

Dinámica espacial y temporal del Bosque Protector del cerro Montecristi, Provincia de Manabí, Ecuador

*Spatial and temporal dynamics of the Protective Forest of Montecristi,
Manabí province, Ecuador*

Recibido: 30/08/2020 Aprobado: 08/10/2020

Jimmy Cevallos Zambrano

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí
jimmy.cevallos@uleam.edu.ec

Fernando Sánchez Orellana

Universidad Pedagógica Experimental Libertador
fernando.sanchez.270488@gmail.com

Scarlet Cartaya Ríos

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí
scarlet.cartaya@uleam.edu.ec

Resumen: El cerro Montecristi, en la región costa de Ecuador es una de las áreas protegidas del país identificadas como potencialmente vulnerables al cambio climático contemporáneo y a presiones antrópicas, ya que la vegetación es un indicador del estado de los ecosistemas. Por ello el objetivo de la investigación es analizar la dinámica espacio-temporal de la cubierta vegetal en el período 1986-2015, empleando Geotecnología. Se analizaron series derivadas del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI) para determinar las variaciones de la reflectancia en puntos control en algunas de las coberturas vegetales, estas

son: bosque premontano nublado (1998-2015), bosque muy seco (1991-2015), y matorral seco (1990-2015). Posteriormente, se extrajo el NDVI de las imágenes satelitales: Landsat 5 TM (Thematic Mapper), y Landsat 8 OLI (Operational Land Imager), esto permitió identificar las coberturas del suelo y con el apoyo de un software SIG se calculó la superficie ocupada, en cada año nodal. Resultando valores de NDVI inferiores a 0,10 para áreas deforestadas; 0,10 a 0,40 para matorrales secos; 0,50 a 0,53 para bosque muy secos; 0,54 a 0,56 para bosque seco y valores superiores a 0,56 para bosque premontano nublado. Se concluye que el aumento de las coberturas áreas deforestadas y matorral seco se debe al aumento de las actividades antrópicas, como: deforestación, tala selectiva, expansión del cordón urbano y rural, factor que también explica la reducción del bosque muy seco, mientras que la conservación de los estratos superiores (bosque seco y bosque premontano nublado) estarían asociado a las oscilaciones ENOS, favorecido por la ocurrencia del fenómeno El Niño, generando condiciones húmedas en el cerro Montecristi.

Palabras clave: Cerro Montecristi, Cambio Climático Contemporáneo, Ecuador, Imágenes de Satélite, NDVI.

Abstract: The Montecristi hill, in the coastal region of Ecuador, is one of the country's protected areas identified as potentially vulnerable to contemporary climate change and anthropic pressures, since vegetation is an indicator of the state of ecosystems. Therefore, the objective of the research is to analyze the spatial-temporal dynamics of the vegetation cover in the period 1986-2015, using Geotechnology. Series derived from the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) were analyzed to determine the variations in reflectance at control points in some of the plant covers, these are: cloudy premontane forest (1998-2015), very dry forest (1991-2015), and dry scrub (1990-2015). Subsequently, the NDVI was extracted from the satellite images: Landsat 5 TM (Thematic Mapper), and Landsat 8 OLI (Operational Land Imager), this allowed to identify the ground covers and with the support of a GIS software the occupied area was calculated, in each nodal year. It turned out that NDVI values lower than 0,10 for deforested areas; 0,10 to 0,40 for dry scrub; 0,50 to 0,53 for very dry forest; 0,54 to 0,56 for dry forest and values higher than 0,56 for cloud premontane forest. It is concluded that the increase in the coverage of deforested areas and dry scrub is due to the increase in anthropic activities, such as: deforestation, selec-

tive logging, expansion of the urban and rural cordon, a factor that also explains the reduction of the very dry forest, while the conservation of the upper strata (dry forest and cloud premontane forest) would be associated with the oscillations ENSO oscillations, favored by the occurrence of El Niño phenomenon, generating humid conditions in the Montecristi hill.

Keywords: Montecristi hill, Contemporary Climate Change, Ecuador, Satellite Image, NDVI.

Introducción

En el año 2000 la superficie total de los bosque degradados en 77 países se estimó en 800 millones de hectáreas; de los cuales 500 millones de hectáreas de esos bosques se constató que la vegetación primaria se había transformado en vegetación secundaria (Organización Internacional de las Maderas Tropicales - OIMT, 2002). Los ecosistemas más amenazados en el mundo son los bosques secos tropicales. En Ecuador, los ecosistemas con menor nivel de representatividad ecológica y mayores niveles de presión antropogénica, están concentrados en la región Costa, particularmente en ambientes secos, debido principalmente a la expansión de la frontera agrícola (Sierra *et al.*, 2002). El cerro Montecristi en la provincia de Manabí es uno de estos ambientes sometidos a una alta presión de las actividades antropogénica (Dodson & Gentry, 1991). Esta área fue declarada como “Bosque Protector” bajo acuerdo ministerial N° 24 del 30 de abril de 1996. La diversidad de comunidades de plantas, la expansión del asentamiento urbano Montecristi, los esfuerzos de protección gubernamental y un alto endemismo en su reducida fracción de bosque nublado hacen que este bosque protector sea de alto interés científico.

Además de la presión antropogénica que resiste esta área protegida, el cambio climático contemporáneo parece jugar un papel determinante en la dinámica del ecosistema. Los reportes de los últimos 20 del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología expresan que, las anomalías observadas en la temperatura de la superficie mar del Pacífico ecuatorial en la región que es afectada por la Oscilación

lación Sur¹ – Niño (fase cálida) (ENOS), reportadas para 2001-2002, 2005-2006, 2008-2009, 2014-2015; con algunas manifestaciones de su fase fría o inversa del ENOS – La Niña, registrada en los años 2011, 2012, 2013 (INAHMI, 2014). El cerro Montecristi al igual que el sur de Manabí, por encontrarse ubicado en los límites de migración latitudinal de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) es ampliamente vulnerable a éste fenómeno climático (Pourrut, P., 1983).

En el monitoreo de cambios ambientales a escala regional, la teledetección ha sido fundamental, ya que permite abarcar amplias áreas con mayor precisión, así como acortar los lapsos de control (Ruecker *et al.*, 2007). En la actualidad, existe una diversidad de técnicas, dentro de las cuales destaca la del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada o mejor conocido por su acrónimo en inglés NDVI (Mambo & Archer, 2007). El NDVI captura la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja. Principalmente, se basa en el contraste marcado entre la fuerte absorción en el espectro visible (400 nm a 700 nm) y una fuerte reflectancia en el infrarrojo cercano (750 a 2600 nm) que caracterizan de forma exclusiva la presencia de la actividad fotosintética de la vegetación (Tucker, 1979). Este índice se utiliza en gran medida para identificar y cuantificar áreas degradadas (Barrow, 1991), ya que permite indicar mejoras y deterioros de la cobertura vegetal. Igualmente, la estimación puntual o series de tiempo de éste índice, facilita la identificación de los efectos de la variabilidad climática contemporánea sobre los ecosistemas e inferir tendencias a largo plazo del estado de la vegetación.

En este sentido, el objetivo de esta investigación es estimar los cambios de la cobertura vegetal generados por el cambio climático contemporáneo y la presión antrópica. Para ello se empleó información multitemporal generada del análisis e interpretación de la extracción del NDVI de las imágenes de satelitales Landsat,

¹El Niño, Oscilación del Sur (ENOS), corresponde a un evento climático natural que se desarrolla en el océano Pacífico ecuatorial central, la fase cálida de ENOS conocida como El Niño se manifiesta, principalmente, por un aumento de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) y una disminución de los vientos alisios en el lado este del océano Pacífico. Estas condiciones anómalas generan fuertes precipitaciones y cambios notables en el clima y las pesquerías, tanto en los países ribereños del Pacífico sudoriental, como en otras partes del mundo. La fase inversa o fría de ENOS, conocida como La Niña, se caracteriza por presentar TSM más frías que lo normal, intensificación de los vientos alisios en el este del océano Pacífico y períodos de sequía (Avaria, *et al.*, 2014: 13).

con el propósito de facilitar el monitoreo de los cambios producidos en la cobertura vegetal del cerro Montecristi, esto favorece la toma de decisiones y medidas gubernamentales para prevenir actividades antropogénicas insustentables.

Materiales y métodos

Área de estudio

El Bosque Protector Cerro Montecristi se encuentra a 12 Km al este de Manta, ubicado en el extremo occidental de Ecuador (figura 1). Tiene una extensión de 560,58 Ha (sólo el cerro Montecristi). Se trata de una elevación tectónica en la cual se desarrolla un bosque seco tropical (Holdridge, 1967). La base de este cerro está sobre los 150 m.s.n.m., siendo su máxima elevación 443 m.s.n.m, orienta el drenaje en forma radial; en donde hay presencia de quebradas, surcos, cárcavas y canales fluctuantes de escorrentía de agua de lluvia. Geoastronómicamente, se localiza. Entre $01^{\circ} 02'30''$ a $01^{\circ} 03'59''$ de latitud sur y entre $80^{\circ} 39'47''$ a $80^{\circ} 42'19''$ de longitud oeste.

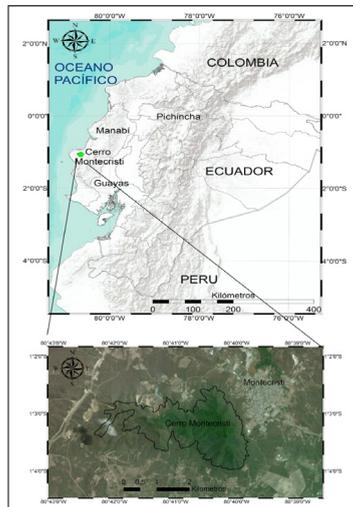


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

La temperatura media anual es de 25 °C y la precipitación anual es de 364 mm, sin embargo, los montos de precipitación se encuentran subestimados, debido a que este cerro experimenta un fenómeno excepcional, durante gran parte del año, incluyendo el periodo de sequía, se trata de la presencia de un manto de nubes que se posa sobre los últimos 100 m del cerro, conformando un aporte considerable de humedad. Este fenómeno ya había sido descrito por Dodson & Gentry (1991), aseguran que el cerro representa una barrera orográfica a los vientos generales y locales, generando un punto de saturación casi permanente a partir 300 m.s.n.m. En consecuencia, el cerro Montecristi presenta un marcado gradiente, que se distingue por el desarrollo de vegetación rala y seca, en su base, hasta un bosque nublado en el tope.

Fuente de datos

Coberturas del suelo en años nodales

La principal fuente de datos para esta investigación fueron las imágenes de los satélites Landsat 5 TM (Thematic Mapper) y Landsat 8 OLI (Operational Land Imager) liberadas y descargadas de Earth Explorer del Servicio Geológico de los Estados Unidos (Unite State Geological Survey - USGS); estas imágenes fueron corregidas geométrica y radiométricamente (pre-procesamiento). El periodo analizado abarca dos años nodales para el análisis, agosto 1986 y agosto 2015. Agosto es el mes que corresponde al período seco, precisamente, cuando el cerro Montecristi está más despejado.

Para determinar los cambios producidos entre dos fechas de referencia para evaluar la dinámica a largo plazo de un determinado (crecimiento urbano, deforestación, expansión agrícola), las imágenes suelen adquirirse con un cierto lapso temporal (varios años), pero en la misma estación, de esta forma se logra minimizar el efecto de los factores externos al cambio (Singh, 1986; Mouat *et al.*, 1993; Eastman *et al.*, 1994, citados por Chuvieco, 1998).

Variación temporal de NDVI

Para la determinación de los patrones temporales, se seleccionaron puntos de control en el bosque premontano nublado, bosque muy seco y matorral seco,

y a partir del NDVI producto validado y corregido de Climate Engine (2016), se obtuvieron datos promedios de para varios periodos, estos son: 1998 – 2015 para el bosque premontano nublado, 1991 – 2015 para el bosque muy seco y 1990 -2015 para la matorral seco. Climate Engine es una aplicación a escala planetaria de datos científicas de la tierra que utiliza la interfaz de la nube de Google Earth Engine, sobre la colección de datos Landsat integrados con datos LiDAR (Light Detection and Ranging), a las cuales se le excluyeron los datos de la curva analítica para eliminar la influencia de la cobertura de nubes.

Procesamiento de las imágenes Landsat

El procesamiento de las imágenes se realizó mediante el programa ArcGIS 10.4.1., el cual facilitó la identificación de la cobertura del suelo de las imágenes Landsat, cuantificar el deterioro y mejoría de la vegetación, estimar áreas deforestadas y la elaboración de la cartografía.

Determinación del NDVI

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), estima parámetros de vegetación de la superficie terrestre de satélite, basado en las propiedades espectrales de la vegetación; la vegetación absorbe la luz visible, usando la energía para la fotosíntesis, y refleja radiación infrarroja cercana (NIR) (Rouse *et al.*, 1973; Tucker, 1979). Por lo tanto este índice se determina con la siguiente operación de bandas:

$$NDVI = ((R_{IRC} - R_{R,vis}) / (R_{IRC} + R_{R,vis})) \text{ (Rouse } et al., (1973))$$

Donde R_{IRC} es la reflectancia espectral del infrarrojo cercano y $R_{R,vis}$ es la reflectancia espectral de la banda roja del espectro visible.

Los valores de NDVI van de -1 a +1. Las áreas de roca estéril, arena o nieve suelen mostrar valores de NDVI bajos (0,10 o menos). La vegetación escasa, como arbustos y pastizales presentan valores moderados (0,20 a 0,50), los valores altos del NDVI (0,60 a 0,90) corresponden a vegetación densa como bosques en su crecimiento máximo (USGS, 2020).

Es posible percibir que el contenido de biomasa obedece a una pauta definida, donde la disminución de la precipitación entre un año a otro, puede que el bosque experimente un cambio en su cobertura, mientras que cambios aún

más estructurales puedan considerarse como una forma de degradación de la vegetación.

Validación del NDVI

Cuando se analiza a lo largo del tiempo, el NDVI puede revelar dónde está prosperando la vegetación y dónde está sometida a estrés, así como los cambios en la vegetación debido a actividades humanas como la deforestación, perturbaciones naturales como incendios forestales o cambios en la etapa fenológica de las plantas (USGS, 2020). Los cambios pueden delimitarse a partir de la clasificación, puede optarse por discriminar clases en cada fecha, y luego compararlas (Chuvioco, 1998).

A fin de dar validez a los ecosistemas representados se procedió estimar valores del NDVI en cada una de las áreas, se estableció que, valores inferiores a 0,10 para áreas deforestadas; 0,10 a 0,040 para matorrales secos; 0,50 a 0,53 para bosque muy secos; 0,54 a 0,56 para bosque seco y valores superiores a 0,56 para bosque premontano nublado. Para ello fue necesaria la integración del NDVI de Landsat, datos de Climate Engine (2016), información topográfica y el trabajo de campo, en donde se tomaron coordenadas en distintos ambientes del área de estudio y posteriormente, se compararon con los valores del NDVI.

Resultados y discusión

Variación temporal de los valores del NDVI

La alta nubosidad en el área de estudio durante gran parte del año no permitió observar a detalle la fase fenológica de la vegetación durante todo un año, por lo que se tienen datos del NDVI a intervalos discontinuos, obtenidos mediante puntos de control en tres sectores; a) bosque premontano nublado (-80,6693E,-1,0557N), b) bosque muy seco (-80,6767E,-1,0506N) y c) matorral seco (-80,6724E,-1,0415N).

En la figura 3, se observa que el bosque premontano nublado presenta poca variación de los valores del NDVI. En los periodos secos, los valores son superiores a 0,50 característico de los ecosistemas boscosos, mientras que en periodos lluviosos los valores del NDVI pueden alcanzar 0,89 como una respuesta a

una mayor actividad fotosintética. Se observa que todos los valores están sobre un NDVI de 0,5 y este tiende a alcanzar y en muchos casos a superar NDVI de 0,8 en los años donde se manifestó el fenómeno El Niño. Por lo que se puede afirmar que este bosque es una vegetación densa siempre verde y vigorosa, aún durante el periodo seco anual y el fenómeno inverso (La Niña).

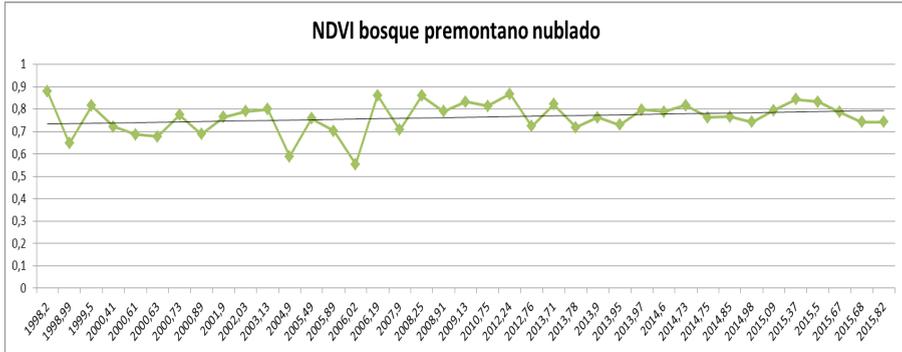


Figura 3. Serie de tiempo del NDVI en bosque premontano nublado. Datos extraídos de Climate Engine (2016).

El bosque muy seco (figura 4) presenta mayor variabilidad de los valores del NDVI. En los periodos secos los valores suelen estar entre 0,2 y 0,3, mientras que en periodos lluviosos los valores promedio oscilan entre 0.5 y 0.7, llegando a superar 0,8 del NDVI, en los años Niños. Durante el periodo seco se aprecia entre las plantas suelos desnudos y caída de hojas (caducifolia), en cambio en la época lluviosa recobra densidad y vitalidad. Este ecosistema presenta mayor susceptibilidad a la sequía, donde se experimenta un cambio temporal en la cobertura vegetal, sin perder su condición originaria, esto como producto de la variabilidad climática contemporánea ENOS.

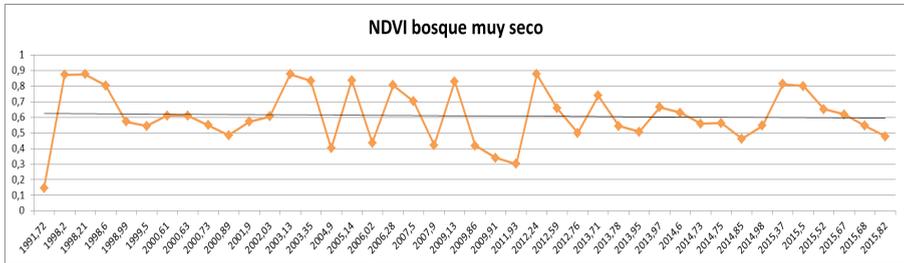


Figura 4. Serie de tiempo del NDVI en bosque muy seco. Datos extraídos de Climate Engine (2016).

Las áreas de matorral seco (figura 5), presentan variaciones del NDVI que van desde 0,10 en periodos secos hasta 0,80 en periodos lluviosos. Esta cobertura en condiciones normales arroja valores de NDVI que van desde 0,10 y no llegan a alcanzar 0,50, ya que se trata de un ecosistema que se caracteriza por ser dispersa y de escaso follaje. Sin embargo, esta cobertura logra alcanzar valores de NDVI de 0,80 justo en los periodos atribuidos al desarrollo del fenómeno El Niño. Se observa que el matorral seco a partir del año 2007, se reducen los valores del NDVI, oscilando entre 0,10 y 0,40. Esta abrupta variación no parece corresponder a cambios notables del régimen de precipitación, sino a un cambio de cobertura asociado a la degradación del ecosistema, a la deforestación selectiva o tala selectiva, expansión desordenada del cordón del asentamiento urbano Montecristi y áreas rurales aledañas (Baque y Baque, 2019).

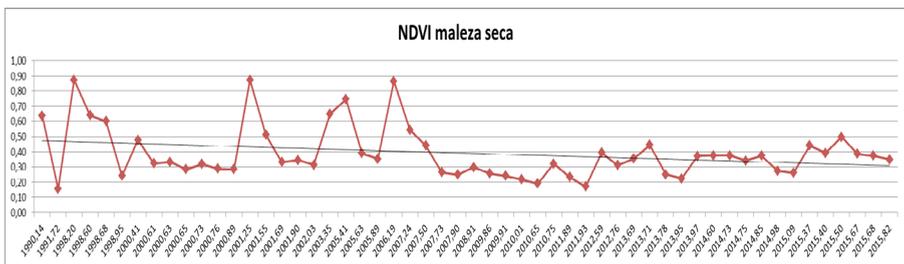


Figura 5. Serie de tiempo del NDVI en matorral seco. Datos extraídos de Climate Engine (2016).

Cambios de cobertura del suelo entre 1986-2015

En la figura 2, se muestran los ecosistemas representados para agosto de 1986 y agosto de 2015. las áreas deforestadas, con suelos desnudos y parcialmente desnudos, han pasado de 20,1 a 40,2 hectáreas, posiblemente, debido a la expansión urbana, el aumento de algunas actividades rurales como la tala (ACBIO, 2012) y a los deslizamientos de masas en el pie de monte. Los cambios drásticos de cobertura se experimentan en los estratos más bajos del cerro, como la cobertura de bosque muy seco se ha reducido de 222,3 a 172,2 degradándose a matorral seco. Finalmente el bosque premontano nublado (últimos 100 metros superiores del cerro) presenta un leve cambio, contraendose alrededor de 1 hectáreas (tabla 1), con respecto a la estimación obtenida para 1986. Un comportamiento similar lo presenta el bosque seco. La conservación de los estratos superiores posiblemente se deba a la ocurrencia del fenómeno de El Niño.

Tabla 1. Superficie en hectáreas por cobertura del suelo del Bosque Protector Cerro Montecristi para los años 1986 y 2015.

Cobertura	Superficie (Ha)	
	1986	2015
Áreas deforestadas	20,1	40,2
Matorral seco	136,6	171,1
Bosque muy seco	222,3	172,2
Bosque seco	108,9	107,5
Bosque premontano nublado	62,2	61,1

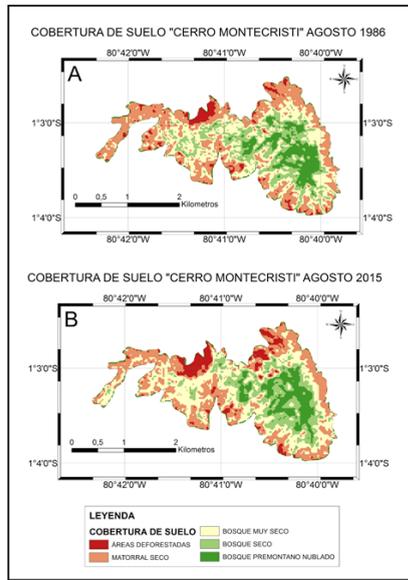


Figura 2. Coberturas del suelo del “Cerro Montecristi” para agosto - 1986 y agosto - 2015.

La combinación del NDVI de Landsat y el trabajo de campo fue clave para el mapeo de los cambios de coberturas entre 1986-2015. Estos cambios se deben a una dualidad entre ocurrencia de eventos ENOS, principalmente el fenómeno de El Niño (1972-1973; 1976, 1982-1985; 1997-1998; 2001-2002; 2005-2006; 2008-2009; 2014-2015) (Comisión Permanente del Pacífico Sur – Secretaría General (Junio, 2014); Thielen *et al*, 2015) y la presión antropogénica.

En cuanto al fenómeno de El Niño, Thielen *et.al.* (2016), señalan que entre 1971 y 2011, la ocurrencia de eventos húmedos estaban asociada a eventos ENOS de fuertes a muy fuertes, como fueron los eventos climáticos de El Niño 1972-73, 1976, 1982-83 y 1997-98. En el caso específico de El Niño 1997-98, este ocasionó una condición extremadamente húmeda durante 12 meses continuos, afectando más del 58 % de la cuenca del río Portoviejo. Por otra parte, el bosque premontano nublado es ampliamente resiliente a la sequía por lo que poco se ve afectado en los eventos climáticos secos tipo “La Niña”.

Los estratos superiores del cerro Montecristi (bosque premontano nublado y bosque seco) relativamente han mantenido su superficie durante las últimas 3 décadas, la cual está asociada, principalmente, a las condiciones húmedas generadas por la ocurrencia del fenómeno de El Niño.

Condiciones, anormalmente, húmedas en los últimos 100 metros superiores del cerro se deben a un extraordinario fenómeno, durante gran parte del año un manto de nube que se posa en la cumbre del cerro proveyendo de humedad durante gran parte del año, incluyendo el periodo seco (Dodson y Gentry, 1991). Estas condiciones descritas anteriormente ayudan a explicar cómo la cobertura boscosa, tiende a expandirse aun cuando para la región prevalece la condición seca.

Los estratos más bajos (bosque seco y matorral seco) los cambios de cobertura no están asociados necesariamente a la variabilidad climática sino a la presión antropogénica, producto de la expansión de la comunidad Montecristi. La reducción del bosque muy seco y expansión de la matorral seco está asociada a un proceso de tala selectiva de las especies leñosas, las cuales son aprovechadas indiscriminadamente para la alimentación de hornos artesanales y la expansión de la actividad ganadera caprina. Se estima que las áreas deforestadas han pasado de 20 a 40 hectáreas en los últimos 30 años, a pesar de la figura jurídica de protección del cerro. Lo cual se le suma, los deslizamientos de masa en el pie de monte del cerro, justo donde prevalece el material poco consolidado, que bajo condiciones de humedad y atraídos por la gravedad colapsan.

Conclusiones

El análisis de series temporales de NDVI de largo plazo (30 años aproximadamente) en las coberturas vegetales del cerro Montecristi permitió identificar patrones temporales asociados a ENOS.

Los valores NDVI obtenidos con datos de satélite de alta resolución temporal como las Landsat, tienen una gran relación con las fases fenológicas de las coberturas vegetales, específicamente en fase húmeda. Con lo cual se afirma que el NDVI demostró ser sensible a valores extremos, producto en el caso de estudio de la presencia de un período importante de humedad.

Las coberturas del suelo del Bosque Protector presentan cambios entre 1986 y 2015, están asociados a las actividades antrópicas, así como a los eventos ENOS y condiciones climáticas locales.

Referencias

- ACBIO (2012). **Plan de acción del biocorredor Bosque Protector Montecristi, Sangán, Cantagallo: biocorredores para el buen vivir**. Ecuador, Portoviejo, p. 36.
- Avaria, S., Carrasco, J., Rutlilant, J. y Yáñez, E. (eds.). (2004). **El Niño-La Niña 1997-2000. Sus Efectos en Chile**. CONA, Chile, Valparaíso. pp. 13-27.
- Barrow, C.J. (1991). **Land Degradation: Development and breakdown of terrestrial environments**. Cambridge University Press, Cambridge, p.295.
- Baque, J. y Baque, S. (2019). Propuesta de zonificación de uso del suelo en el cantón Montecristi. **Revista científica Dominios de las Ciencias**, 5 (1), 326-349.
- Chuvieco, E. (1998). **El factor temporal en teledetección: evolución fenomenológica y análisis de cambios**. Revista de Teledetección, 10, 1-9.
- Climate Engine (2016). **Climate Engine**. Desert Research Institute, University of Idaho <http://climateengine.org>
- Comisión Permanente del Pacífico Sur – Secretaría General (Junio, 2014). **Boletín de Alerta Climático 285**. Ecuador, Guayaquil.
- Dodson, C., y Gentry, A. (1991). Biological Extinction in Western Ecuador. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, 78 (2), 273-295.
- Eastman, C., Stewart, K., Mahoney, M., Liu, L. y Fogg, L. (1994). Dark goggles and bright light improve circadian rhythm adaptation to night-shift work. **Sleep**, 17, 535-543.
- Holdridge, L. (1967). **Life zone ecology**. Tropical Science Center, San José, Costa Rica. pp.206.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAHMI) (2014). **Anomalías de precipitación en el Ecuador continental e insular durante los años 2007 al 2014**. Quito, Ecuador, pp 17.

- Mambo, J. & Archer, E. (2007). An assessment of land degradation in the Save catchment of Zimbabwe. **Area**, 39 (3), 380-391.
- Mouat, D.A., Mahin, G.C. & Lancaster, J. (1993). Remote sensing techniques in the analysis of change detection. **Geocarto International**, 2, 39-50.
- Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT) (2002). **Guidelines for the restoration, management and rehabilitation of degraded and secondary tropical forests**. ITTO Policy Development Series No. 13. Yokohama, Japón, Disponible en: www.itto.int/policypapers_guidelines/.
- Pourrut, P. (1983). **Los climas de Ecuador: fundamentos explicativos**. Ecuador, Quito: ORSTOM y PRONATREG.
- Rouse, J. W.; Hass, R. H.; Schell, J. A. and Deering, D. W. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **Third ERTS Symposium**, 1, 309-317.
- Ruecker, G.R., Shi, Z., Mueller, M., Conrad, C., Ibragimov, N., Lamers, J.P.A., Martius, C., Strunz, G. & Dech, S.W. (2007). **Cotton yield estimation in Uzbekistan integrating MODIS, Landsat ETM+ and field data**. Disponible en: URL:<http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/8-W48/123-XXXVI-8-W48.pdf>, pp.123-128.
- Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) (2010). **NDVI, la fundación para la fenología de la teledetección** Disponible en: https://www.usgs.gov/core-science-systems/eros/phenology/science/ndvi-foundation-remote-sensing-phenology?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects (Accedido el 04/10/2020)
- Sierra, R., Campos, F. y Chamberlin, J. (2002). Assessing biodiversity conservation priorities: ecosystem risk and representativeness in continental Ecuador. **Landscape. Urban Plan**, 59, 95– 110.
- Singh, A. (1986). Change detection in the tropical forest environment of north-eastern India using Landsat. En: M.J. Eden y J.T. Parry, (Eds). **Remote sensing and tropical land management**, Chichester, Reino Unido, John Wiley, pp. 237–254.
- Thielen, D. Cevallos, J., Erazo, T., Zurita, I., Figueroa, J., Velásquez, G., Matute, N., Quintero, J., y Puche, M. (2015). Dinámica de los eventos climáticos extremos en la cuenca del río Portoviejo, Manabí, Ecuador. **La Técnica:**

Revista de las Agrociencias, (14), 80-91.

- Thielen, D., Cevallos, J., Erazo, T., Zurita, I., Figueroa, J., Velásquez, G., Matute, N., Quintero, J., y Puche, M. (2016). Dinámica espacio-temporal de las precipitaciones durante el evento de El Niño 97/98 en la cuenca de Río Portoviejo, Manabí, costa ecuatoriana del Pacífico. **Revista de climatología**, 16, 35-50.
- Tucker, C.J., Townshend, J.R., & Goff, T.E. (1985). African land-cover classification using satellite data. **Science**, 227, 369-375.
- Tucker, J. C. (1979). Red and Photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, 8 (2), 127-150.