

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

“INFLUENCIA DE LOS PATRONES CLIMÁTICOS GLOBALES EN LA VARIABILIDAD DEL CLIMA DURANTE EL PERÍODO 2000-2016 EN LOS PÁRAMOS DEL NORTE DE ECUADOR”

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTORES:

Lenin Israel Ramírez Cuasque

Brian David Vallejo García

DIRECTOR DE TESIS:

MSc. Darío Paúl Arias Muñoz

Ibarra-Ecuador

2018

Influencia de los patrones climáticos globales en la variabilidad del clima durante el período 2000-2016 en los páramos del norte de Ecuador

Vallejo B. ; Ramírez L.¹ ; Arias, P².

¹ Autores

² Director de Trabajo de Grado

RESUMEN

El conocimiento sobre el clima en Ecuador se ha desarrollado en base a la información de estaciones meteorológicas y satélites que se caracterizan por una resolución espacial gruesa. Sin embargo, estos estudios no son eficientes para determinar la influencia de los patrones climáticos en unidades espaciales más pequeñas como el ecosistema páramo. En esta investigación se analizó la influencia de los fenómenos climáticos El Niño y La Niña en los páramos del norte de Ecuador durante el período 2000-2016. Para ello se evaluó la dinámica temporal del páramo mediante el Índice de Vegetación Mejorado (EVI). Los resultados muestran que los eventos ENOS (categoría fuerte) tienen impacto en la vegetación de los páramos como en los periodos 2008-2009 (evento La Niña) y 2014-2015 (evento El Niño) esto debido a la alteración del régimen de precipitaciones; presentando excesos de lluvias para el caso de La Niña y sequías en El Niño. Además, la respuesta de cada ecosistema de páramo ante estos eventos no es la misma, destacando HsSn03 (Herbazal húmedo montano alto superior del páramo) como el valor más alto y HsNn02 (Herbazal ultra húmedo subnival del páramo) como el más bajo del EVI.

Palabras clave: *clima, patrones climáticos, páramo, ENOS, EVI*

SUMMARY

Data about the climate in Ecuador has been developed based on information from meteorological stations and satellites characterized by a thick spatial resolution. However, these studies are not efficient in determining the influence of climate patterns on smaller spatial units such as moorland ecosystem. In this investigation, the influence of El Niño and La Niña climatic phenomena from northern Ecuador's moorlands was analyzed during the period 2000-2016. For this, the temporal dynamics of the moorlands were evaluated through the Enhanced Vegetation Index (EVI). The results show ENSO events (strong category) have an impact on the vegetation from moorlands, as in the periods 2008-2009 (La Niña event) and 2014-2015 (El Niño event) this because the alteration of the rainfall regime, presenting excess rainfall for the case of La Niña and drought in El Niño. Although, the response of each ecosystem before these events is different, highlighting HsSn03 (Herbazal húmedo montano alto superior del páramo) as the highest value and HsNn02 (Herbazal ultra húmedo subnival del páramo) as the lowest EVI's value.

Keywords: *clime, climate patterns, moorland, ENSO, EVI*

INTRODUCCIÓN

El conocimiento actual sobre el clima en el país se ha desarrollado principalmente en base a la información que proporcionan las redes de estaciones meteorológicas y sensores satelitales que se caracterizan por una resolución espacial gruesa (Pourrut et al., 1995; Insel et al., 2010). Cuesta et al. (2012) mencionaron que Sudamérica tiene una gran influencia en los patrones climáticos regionales, debido a la presencia de la cordillera de los Andes, constituyendo la única barrera a los patrones de circulación del hemisferio sur. La variabilidad espacial y temporal de las fuentes de humedad y precipitación en Sudamérica responde principalmente a la presencia de la cordillera de los Andes y los patrones de circulación atmosférica que conjuntamente determinan el clima, la disponibilidad de agua y definen los ecosistemas (Pourrut et al., 1995; Insel et al., 2010).

Además, la alteración en los patrones climáticos a causa del cambio climático ha ocasionado que fenómenos de variabilidad climática como El Niño y La Niña tengan un mayor impacto en la región (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2016).

OBJETIVOS.

El presente estudio se enfocó en analizar la influencia de los fenómenos climáticos El Niño y la Niña en la dinámica del páramo en el norte del Ecuador durante el período 2000-2016. Esto se llevó a cabo por medio de la

evaluación de la dinámica temporal del índice espectral de vegetación EVI en el período 2000-2016.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El área de estudio se encuentra en los páramos del norte de Ecuador, localizados en la Cordillera Occidental y Cordillera Oriental de “Los Andes” a partir de los 3300 y 3700msnm respectivamente (García, Mena y Parra, 2014). La zona de investigación comprende las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Sucumbíos y Napo, abarcando un área total de 6120.63 km² (Figura 3.1).

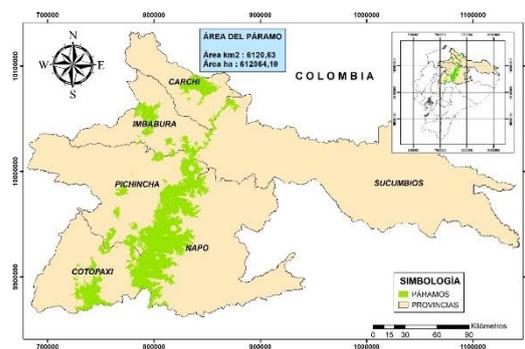


Figura 1. Ubicación de los páramos del norte Ecuador.

Método

Para analizar la influencia de los fenómenos climáticos El Niño y la Niña en la dinámica del páramo en el norte del Ecuador se estableció evaluar el índice espectral de vegetación EVI durante el período 2000-2016. Para delimitar el área de estudio se utilizó el mapa de cobertura de uso del suelo a escala 1:100000 del Ministerio de Ambiente del

Ecuador (MAE) en el año 2015. Las imágenes provenientes del sensor pasivo MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer) se descargaron de la página web <http://modis.gsfc.nasa.gov/>, el cual trabaja a través del Sistema de Observación de la Tierra (EOS) de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA).

Cada imagen se encuentra en formato TIFF (Tagged Image File Format) y con una información binaria de 16 bits por pixel (Rodríguez y Arredondo, 2015; García-Mora y Mas, 2011).

El área de estudio comprendió dos tiles h10v08 y h10v09, dando como resultado 748 imágenes ráster (374 imágenes por cada *tile*) comprendidas entre febrero del 2000 a diciembre del 2016 (Figura 2). Cabe recalcar que los pixeles clasificados de alta calidad fueron incorporados en el análisis.

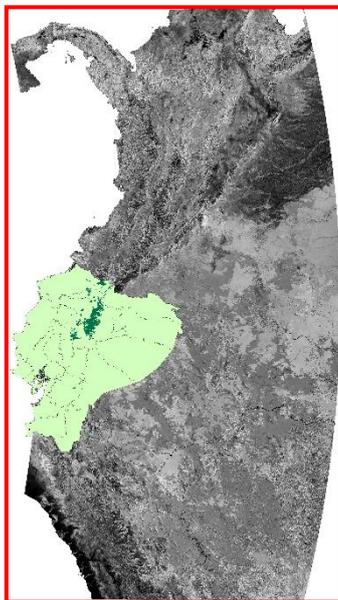


Figura 2. Tiles a) h10v08 y b) h10v09 correspondientes al área de estudio.

Para visualizar y analizar las imágenes, se procedió a elaborar mapas temporales del índice de vegetación EVI para los

diecisiete años de estudio (2000-2016). Seguidamente, se comparó los mapas temporales durante un año normal y un fenómeno climático, y durante dos fenómenos climáticos seguidos, con el fin de conocer el comportamiento del índice EVI durante una variabilidad climática.

Finalmente se realizó un análisis por cada ecosistema de páramo debido a que cada uno tiene un comportamiento diferenciado. Por lo cual, se graficó el promedio mensual del índice d

vegetación EVI (Tabla 3.3) por ecosistema de páramo existente en el área de estudio.

Los valores del EVI fluctúan entre -1 y 1, y están en función de la energía absorbida o reflejada por las plantas en diversas partes del espectro electromagnético (Díaz, 2015). Cuando los valores son mayores a cero, es porque existe vegetación viva y conforme va incrementando este valor, la vegetación es más vigorosa. Los valores negativos representan superficies sin vegetación, nieve, cuerpos de agua y rocas (Poveda y Roldán, 2006).



Figura 3. Simbología del índice de vegetación EVI

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al analizar la dinámica temporal durante los diecisiete años de estudio mediante el índice de vegetación EVI, se evidenció como los páramos del norte de Ecuador han ido variando año tras año. Los cambios producidos en este ecosistema se deben a diferentes factores climáticos (lluvia, humedad, temperatura, viento, entre otras cosas), influencia de perturbaciones amazónicas, influencia de corrientes marinas como los fenómenos de El Niño y La Niña o períodos estacionales de la región.

A pesar de que el cambio en la vegetación del ecosistema se debe a diferentes factores climáticos, los períodos estaciones (lluvioso y seco) son los factores que más inciden o influyen en la vegetación del páramo. Por tal razón, en los meses de enero a mayo y octubre a diciembre (períodos de estacionalidad lluviosa), la respuesta espectral de vegetación fue vigorosa debido al incremento de precipitaciones; mientras que en los meses de junio a septiembre (período de estacionalidad seca), la vegetación disminuye su vigorosidad debido a que el régimen de precipitaciones disminuye (Figura 4).

Sin embargo, en los años 2008 y 2009, tiempo en el que se presentó el fenómeno La Niña de intensidad fuerte (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, 2017), hubo un incremento de precipitación en la región interandina, por consiguiente, la respuesta espectral de la vegetación fue vigorosa (Figura 5 y Figura 6). Por otro lado, en los años 2014 y 2015, tiempo donde se presentó el fenómeno El Niño de intensidad fuerte, la precipitación disminuyó, por lo tanto,

la vegetación pierde su vigorosidad en el ecosistema (Figura 7 y Figura 8).

Montealegre y Pabón (2000) manifestaron que, al presentarse los fenómenos ENOS con intensidad fuerte en la región interandina, el régimen de lluvias se altera, por lo que existe tendencia a un aumento o disminución de precipitación, conllevando a constantes cambios en la vegetación. Pese a eso, no existe un patrón definido que permita conocer con exactitud el impacto que genera estos fenómenos en un área determinada de la región.

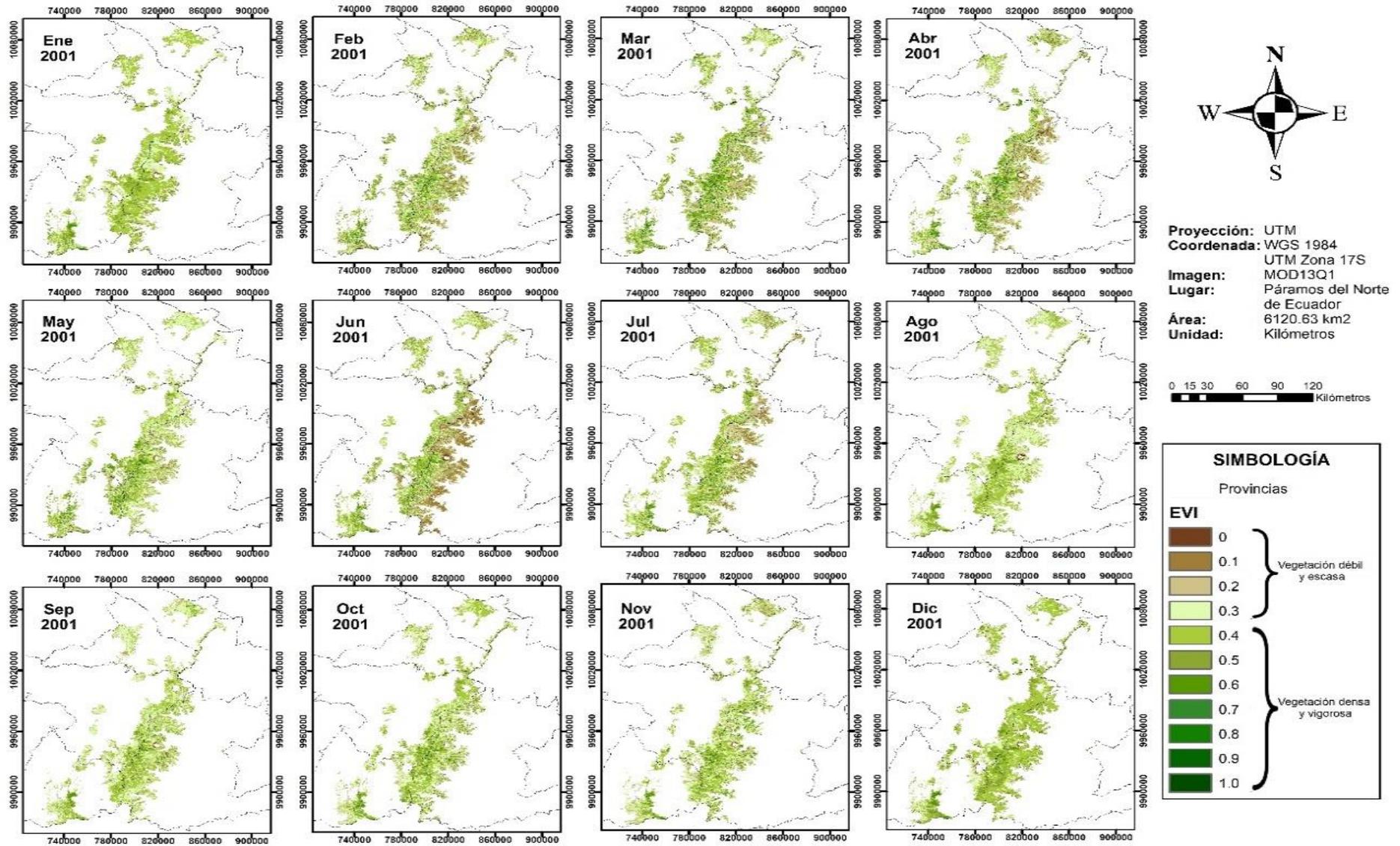


Figura 4. Mapas del índice EVI correspondientes al año 2001 (año normal).

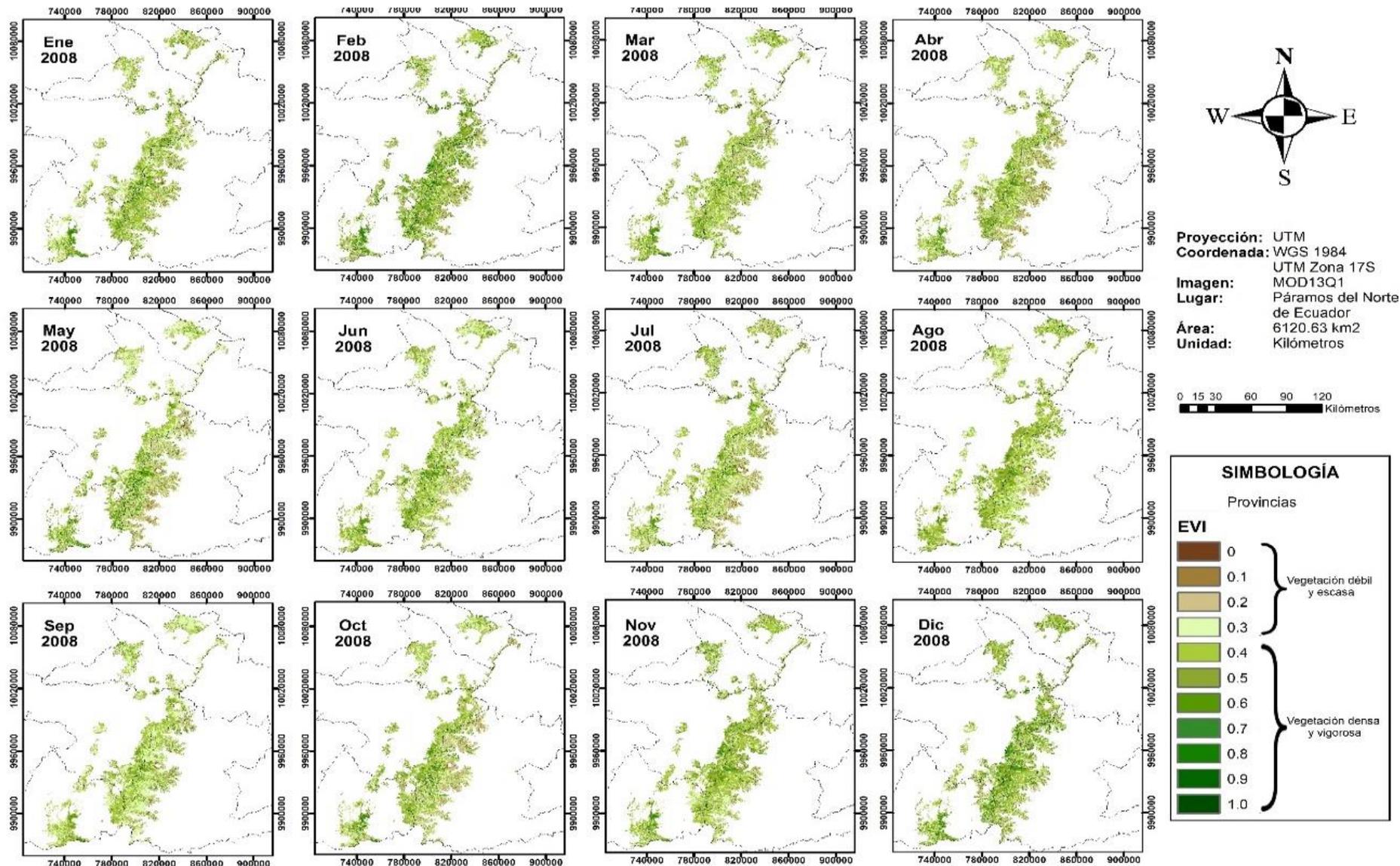


Figura 5. Mapas del índice EVI correspondientes al año 2008 (La Niña).

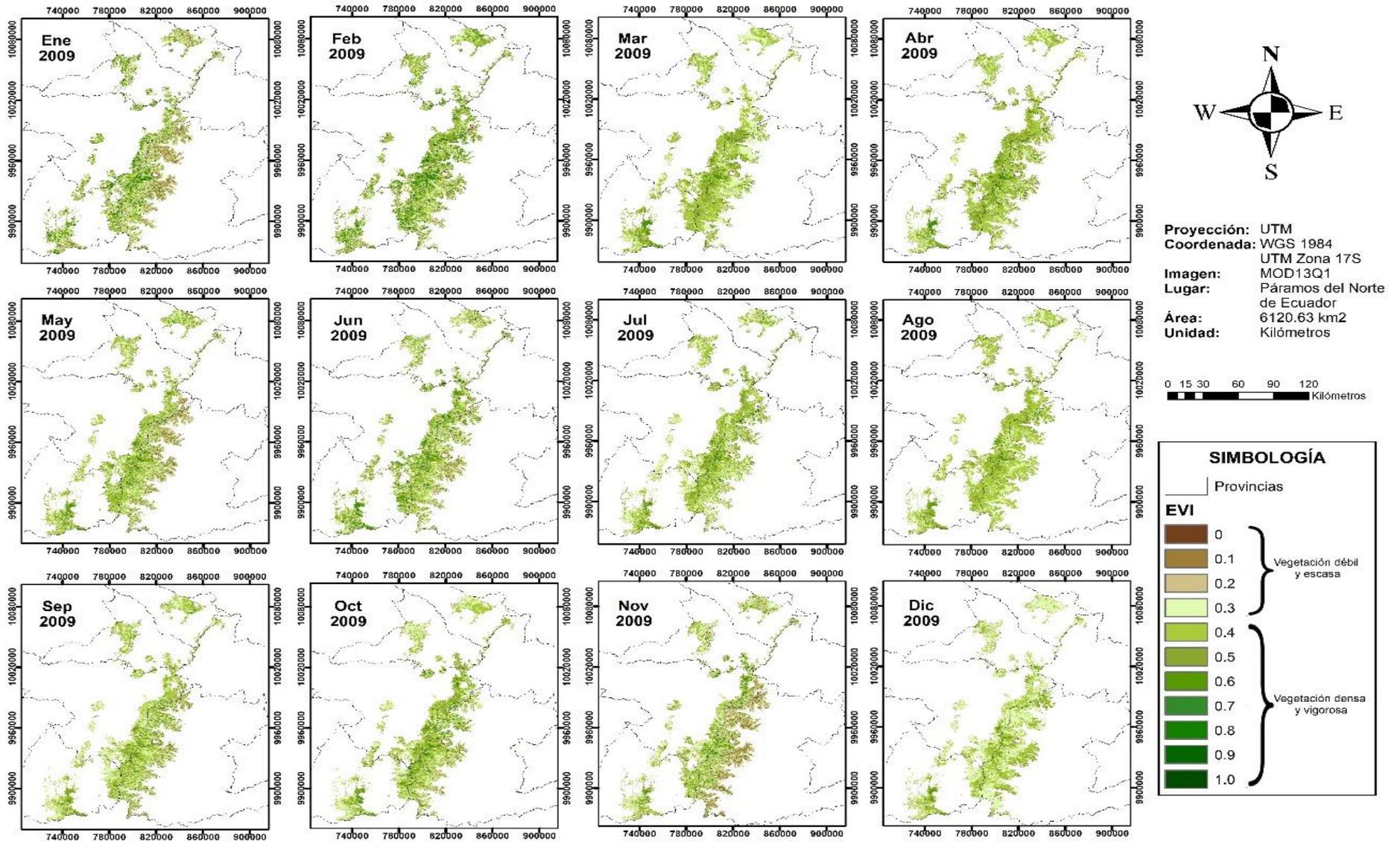


Figura 6 Mapas del índice EVI correspondientes al año 2009 (La Niña).

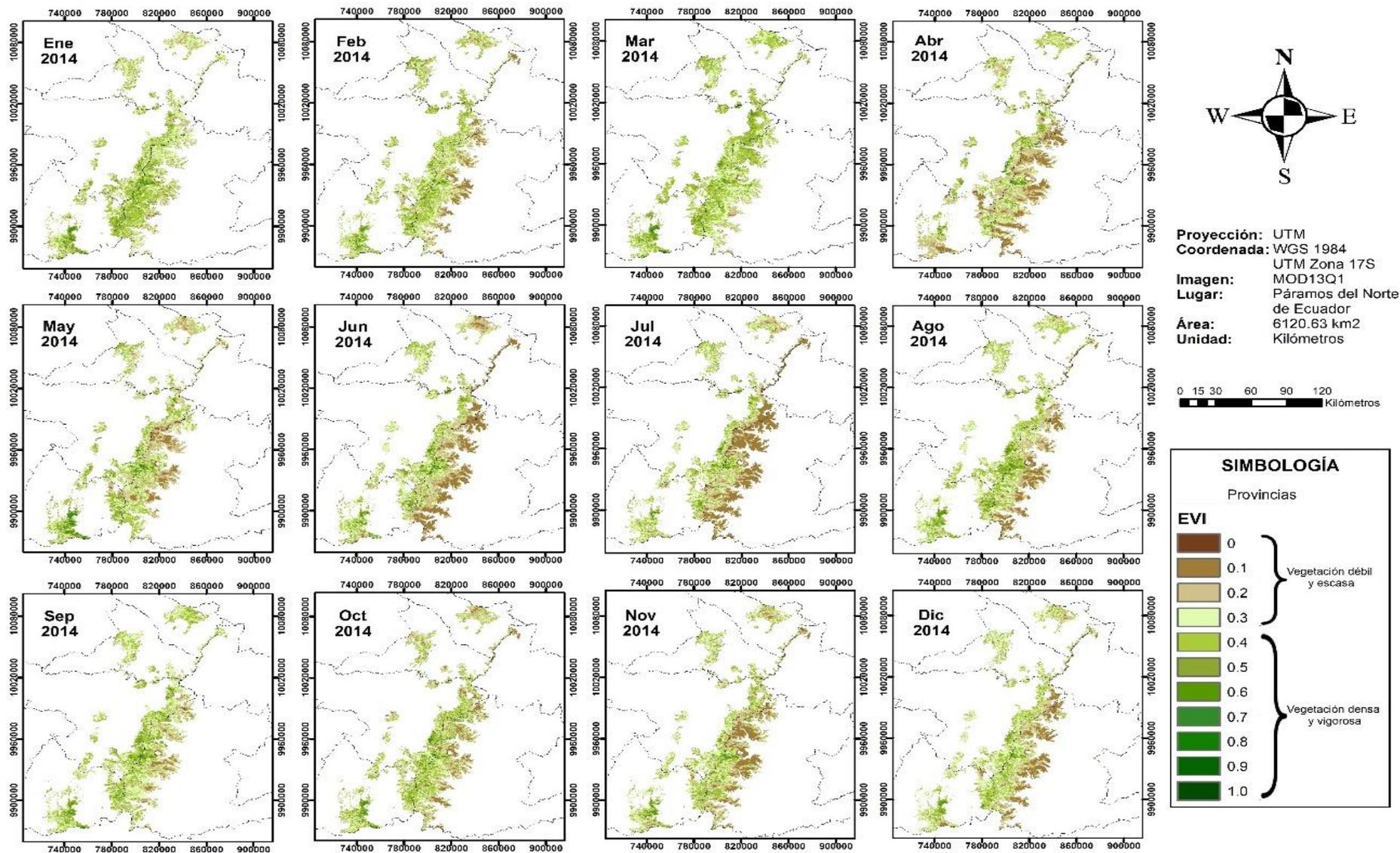


Figura 7. Mapas del índice EVI correspondientes al año 2014 (La Niña-El Niño).

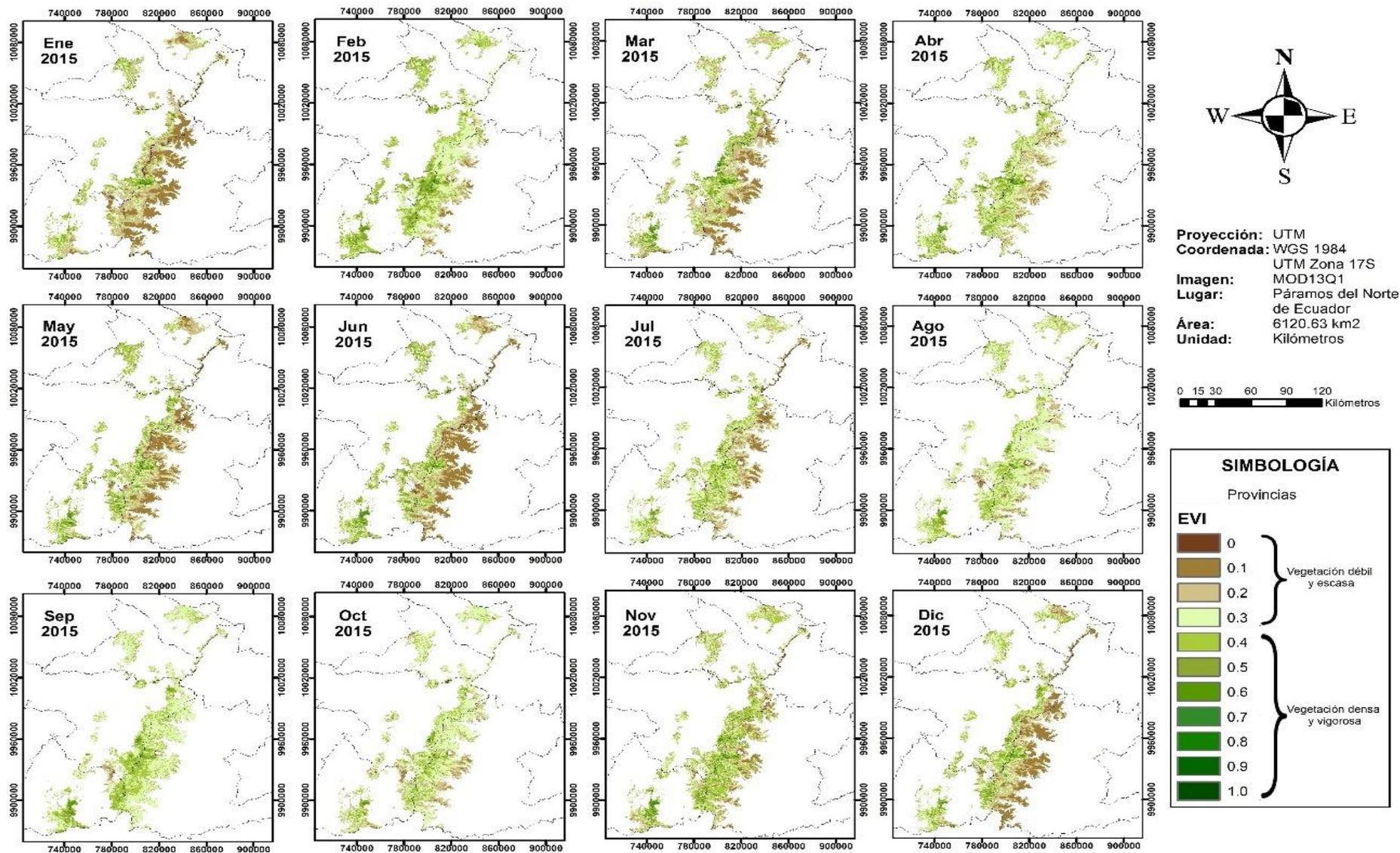


Figura 8 Mapas del índice EVI correspondientes al año 2015 (El Niño)

El análisis temporal del índice de vegetación EVI por medio de mapas temáticos dificulta al momento de conocer cuál fue la conducta de la vegetación en el área de estudio. Para ello, fue pertinente elaborar una gráfica del promedio mensual EVI por cada tipo de ecosistema de páramo, con el fin de analizar el comportamiento de la vegetación durante los años de estudio (Figura 9)

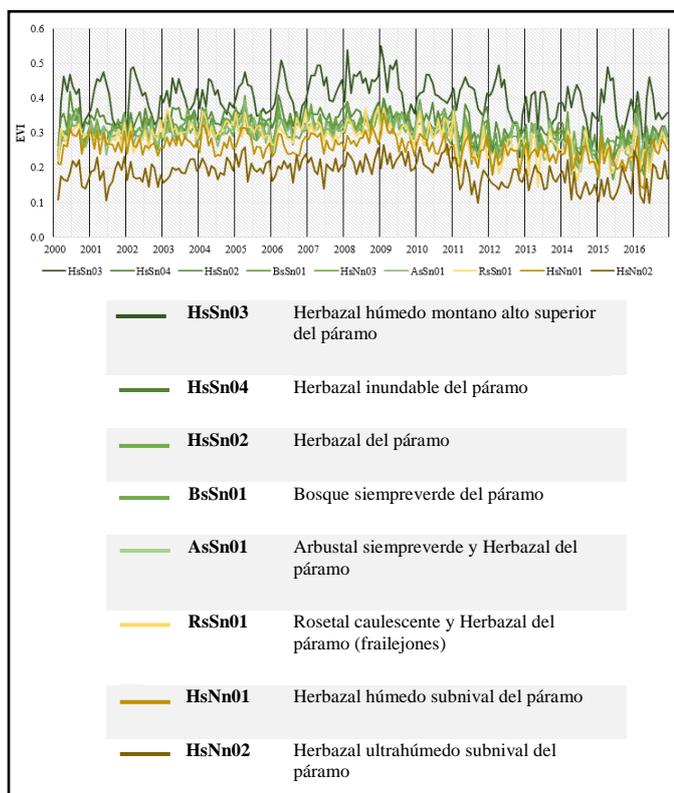


Figura 9. Promedio anual por ecosistema de páramo durante el período 2000-2016.

El ecosistema HsSn03 (Herbazal húmedo montano alto superior del páramo) se encuentra ubicado a 3600-4000 msnm de la cordillera central de los Andes con una superficie de 16.18km². Posee una humedad relativamente baja por lo que este ecosistema es frágil a las actividades antrópicas, provocando erosión del suelo y pérdida de cobertura vegetal (Ministerio de Ambiente del

Ecuador, 2012). Pese a esto, varias especies de flora como la *Baccharis caespitosa*, *Calamagrostis intermedia*, *Agrostis breviculmis*, *Lachemilla orbiculata*, entre otras, son resilientes al lugar. Por tal razón, la vegetación presenta una mejor respuesta espectral con los valores más altos del índice de vegetación EVI, esto se debe a los períodos estacionales y a la concentración de vegetación dentro de un área pequeña. Los valores más altos del EVI fueron desde inicios hasta mediados de cada año, coincidiendo con el período lluvioso. Así mismo, se puede observar desde el 2008 hasta mediados del 2009 tiene los valores relativamente más altos del EVI debido a los incrementos de precipitación a causa del fenómeno de La Niña (Palacios, 2014).

El ecosistema HsSn04 (Herbazal inundable del páramo) está ubicado a 3300-4500 msnm de la cordillera central de los Andes con una superficie de 61.75Km². Presenta una vegetación azonal con un balance hídrico positivo (Bosman et al. 1993). Sin embargo, las actividades antrópicas han condicionado a este ecosistema, conllevando a un alto grado de erosión, cubierta vegetal escasa y eutrofización en cuerpos de agua (Ministerio de Ambiente del Ecuador, 2013). Por tal razón, la respuesta espectral de la vegetación en este ecosistema está influenciada por condiciones edáficas y factores climáticos locales.

El ecosistema HsSn02 (Herbazal del páramo) se encuentra ubicado a 3400-4300 msnm de la cordillera occidental y central de los Andes con una superficie de 4464.31Km². Se caracteriza por

poseer suelos ricos en materia orgánica y una excelente capacidad hídrica por su alta humedad. La vegetación se encuentra dominado por los géneros *Calamagrostis*, *Agrostis*, *Festuca*, *Stipa*, *Diplostephium*, *Hypericum* y *Pentacalia* (Ramsay y Oxley 1997). Sin embargo, las actividades antrópicas, tal como las quemadas asociadas a la ganadería extensiva ha provocado disminución en la densidad de la vegetación (Ministerio de Ambiente del Ecuador, 2013). Por tal razón, la respuesta espectral de la vegetación se debe principalmente a factores antrópicos y a la distribución geográfica, ya que los factores climáticos no responden igual.

El ecosistema BsSn01 (Bosque siempreverde del páramo) se encuentra ubicado a 3200-4100 msnm de la cordillera occidental y central de los Andes con una superficie de 18.68km². Estos bosques se caracterizan por encontrarse aisladas en una matriz de vegetación herbácea o arbustiva y poseer una alta humedad ambiental (Ministerio de Ambiente del Ecuador, 2012). La vegetación está dominada por el género *Polylepis*, *Gynoxys* y *Buddleja*. No obstante, el estado de la vegetación se debe a factores climáticos en los diferentes pisos altitudinales.

El ecosistema HsNn03 (Herbazal y Arbustal siempreverde subnival del páramo) se encuentra ubicado a 4100-4500 msnm de la cordillera occidental de los Andes con una superficie de 147.66km². Se caracteriza por poseer suelos desnudos y una vegetación fragmentada. La vegetación se encuentra dominado por las familias Asteraceae y Poaceae (Ministerio de Ambiente del

Ecuador, 2013). Sin embargo, el estado de la vegetación se debe a factores climáticos extremos propios de la zona.

El ecosistema AsSn01 (Arbustal siempreverde y Herbazal del páramo) se encuentra ubicado a 3300-3900 msnm de la cordillera occidental, central y oriental de los Andes con una superficie de 839.07km². La vegetación está dominada por *Calamagrostis spp.*, y por los géneros *Baccharis*, *Gynoxys*, *Brachyotum*, *Escallonia*, *Hesperomeles*, *Miconia*, *Buddleja*, *Monnina* e *Hypericum* (Ministerio de Ambiente del Ecuador, 2013). Sin embargo, la respuesta espectral de la vegetación se debe a su distribución geográfica, ya que cada sitio presenta diferentes factores climáticos y no responden de la misma manera.

El ecosistema RsSn01 (Rosetal caulescente y Herbazal del páramo) se encuentra ubicado a 3350-4100 msnm de la cordillera central y oriental de los Andes con una superficie de 463.72km². Se caracteriza por poseer suelos bien drenados. La vegetación está dominada por *Calamagrostis intermedia* y *Espeletia pycnophylla* (Ramsay 1992). Sin embargo, la respuesta espectral de la vegetación estaría determinado por factores climáticos locales y los dos períodos estacionales del país.

El ecosistema HsNn01 (Herbazal húmedo subnival del páramo) se encuentra ubicado a 4500-4900 msnm de la cordillera occidental y central de los Andes con una superficie de 45.96km². Posee un bajo contenido de materia orgánica en los suelos y una mala capacidad hídrica (Ministerio de

Ambiente del Ecuador, 2013). Por tal razón, la vegetación se encuentra determinada por patrones irregulares de precipitación y variaciones de la humedad ambiental, dando valores bajos del EVI.

El ecosistema HsNn02 (Herbazal ultrahúmedo subnival del páramo) se encuentra ubicado a 4400-4900 msnm de la cordillera occidental y central de los Andes con una superficie de 63.27km². Posee una alta humedad causado por su orientación hacia las zonas de formación de precipitación de la Amazonía. La vegetación se encuentra dominado en su mayoría por las familias Asteraceae y Poaceae (Ministerio de Ambiente del Ecuador, 2013). Pese a esto, gran parte del área de este ecosistema es suelo desnudo y rocoso. Por esta razón, los valores del EVI son bajos, ya que solamente existen pequeños fragmentos de vegetación.

CONCLUSIONES

Los cambios producidos en la vegetación del páramo durante el período de estudio se deben a diferentes factores climáticos. Sin embargo, se identificó patrones temporales que inciden en la respuesta espectral de la vegetación, siendo estos los períodos estaciones (lluvioso y seco) propios de la región. Por lo tanto, en los meses de enero a mayo y octubre a diciembre, la respuesta espectral de vegetación es vigorosa debido al incremento de precipitaciones que se presentan en el período lluvioso; mientras que, en los meses de junio a septiembre, la respuesta espectral de la vegetación disminuye su vigorosidad debido a la disminución de

precipitaciones que se presentan en el período seco.

El comportamiento del EVI ante un fenómeno climático determinó que El Niño y La Niña de intensidad débil y moderada no influyen directamente al área de estudio. Sin embargo, al presentarse fenómenos de intensidad fuerte el régimen de lluvias se altera. Por tal razón, durante un evento fuerte de El Niño, la precipitación disminuye, dando una vegetación débil, y durante un evento fuerte de La Niña, la precipitación aumenta, dando una vegetación más vigorosa.

La respuesta espectral de la vegetación mediante el índice EVI a nivel de ecosistema (páramo) no es igual debido a que esta zona presenta nueve ecosistemas con diferentes factores (piso altitudinal, biogeografía, clima, entre otros factores). Por consiguiente, el ecosistema HsSn03 (Herbazal húmedo montano alto superior del páramo) tuvo una mejor respuesta espectral en la vegetación con los valores más altos del EVI, siendo 0.54 (febrero 2008) y 0.55 (febrero 2009) los valores máximos. Por otro lado, el ecosistema HsNn02 (Herbazal ultrahúmedo subnival del páramo) tuvo una baja respuesta espectral de la vegetación con los valores más bajos con respecto a los demás, siendo 0.1 el valor mínimo del EVI.

RECOMENDACIONES

Desarrollar estudios para determinar la influencia de los patrones climáticos en la producción de cultivos importantes para la economía local y regional.

Proponer estudios a nivel de cuencas hidrográficas para evaluar la posible variación de la oferta hídrica en zonas estratégicas para la producción agrícola, sector energético o consumo humano con fines de planificación.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer de manera especial al MSc. Marlon Calispa quien fue pieza fundamental para que esta investigación floreciera y diera sus frutos. Su disponibilidad, paciencia, experiencia y conocimientos fueron esenciales a lo largo de este proceso.

BIBLIOGRAFÍA

- Bosman, A., Van der Molen, P., Young, R., y Cleef, A. (1993). Ecology of a Paramo *cushion* mire. *Journal of Vegetation Science*. 4, 633-640.
- Cuesta, F., Muriel, P., Beck, S., Meneses, R., Halloy, S., Salgado, S., Ortiz, E., y M.T. Becerra. (2012). Biodiversidad y Cambio Climático en los Andes Tropicales-Conformación de una red de investigación para monitorear sus impactos y delinear acciones de adaptación. Lima-Quito: CONDESAN.
- Díaz, J. (2015). Estudio de Índices de *vegetación* a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión (Trabajo de Máster). Universidad de Complutense de Madrid, España.
- García, M., Mena, P., y Parra, D. (2014). El País de la *Biodiversidad*: Ecuador. Quito: Fundación Botánica de los Andes.
- García-Mora, T., y Mas, J. (2011) Los productos de superficie terrestre MODIS. En: Mas, J.F. (Ed.), *Aplicaciones del sensor MODIS para el monitoreo del territorio* (pp. 11-24). México: INE, SEMARNAT, CIGA-UNAM.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, Departamento Nacional de Planeación de Colombia. (2016). Conocer: El primer paso para adaptarse. Guía básica de conceptos sobre el cambio climático. Colombia.
- Ministerio de Ambiente del Ecuador. (2012). *Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental*. Quito, Ecuador.
- Ministerio de Ambiente del Ecuador. (2013). *Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental*. Segunda Edición. Quito, Ecuador.
- Montealegre, J. y Pabón, J. (2000): La Variabilidad Climática Interanual asociada al ciclo El Niño-La Niña–Oscilación del *Sur* y su efecto en el patrón pluviométrico de Colombia. *Meteorol. Colomb.* 2:7-21. ISSN

0124-6984. Bogotá, D.C. –
Colombia

Palacios, J. (2014). Anomalías de precipitación en el Ecuador continental *e insular durante los años 2007 al 2014*. Recuperado de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>

Pourrut, P., Róvere, O., Romo, I., y Villacrés, H. (1995). Factores condicionantes de los regímenes climáticos e hidrológicos. Quito, Ecuador: Corporación Editora Nacional.

Ramsay, P. (1992). *The páramo vegetation of Ecuador: The community ecology, dynamics and productivity of tropical grasslands in the Andes*. Wales.

Rodríguez, O., y Arredondo, H. (2005). Manual para el Manejo y Procesamiento de Imágenes Satelitales obtenidas del sensor remoto MODIS de la NASA, aplicado en *estudios* de Ingeniería Civil (Trabajo de Grado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.