

## **Análisis de la relación del patrón climático ENOS sobre la dinámica del EVI en el páramo de la cuenca hidrográfica del río Mira, al norte de Ecuador**

Bryan Vallejo<sup>1</sup>, Sakira Rivadeneira<sup>1</sup> y Paúl Arias Muñoz<sup>1</sup>

Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. Correo de correspondencia: dparias@utn.edu.ec

### **Resumen**

El patrón climático de Oscilación del Sur-El Niño ha atraído la atención de la comunidad científica internacional, debido a que se considera que constituye una de las principales fuentes de variabilidad climática global. En la presente investigación se analizó para el periodo 2000-2016, la relación del patrón climático ENOS sobre la dinámica del EVI en tres ecosistemas, Herbazal del páramo, Arbustal siempre verde-Herbazal del páramo y Rosetal caulescente-Herbazal del páramo, ubicados en la cuenca hidrográfica del río Mira. En consecuencia, se evaluó la dinámica temporal del páramo mediante el Índice de Vegetación Mejorado (EVI), su relación con la precipitación y se determinó la existencia de anomalías estadística en sus valores en los periodos ENOS 2000-2009 y 2014-2015. Se comprobó que existe una relación entre la variación intra anual de la precipitación y la respuesta espectral interanual del páramo medida con el índice EVI. No obstante, el Niño-Oscilación del Sur (ENOS) en sus dos fases (El Niño y La Niña) no ocasionó anomalías en la respuesta espectral del índice EVI. Así, se concluyó que en los años que se manifestó el patrón climático ENOS no existió influencia en el vigor de los tres ecosistemas.

*Palabras clave:* ENOS, Índice de Vegetación Mejorada, páramo.

### **Introducción**

El clima en el planeta está definido por complejas interacciones entre el sol, los océanos, la atmósfera, la criósfera, las tierras emergidas y la biosfera (Ochoa et al., 2015). Los patrones climáticos son los factores meteorológicos que se desarrollan en la atmósfera y que determinan el clima local a corto plazo y afectan el desarrollo de la vida (Ochoa et al., 2015). A escala interanual se desarrolla un importante patrón climático producto de la interacción océano-atmósfera en el Pacífico ecuatorial, conocido con el nombre de El Niño-Oscilación del Sur, ENOS, en español o ENSO, en inglés (Bjerknes, 1969; Philander, 1983).

El patrón climático ENOS consiste en una oscilación de tres fases: una precursora, otra en la que se produce un aumento de las condiciones anómalas inicialmente frente a las costas de Perú y Ecuador y una última fase donde se retorna a las condiciones normales hasta casi un año después (Philander, 1983). En general al ciclo ENOS se lo puede categorizar en tres fases: una neutral, una fase cálida conocida como El Niño y una fase fría conocida como La Niña (Wang et al., 2020). Las dos últimas se presentan mediante un calentamiento o enfriamiento anormal de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en el océano Pacífico ecuatorial central y oriental cada tres o siete años (Maturana et al., 2004; Martínez, 2009; Trenberth, 2019).

El Niño se asocia a un debilitamiento de los vientos alisios del este y un aumento anómalo de la temperatura superficial del océano Pacífico tropical, que provoca una profundización de la termoclina oceánica y el desplazamiento del centro de convección del oeste al centro del océano Pacífico tropical (Poveda y Mesa, 1996). La Niña, es su fase opuesta, y ocurre cuando

se produce una intensificación del funcionamiento de la celda de Walker por un reforzamiento de los vientos alisios, lo cual ocasiona una acumulación de aguas cálidas al oeste del Pacífico (Maturana et al., 2004; Comunidad Andina, 2008).

Aunque existen registros sobre los fenómenos de El Niño y La Niña desde las épocas de la colonia, su origen se remonta a escalas de tiempo geológico (Montealegre, 2007). Martínez (2009) estima que, al menos en Colombia, la primera presencia de eventos ENOS sucedió en la transición del Pleistoceno medio hacia el tardío. Mientras que, el uso de la expresión “El Niño” se concede a pescadores artesanales en la costa de Perú, quienes observaron un aumento estacional de la temperatura superficial del mar en los meses de diciembre cada cierto periodo de tiempo (Maturana et al., 2004). Los pescadores asociaron este evento inusual con las festividades de Navidad y el nacimiento del niño Jesús, de acuerdo a la creencia cristiana (Trenberth, 2019).

Hoy en día, se ha determinado que los pescadores peruanos denominaban “corriente de El Niño”, a una corriente estacional cálida que se presenta durante todos los años alrededor del mes de diciembre, que se traslada de norte a sur a lo largo de la costa de Ecuador y Perú, la cual desplaza la corriente fría de Humboldt (Glantz M., 1996). La relación entre el fenómeno de El Niño y la Oscilación del Sur, fue reconocida primero por Bjerknes (1969) y el término ENSO (ENOS en español) fue reconocido por Philander (1983).

Ambas fases ENOS producen fuertes perturbaciones sobre la circulación atmosférica global (Poveda y Mesa, 1996), lo cual altera los regímenes de lluvia a escala global (Maturana et al., 2004), principalmente en zonas tropicales (Hernández, 2002). Esto trae como consecuencia sequías en zonas donde regularmente llueve y lluvias torrenciales en zonas usualmente desérticas (Poveda y Mesa, 1996). También el ENSO cambia la circulación extratropical lo cual genera inusuales precipitaciones en los inviernos del hemisferio norte (Philander, 1983; Hernández, 2002).

En Latinoamérica las perturbaciones climáticas asociadas al ENSO son conocidas. Se ha demostrado, por ejemplo, la influencia del ENOS en variables y eventos hidrometeorológicos como huracanes que afectan el Caribe noroccidental (Gray, 1992), o el incremento de los frentes fríos en Cuba (Hernández, 2002). En el norte de Sudamérica el ENSO se manifiesta a través del flujo de la corriente atmosférica, el Chorro del Chocó (Martínez, 2009). Esta corriente es un sistema convectivo tropical altamente sensible a los cambios de temperatura superficial del mar y de ahí al cambio climático regional o global (Chiang, 2009).

Al presentarse el fenómeno de El Niño en Sudamérica, normalmente en las áreas húmedas se originan largas sequías y en las áreas áridas se originan fuertes lluvias (Carmona y Muñoz, 2009). En la región se evidencia que El Niño afecta a los márgenes costaneros del Pacífico y además provoca daños a la infraestructura por el oleaje producido (Salazar et al., 2016). Un estudio realizado en países andinos ha demostrado que, al presentarse El Niño y La Niña, el régimen de lluvias se altera, genera una variabilidad climática y afecta el estado de los ecosistemas (Hofstede et al., 2014). El Niño produce precipitaciones intensas de poca altitud en la vertiente pacífica de los Andes, mientras que las zonas situadas por encima de los 2000 metros reciben menos lluvia y experimentan temperaturas más altas que en condiciones normales (Garreaud, 2009). No hay que olvidar que en Sudamérica la presencia de la Cordillera de los Andes ocasiona una gran influencia en los patrones climáticos regionales (Cuesta et al., 2012).

En Perú y Ecuador, aproximadamente cada seis años y durante un periodo entre 12 a 18 meses, El Niño genera torrenciales lluvias lo que ha ocasionado desastres naturales y sociales (Glantz, 2001, p.17). Sin embargo, en ambos países el impacto causado por las lluvias e

inundaciones ocurridas posiblemente durante los años de El Niño ha dejado visibles marcas en el ambiente natural (Glantz M. , 1996). En Ecuador se determinó una fuerte influencia de El Niño sobre la pluviometría en la mayor parte de la costa ecuatoriana, la cual disminuye cuando llega a la vertiente occidental de los Andes hasta ser casi nula en los valles interandinos y en la vertiente oriental de los Andes (Rossel, 1997).

Si bien el ENOS es uno de los patrones climáticos más estudiados, también hay que mencionar que es uno de los menos comprendidos. Los índices climáticos del ENOS son valores que pueden ser utilizados para describir el estado y los cambios en la interacción entre el sistema climático. De esta manera se pueden comprender los ciclos y el flujo de energía y materia en la atmósfera, a través de análisis estadísticos para la comparación de series de tiempo, estimación de medias e identificación de valores extremos y tendencias (Quiroz, 2011). Para facilitar la investigación del progreso en fases de los eventos ENOS, la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) dividió el Océano Pacífico en cuatro regiones: Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 y Niño 4 (Figura 1). Por cada región se estudian varios índices que permiten conocer las características de una variabilidad climática.

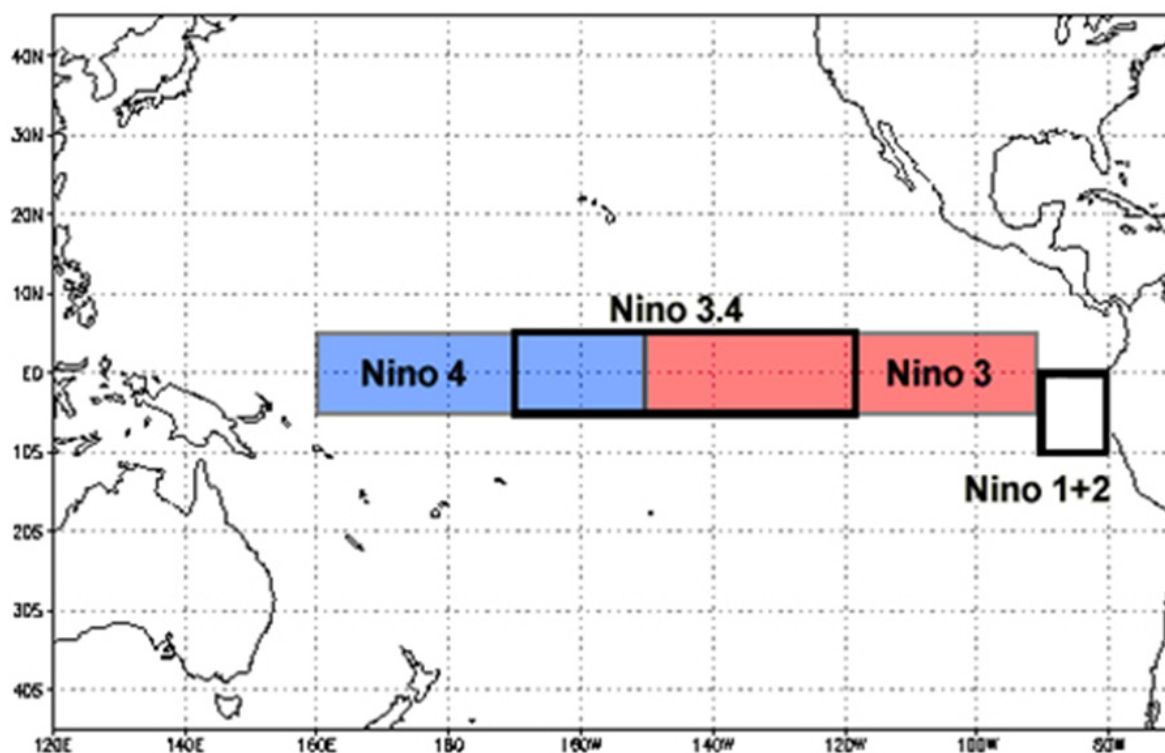


Figura 1. Regiones del Enos.

Fuente: Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, 2020

El índice Multivariado ENSO (MEI) es un índice que indica la presencia de un evento ENOS, a través de la relación entre el factor océano-atmosférico con la medición de la diferencia entre la anomalía promedio mensual de presión atmosférica superficial en Tahití (Polinesia Francesa) y el puerto de Darwin (Australia). En el índice MEI los valores positivos representan la presencia de El Niño y cuando los valores son negativos representan La Niña (Quiroz, 2011).

A nivel mundial se han desarrollado varios trabajos que utilizan índices espectrales con el fin de investigar los impactos del patrón climático ENOS sobre la cobertura vegetal (Gutman et al., 2000; Propastin et al., 2010; Vijith y Dodge-Wan, 2020). El Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) ha sido el índice más utilizado para determinar la respuesta

de la vegetación a condiciones climáticas anómalas relacionadas con fenómenos ENOS (Salinas-Zavala et al., 2002; Park et al., 2020). Debido a que se demostró que los patrones espaciales y temporales de NDVI están en gran medida controlados por parámetros climáticos (Yang et al., 1998).

El índice de vegetación mejorada EVI también ha sido utilizado para determinar la respuesta de la vegetación y su relación con fenómenos externos (Moreira et al., 2019). El EVI se caracteriza por mejorar la calidad del índice NDVI porque corrige los efectos derivados por la nubosidad y los aerosoles en la atmósfera que bloquean la visión de los satélites (Gao et al., 2003; Poveda y Roldán, 2006). No obstante, la respuesta espectral tanto del EVI y NDVI es similar, así lo comprobaron Carvacho y Sánchez (2010) en su estudio de comparación de tres tipos de vegetación: agrícola, pradera y forestal en Chile.

Después de comparar valores promedios NDVI y EVI se demostró que cuando se presentaron El Niño y La Niña, en Colombia, la respuesta de la vegetación a la hidrología se modificó debido a las anomalías de precipitación (Poveda y Roldán, 2006). En las estepas argentinas se probó parcialmente la relación de las fases ENOS y las precipitaciones después de comparar valores medios de NDVI (Maggi et al., 2020). En una investigación realizada en quince ecosistemas en el sur de Ecuador, que incluía bosque siempre verde, bosque deciduo y herbazal de páramo, se concluyó que los cambios en la serie EVI se debieron a una influencia de la presencia de El Niño y La Niña (Maita, 2015).

Sin embargo, en el sector de los Andes al norte de Ecuador ocupado también por herbazal de páramo son muy pocos los estudios de las tendencias del clima y sus posibles impactos. Se conoce que la consecuencia inmediata de la presencia ENOS es la alteración en el régimen de precipitación durante las fases El Niño y la Niña. No obstante, la información sobre los impactos ENOS en los ecosistemas es escasa, debido a que generalmente la información es limitada en el NOAA. Los cambios en el régimen hídrico afectan la productividad de los ecosistemas (Maggi, et al., 2020), y se ha comprobado sus impactos en los páramos (Cárdenas y Tobón, 2017). Aquellos efectos se pueden determinar con el índice de vegetación mejorada (EVI). El índice de vegetación mejorado (EVI) tiene la finalidad de apartar la vegetación del brillo que produce el suelo, facilitando el cálculo e interpretación directa de los parámetros biofísicos de la vegetación (Rouse et al., 1974).

A partir de este análisis surgió la necesidad de comprender las relaciones entre la cobertura páramo con las precipitaciones de las distintas fases ENOS en el periodo 2000-2016. Debido a que se estima que dicha variabilidad impacta en la vigorosidad de los ecosistemas. En base a esa información, el objetivo principal de este trabajo fue caracterizar la dinámica de la cobertura vegetal estimada mediante el EVI en tres ecosistemas en la cuenca hidrográfica del río Mira. También se estudió las relaciones temporales entre el ENOS y la precipitación. De este modo, se planteó como hipótesis que la presencia ENOS en sus dos fases ocasiona anomalía en el vigor de los ecosistemas, medido a través del índice EVI.

## **Área de estudio**

El área de estudio ocupa una superficie de 651,76 km<sup>2</sup> dentro de la cuenca del río Mira y corresponde a los espacios ocupados por los siguientes tipos de ecosistema: a) Herbazal del páramo, b) Arbustal siempre verde y Herbazal del páramo y c) Rosetal caulescente y Herbazal del páramo. Administrativamente la zona de investigación comprende sectores entre las provincias de Carchi e Imbabura (Figura 2).



Figura 2. Ubicación de la Cuenca Hidrográfica del Río Mira.

La cobertura páramo identificada en el área de estudio se caracteriza por presentar durante el año una única época, la lluviosa. Presenta dos picos pluviométricos en los meses de abril y noviembre. No existe una época seca, pero si una caída de la precipitación en los meses de mayo a septiembre (Figura 3).

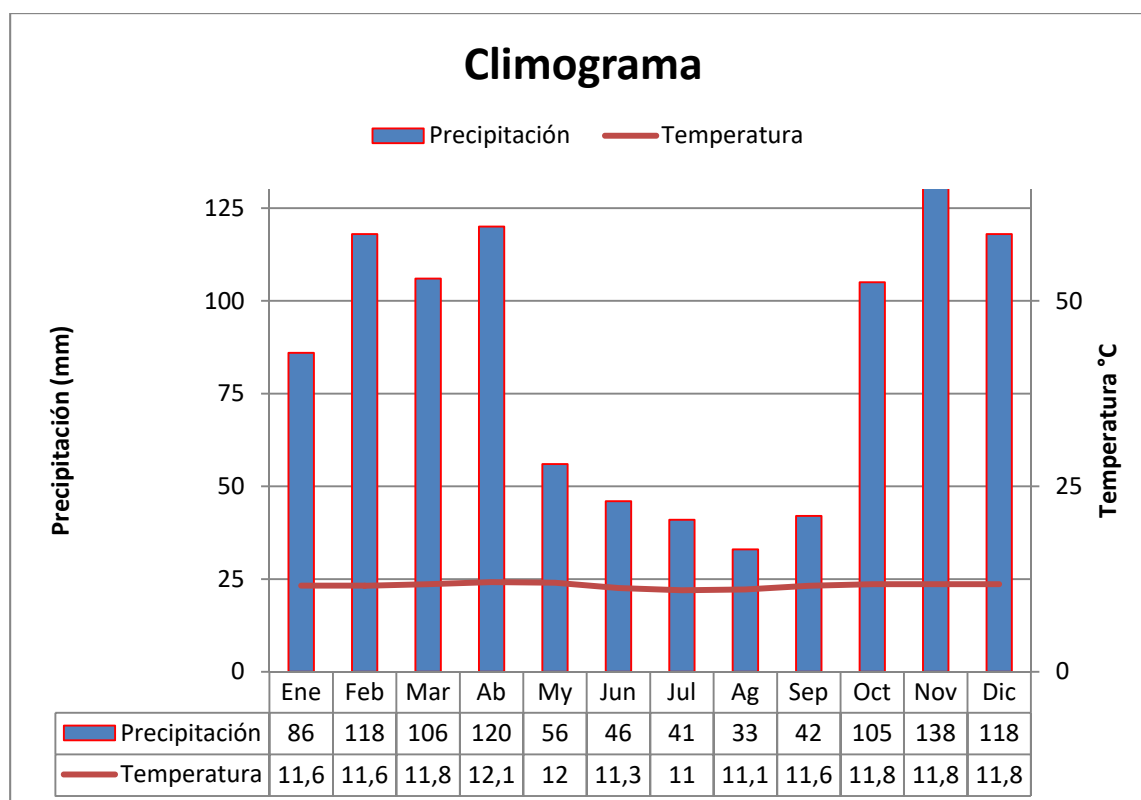


Figura 3. Climograma en la cobertura páramo en la cuenca del río Mira.  
Fuente: FAO (2005)

### Caracterización de los ecosistemas

El ecosistema Herbazal del páramo se encuentra ubicado a 3400 - 4300 m s. n. m. de la cordillera occidental y central de los Andes con una superficie de 184,93 km<sup>2</sup>. Se caracteriza por poseer suelos ricos en materia orgánica y una excelente capacidad hídrica por su alta humedad. La vegetación se encuentra dominada por los géneros *Calamagrostis*, *Agrostis*, *Festuca*, *Stipa*, *Diplostephium*, *Hypericum* y *Pentacalia* (Ramsay y Oxley, 1997).

El ecosistema Arbustal siempreverde y Herbazal del páramo se encuentra ubicado a 3300-3900 m s. n. m. de la cordillera occidental, central y oriental de los Andes con una superficie de 123,24 km<sup>2</sup>. 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).

El ecosistema Rosetal caulescente y Herbazal del páramo se encuentra ubicado a 3350-4100 m s. n. m. de la cordillera central y oriental de los Andes con una superficie de 175,32 km<sup>2</sup>. Este se caracteriza por poseer suelos bien drenados. La vegetación está dominada por *Calamagrostis intermedia* y *Espeletia pycnophylla* (Ramsay, 1992).

### Métodos

Se analizó la influencia de los patrones climáticos ENOS, El Niño y la Niña, en la dinámica del páramo en la cuenca hidrográfica del río Mira mediante la aplicación del índice espectral de vegetación (EVI) durante el período 2000-2016. Inicialmente, se delimitó el área de estudio y se utilizó el mapa de cobertura de uso del suelo a escala 1:100000 (Ministerio de Ambiente del Ecuador, 2015). Después se descargaron imágenes del sensor pasivo MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer). Cada imagen se encuentra en formato TIFF (Tagged Image File Format) y contenía información binaria de 16 bits por pixel. Se



obtuvieron 748 imágenes tipo raster, entre febrero del 2000 a diciembre del 2016, para el área de estudio, debido a que el área comprendió dos tiles h10v08 y h10v09 (Figura 4). Es decir, se descargaron 374 imágenes por cada *tile*.

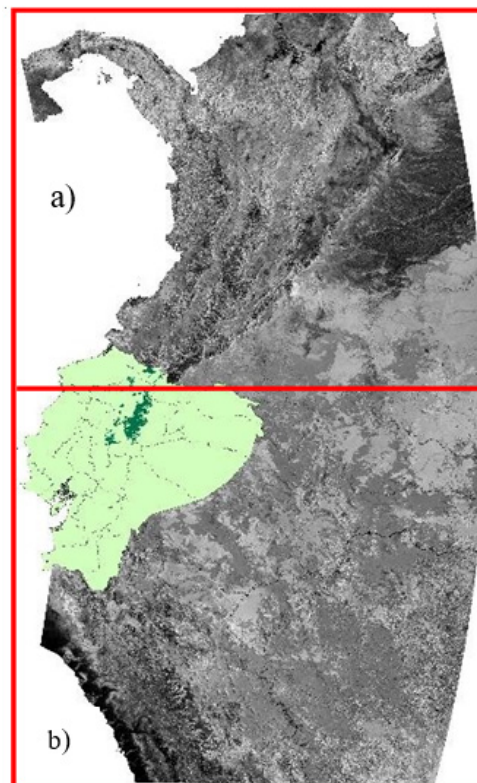


Figura 4. Tiles a) H10V08 y b) H10V09 Correspondientes al Área de Estudio.

A continuación, se calculó el índice de vegetación EVI para los tres ecosistemas: Herbazal del páramo (HsSn02), Arbustal siempre verde-herbazal de páramo (AsSn01) y Rosetal caulescente-herbazal del páramo (RsSn01) de forma mensual por los diecisiete años de estudio (2000-2016) mediante la aplicación de la Ecuación (1).

$$EVI = 2,5(banda\ IR - bandaR)/(banda\ IR + C1 * banda\ R - C2 * banda\ B + L) \quad (1)$$

Donde:

Banda IR = es la banda del infrarrojo cercano

Banda R = es la banda visible roja

Banda B = es la banda visible azul

L= (0 para vegetación densa, 0,5 para cobertura intermedia y 1 para vegetación rala)

C1 = 6, C2 = 7,5 son los coeficientes adoptados en el algoritmo

Los valores del EVI fluctúan entre -1 y 1, y están en función de la energía absorbida. Cuando los valores son mayores a cero, es porque existe vegetación viva y si presenta valores negativos representan superficies sin vegetación, que también puede ser: nieve, cuerpos de agua y rocas (Figura 5) (Poveda y Roldán, 2006).



Figura 5. Simbología del Índice de Vegetación EVI.

Obtenidos los valores EVI de forma mensual por el periodo 1990-2016 se comprobó la presente hipótesis a) Existe relación entre la oscilación de la precipitación mensual multianual con la oscilación de la vigorosidad del páramo multianual. Para ello, se aplicó la prueba estadística de correlación de Spearman y se categorizó la transición mensual de los valores. Al momento que aumentó un valor entre dos meses se estableció una variable dummy con valor (1), y cuando se redujo un valor entre dos meses se estableció un variable dummy con valor (2).

Posteriormente se aplicó la ecuación de Grubbs (Ecuación 2) y se comprobó la presente hipótesis a) existe datos anómalos entre los promedios EVI de los tres ecosistemas durante el periodo 2000-2016 y en los periodos 2009-2010 y 2014-2015.

$$gmax = \frac{x - \hat{x}}{\sigma} \quad (2)$$

Donde:

$\sigma$ = desviación estándar

$\hat{x}$ = promedio

x= valor considerado anómalo

## Resultados y discusión

Se presentó una variación mensual y anual en los valores del índice de vegetación EVI en la cobertura páramo. Para el periodo 2000-2016 los valores EVI, en general del páramo, mensualmente mantienen una tendencia y una distribución espacial. El análisis temporal confirma que se alcanzó la cúspide de EVI al mismo tiempo que en la precipitación (Figura 6). En efecto, la precipitación y EVI alcanzaron sus máximos valores en abril y noviembre. Sin embargo, la presencia de única época lluviosa durante todo el año ocasiona que la variabilidad mensual del EVI sea mínima.



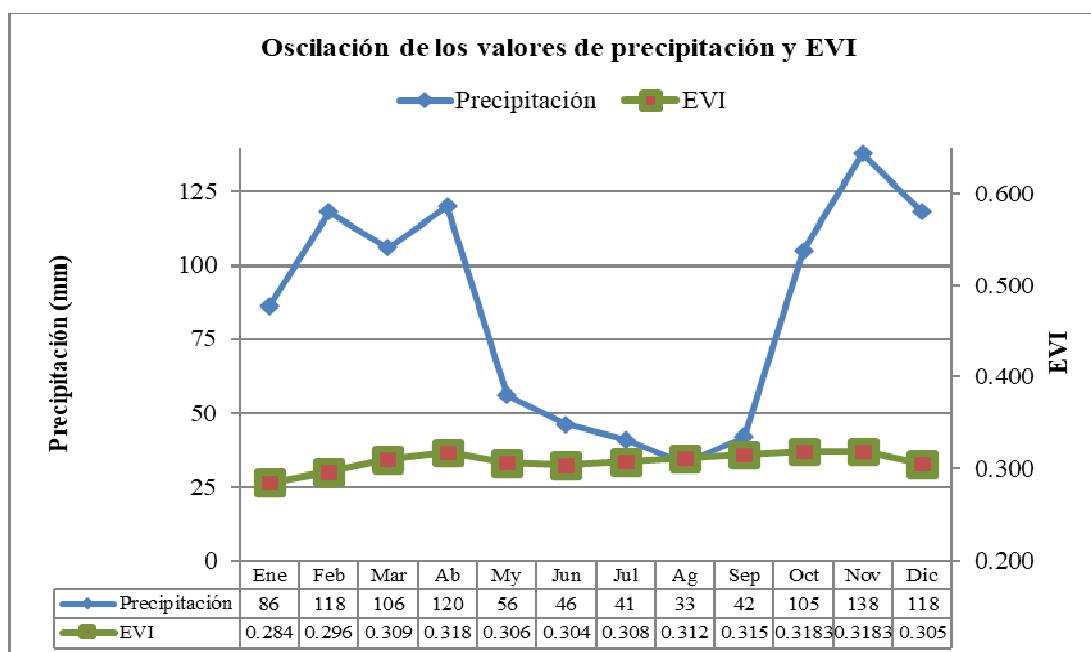


Figura 6. Oscilación de los valores de precipitación y EVI para el periodo 2000-2016.

De este modo, se observó que la variación de valores para ambos casos, precipitación y EVI, es muy similar. Por ejemplo, se observó que en la transición de enero a febrero aumentaron tanto los valores de precipitación como los valores del coeficiente EVI. Esta relación se comprobó para la transición entre todos los meses gracias a los resultados de la prueba estadística Spearman, que presentó un nivel de significancia de 0,019 (Tabla 1). Es decir, se acepta una correlación entre el aumento y/o disminución de los valores EVI con los valores de pluviosidad. Es decir, cuando el índice EVI presenta valores altos existe alta concentración de agua lo que se traduce en vigorosidad de la planta. En consecuencia, se concluye que cuando aumenta la precipitación, aumenta el vigor en el páramo y viceversa.

Tabla 1.

*Análisis estadístico de la influencia de la precipitación sobre EVI.*

| Transición Mensual    | Precipitación |           | EVI        |           | Correlación | Nivel significancia |
|-----------------------|---------------|-----------|------------|-----------|-------------|---------------------|
|                       | Transición    | Categoría | Transición | Categoría |             |                     |
| Enero – Febrero       | Aumenta       | 1         | Aumenta    | 1         | 0,691       | 0,019               |
| Febrero – Marzo       | Disminuye     | 2         | Aumenta    | 1         |             |                     |
| Marzo – Abril         | Aumenta       | 1         | Aumenta    | 1         |             |                     |
| Abril - Mayo          | Disminuye     | 2         | Disminuye  | 2         |             |                     |
| Mayo – Junio          | Disminuye     | 2         | Disminuye  | 2         |             |                     |
| Junio – Julio         | Disminuye     | 2         | Aumenta    | 1         |             |                     |
| Julio – Agosto        | Disminuye     | 2         | Disminuye  | 2         |             |                     |
| Agosto – Septiembre   | Aumenta       | 1         | Aumenta    | 1         |             |                     |
| Septiembre – Octubre  | Aumenta       | 1         | Aumenta    | 1         |             |                     |
| Octubre – Noviembre   | Aumenta       | 1         | Aumenta    | 1         |             |                     |
| Noviembre – Diciembre | Disminuye     | 2         | Disminuye  | 2         |             |                     |

### Respuesta espectral a la influencia ENOS por ecosistema

Los tres ecosistemas: Herbazal del páramo (HsSn02), el Arbustal siempre verde-herbazal de páramo (AsSn01) y Rosetal caulescente-herbazal del páramo (RsSn01) presentan similar tendencia espectral EVI. Es decir, el comportamiento del vigor del páramo ha sido similar en los tres ecosistemas durante el periodo 2000-2017, con leves diferencias en los promedios espectrales.

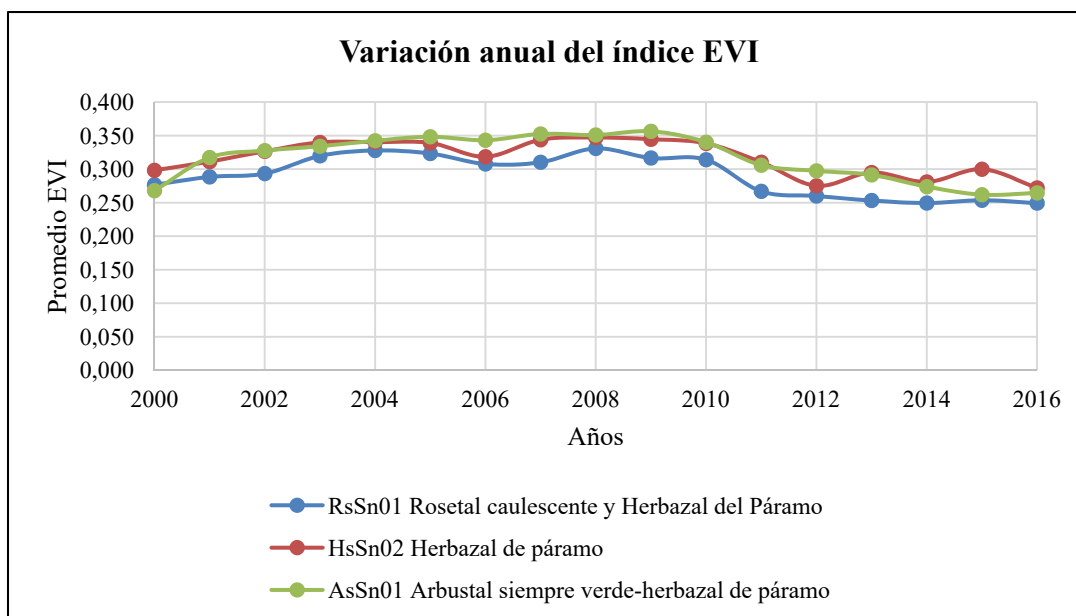


Figura 7. Promedio Anual del Espectro del Índice EVI para los ecosistemas durante el periodo 2000-2016.

Los ecosistemas HsSn02, HsSn02 presentan similar promedio espectral EVI, mientras que el ecosistema RsSn01 presenta menor respuesta espectral. Esto pese a que los tres ecosistemas se ubican entre los mismos niveles altitudinales (3400-4300 m s. n. m.). No obstante, el ecosistema Rosetal caulescente y Herbazal del páramo está ubicado en zonas más bajas, entre 3350 y 4100 m s. n. m., por lo que estaría expuesto a actividades antrópicas. De acuerdo con el Ministerio de Ambiente del Ecuador (2013), las quemas asociadas a la agricultura y ganadería extensiva han provocado disminución en la densidad de la vegetación de páramo.

Por otro lado, de acuerdo a los resultados obtenidos en la prueba estadística Grubbs, en ningún año del periodo existió anomalía en el comportamiento del vigor de los tres ecosistemas, HsSn02, HsSn0, RsSn01. Incluso no se identificó ninguna anomalía en los periodos ENOS: 2009-2010 y 2014-2015 (Tabla 2). Es decir, El Niño y la Niña no ocasionaron ninguna anomalía en el comportamiento de la vigorosidad de los ecosistemas páramo en la cuenca del río Mira.

Tabla 2.

*Análisis de datos anómalos EVI de acuerdo a la prueba de Grubbs.*

| Año         | Cob*   | Rs    | Hs    | As     | Páramo                       | Rs     | Hs     | As     |         |
|-------------|--------|-------|-------|--------|------------------------------|--------|--------|--------|---------|
|             | Páramo | Sn01  | Sn02  | Sn01   |                              | Sn01   | Sn02   | Sn01   |         |
| Valores EVI |        |       |       |        | Prueba de Grubbs calculada g |        |        |        | g       |
|             |        |       |       |        | calculado                    |        |        |        | tabular |
| 2000        | 0,281  | 0,277 | 0,298 | 0,268  | -0,920                       | -0,461 | -0,706 | -1,424 | 2,47    |
| 2001        | 0,305  | 0,289 | 0,311 | 0,317  | -0,073                       | -0,073 | -0,204 | 0,032  |         |
| 2002        | 0,315  | 0,293 | 0,327 | 0,328  | 0,276                        | 0,089  | 0,387  | 0,337  |         |
| 2003        | 0,331  | 0,320 | 0,340 | 0,334  | 0,803                        | 0,961  | 0,900  | 0,528  |         |
| 2004        | 0,336  | 0,328 | 0,340 | 0,342  | 0,992                        | 1,226  | 0,912  | 0,769  |         |
| 2005        | 0,336  | 0,323 | 0,339 | 0,348  | 0,997                        | 1,077  | 0,871  | 0,945  |         |
| 2006        | 0,323  | 0,308 | 0,319 | 0,343  | 0,524                        | 0,562  | 0,076  | 0,793  |         |
| 2007        | 0,335  | 0,310 | 0,344 | 0,352  | 0,949                        | 0,646  | 1,053  | 1,069  |         |
| 2008        | 0,343  | 0,331 | 0,347 | 0,351  | 1,204                        | 1,326  | 1,178  | 1,023  |         |
| 2009        | 0,339  | 0,317 | 0,345 | 0,356  | 1,075                        | 0,856  | 1,083  | 1,184  |         |
| 2010        | 0,330  | 0,314 | 0,338 | 0,340  | 0,790                        | 0,771  | 0,843  | 0,706  |         |
| 2011        | 0,294  | 0,267 | 0,310 | 0,306  | -0,460                       | -0,784 | -0,238 | -0,304 |         |
| 2012        | 0,277  | 0,260 | 0,275 | 0,297  | -1,037                       | -1,014 | -1,594 | -0,554 |         |
| 2013        | 0,279  | 0,253 | 0,295 | 0,291  | -0,956                       | -1,234 | -0,831 | -0,731 |         |
| 2014        | 0,268  | 0,249 | 0,281 | 0,274  | -1,361                       | -1,360 | -1,373 | -1,248 |         |
| 2015        | 0,271  | 0,254 | 0,300 | 0,262  | -1,234                       | -1,224 | -0,641 | -1,602 |         |
| 2016        | 0,262  | 0,249 | 0,272 | 0,265  | -1,570                       | -1,363 | -1,716 | -1,523 |         |
| X*          | 0,308  | 0,291 | 0,317 | 0,316  |                              |        |        |        |         |
| $\sigma^*$  | 0,0291 | 0,030 | 0,025 | 0,0339 |                              |        |        |        |         |

\*Cob=Cobertura

\*X=Promedio

\* $\sigma$ =Desviación estándar

\*\* Años con presencia del patrón climático ENOS

Se demostró que el EVI es un buen indicador para diferenciar el vigor de los ecosistemas, Herbazal del páramo (HsSn02), el Arbustal siempre verde-herbazal de páramo (AsSn01) y Rosetal caulescente-herbazal del páramo (RsSn01) ubicados en la cuenca hidrográfica del río Mira. Aun cuando los tres ecosistemas muestran valores intermedios de EVI, ninguno de estos fue estadísticamente diferente (Tabla 1). Esto coincide con lo señalado por Garreaud (2009) de que no existe influencia del Niño-Oscilación del Sur (ENSO) en la producción de precipitaciones por encima de los 2000 m s. n. m. Además, Rossel (1997), señala que la influencia del ENOS disminuye en las vertientes oriental y occidental de los Andes ecuatorianos, sectores donde están ubicados los tres ecosistemas estudiados.

## Conclusiones

La presente investigación permitió caracterizar la dinámica de la cobertura páramo y sus relaciones con la oscilación de la precipitación intra anual en una zona que posee escasos datos e información. El EVI obtenido a partir del sensor MODIS entregó información diferenciada para los distintos ecosistemas páramo en la cuenca del río Mira. Se probó que existe una relación entre la variación intra anual de la precipitación y la respuesta espectral interanual del páramo medida con el índice EVI. No obstante, no se determinó la influencia del Niño-Oscilación del Sur (ENOS) en sus dos fases (El Niño y La Niña) sobre la respuesta espectral del índice EVI.