Wang, S., Valente, P. T., Grondona, A. E. B., Rondón, A. C. B., Rekowsky, I. C., de Souza, S. F., Bianchini, N., Bremer, U. F., & Simões, J. C. (2016). Un análisis comparativo del comportamiento diferencial de los glaciares en los Andes Tropicales usando teledetección. *Investigaciones Geográficas*, *51*, ág. 3-36. https://doi.org/10.5354/0719-5370.2016.41215

Vega-Jácome, F. (2019). Respuesta de la vegetación a diferentes escalas temporales de sequía en los Andes peruanos. *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú*.

Vicente-Serrano, S. M., Aguilar, E., Martínez, R., Martín-Hernández, N., Azorin-Molina, C., Sanchez-Lorenzo, A., el Kenawy, A., Tomás-Burguera, M., Moran-Tejeda, E., López-Moreno, J. I., Revuelto, J., Beguería, S., Nieto, J. J., Drumond, A., Gimeno, L., & Nieto, R. (2016). The complex influence of ENSO on droughts in Ecuador. *Climate Dynamics 2016 48:1*, *48*(1), 405–427. https://doi.org/10.1007/S00382-016-3082-Y

Viña, A., & Henebry, G. M. (2005). Spatio-temporal change analysis to identify anomalous variation in the vegetated land surface: ENSO effects in tropical South America. *Geophysical Research Letters*, *32*(21). https://doi.org/10.1029/2005GL023407

Viviroli, D., Archer, D. R., Buytaert, W., Fowler, H. J., Greenwood, G. B., Hamlet, A. F., Huang, Y., Koboltschnig, G., Litaor, M. I., López-Moreno, J. I., Lorentz, S., Schädler, B., Schreier, H., Schwaiger, K., Vuille, M., & Woods, R. (2011). Climate change and mountain water resources: Overview and recommendations for research, management and policy. *Hydrology and Earth System Sciences*, *15*(2). https://doi.org/10.5194/hess-15-471-2011

Vuille, M., Bradley, R. S., & Keimig, F. (2000a). Climate variability in the Andes of Ecuador and its relation to tropical Pacific and Atlantic Sea Surface temperature anomalies. *Journal of Climate*, *13*(14), 2520–2535. https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<2520:CVITAO>2.0.CO;2

Vuille, M., Bradley, R. S., & Keimig, F. (2000b). Climate variability in the Andes of Ecuador and its relation to tropical Pacific and Atlantic Sea Surface temperature anomalies. *Journal of Climate*, *13*(14), 2520–2535. https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<2520:CVITAO>2.0.CO;2

Walther, G. R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J. C., Fromentin, J. M., Hoegh-Guldberg, O., & Bairlein, F. (2002). Ecological responses to recent climate change. En *Nature* (Vol. 416, Número 6879). https://doi.org/10.1038/416389a

Wan, Z. (1996). A generalized split-window algorithm for retrieving land-surface temperature from space. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, *34*(4), 892–905. https://doi.org/10.1109/36.508406

Wang, J., Rich, P. M., & Price, K. P. (2003). Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA. *International Journal of Remote Sensing*, *24*(11). https://doi.org/10.1080/01431160210154812

Wang, K., Franklin, S. E., Guo, X., & Cattet, M. (2010). Remote sensing of ecology, biodiversity and conservation: A review from the perspective of remote sensing specialists. En *Sensors* (Vol. 10, Número 11). https://doi.org/10.3390/s101109647

Wang, R., Gamon, J. A., Cavender-Bares, J., Townsend, P. A., & Zygielbaum, A. I. (2018). The spatial sensitivity of the spectral diversity-biodiversity relationship: An experimental test in a prairie grassland. *Ecological Applications*, *28*(2). https://doi.org/10.1002/eap.1669

Yan, Z., Wang, S., Ma, D., Liu, B., Lin, H., & Li, S. (2019). Meteorological factors affecting pan evaporation in the Haihe River Basin, China. *Water (Switzerland)*, *11*(2). https://doi.org/10.3390/w11020317

Young, B. E., Young, K. R., & Josse, C. (2011). Vulnerability of Tropical Andean Ecosystems to Climate Change. *Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes*, *1*(11), 12.

Zhang, X., Friedl, M. A., & Schaaf, C. B. (2006). Global vegetation phenology from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Evaluation of global patterns and comparison with in situ measurements. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, *111*(4). https://doi.org/10.1029/2006JG000217

Zhang, X., Friedl, M. A., Schaaf, C. B., Strahler, A. H., Hodges, J. C. F., Gao, F., Reed, B. C., & Huete, A. (2003). Monitoring vegetation phenology using MODIS. *Remote Sensing of Environment*, *84*(3). https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00135-9

Zoffoli, M. L., Madanes, N., & Kandus, P. (2007). Contribución de series temporales de NDVI NOAA/AVHRR al análisis funcional en humedales. *Anais XIII Simposio Brasileiro de Sensoramiento Remoto* .