

Dinámica de la vegetación y variabilidad pluviométrica en la cuenca del río Portoviejo

Vegetation dynamics and climate variability in the Portoviejo river basin

Dinâmica da vegetação e variabilidade climática na bacia do rio Portoviejo

Karol K. Cuenca Zambrano^{1*} y Henry A. Pacheco Gil²

¹Estudiante de la Maestría en Ingeniería Agrícola, Instituto de Postgrado, Universidad Técnica de Manabí. Correo electrónico: karolkkez@gmail.com, .

²Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Técnica de Manabí. Correo electrónico: henrypacheco@gmail.com, .

Resumen

El cambio climático actualmente es un problema a nivel mundial, ya que incide de forma significativa en la dinámica de la vegetación. El objetivo de esta investigación es analizar la influencia de la variabilidad climática en la dinámica de la vegetación en la cuenca del río Portoviejo. La metodología consistió en el cálculo del NDVI con el uso de imágenes multiespectrales del satélite Landsat y el análisis de los registros pluviométricos. Las imágenes se descargaron de la plataforma geoespacial EarthExplorer con una resolución espacial de 30 m, se seleccionaron imágenes del período 1998-2019 para analizar su tendencia temporal. Se usaron los registros pluviométricos históricos de la estación Portoviejo, del Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología. Los resultados mostraron que la vegetación experimentó una tendencia de reverdecimiento discontinua, influenciada por la variabilidad de las precipitaciones. Se encontró una tendencia homogénea en la distribución espacial del NDVI, con densa y muy densa cobertura vegetal en la parte alta de la cuenca, así como escasa y nula cobertura en la parte baja. El área de mayor cobertura le correspondió a la vegetación densa con un porcentaje superior al 30%.

Palabras clave: Landsat, cambio climático, Cobertura de los suelos, SIG.

Recibido el 18-11-2020 • Aceptado el 21-12-2020

*Autor de correspondencia. Correo electrónico: kcuenca3767@utm.edu.ec

Abstract

Climate change is currently a global problem, as it significantly affects the dynamics of vegetation. The objective of this research is to analyze the influence of climate variability on the dynamics of vegetation in the Portoviejo river basin. The methodology consisted in the calculation of the NDVI with the use of multispectral images from the Landsat satellite and the analysis of the fluviometric records. The images were downloaded from the Earth Explorer geospatial platform with a spatial resolution of 30 m, images from the period 1998-2019 were selected to analyze their temporal trend. The historical fluviometric records of the Portoviejo station, of the National Institute of Hydrology and Meteorology were used. The results showed that the vegetation experienced a discontinuous greening trend, influenced by the variability of rainfall. A homogeneous trend was found in the spatial distribution of the NDVI, with dense and very dense vegetation cover in the upper part of the basin, as well as little or no cover in the lower part. The area with the greatest coverage corresponded to dense vegetation with a percentage higher than 30%.

Keywords: Landsat, climate change, Land cover, GIS.

Resumo

A mudança climática é atualmente um problema global, pois afeta negativamente a dinâmica da vegetação. O objetivo desta pesquisa é analisar a influência da variabilidade climática na dinâmica da vegetação na bacia do rio Portoviejo. A metodologia consistiu no cálculo do NDVI com o uso de imagens multiespectrais do satélite Landsat e na análise dos registros pluviométricos. As imagens foram baixadas da plataforma geoespacial EarthExplorer com resolução de 30 m, as imagens foram selecionadas no período de 1998 a 2019 para analisar sua tendência temporal. Foram utilizados os registros pluviométricos históricos da estação Portoviejo, do Instituto Nacional de Hidrologia e Meteorologia. Os resultados mostraram que a vegetação experimentou uma tendência de esverdeamento descontínuo, influenciado pela variabilidade das chuvas. Foi encontrada uma tendência homogênea na distribuição espacial do NDVI, com cobertura vegetal densa e muito densa na parte superior da bacia, bem como pouca ou nenhuma cobertura na parte inferior. A área de maior cobertura correspondeu a vegetação densa com percentual superior al 30%.

Palavras-chave: Landsat, mudanças climáticas, cobertura do piso, GIS.

Introducción

El cambio climático es un fenómeno global, su dinámica y escala han superado los aspectos ecológicos, donde la energía de combustión fósil, actividades industriales, cambios de uso de suelo, deforestación y la degradación de vegetación son fuentes de gases de efecto invernadero (Quintana, 2017). A nivel mundial los agricultores están amenazados por el aumento de las temperaturas y cambios patronales de lluvia y se plantean estrategias para mitigar los daños, mediante el uso de prácticas de adaptación de ecosistemas, conservación de suelos y biodiversidad (Cadena *et al.*, 2019). Las actividades humanas y los fenómenos climáticos en Latinoamérica son elementos determinantes de la variabilidad de la vegetación (Millano y Paredes, 2016).

En Ecuador debido a los cambios climáticos, existen aumentos de temperatura en la región litoral y reducciones en la precipitación en el centro norte de la provincia de Manabí (Macías *et al.*, 2019). En la provincia de Chimborazo se determinó que la cobertura vegetal y el uso del suelo están expuestos a cambios climáticos que inciden en la modificación de las precipitaciones y temperaturas y se ve afectada por el ganado y quema de pajonal (Paula *et al.*, 2018). Los patrones de cambio espacial y temporal de la cubierta vegetal cuantifican los efectos de cambio climáticos e impacto humano (Shengzhi *et al.*, 2020). La dinámica de la vegetación muestra que las actividades humanas conducen a la degradación de la vegetación en la

Introduction

Climate change is a global phenomenon, its dynamics and scale have exceeded ecological aspects, where fossil combustion energy, industrial activities, changes in land use, deforestation and degradation of vegetation are sources of greenhouse gases (Quintana, 2017). At a global level, farmers are threatened by rising temperatures and changes in rainfall patterns and strategies are being proposed to mitigate the damage, using ecosystem adaptation practices, soil conservation and biodiversity (Cadena *et al.*, 2019). Human activities and climatic phenomena in Latin America are determining elements of the variability of the vegetation (Millano and Paredes, 2016).

In Ecuador, due to climatic changes, there are temperature increases in the coastal region and reductions in precipitation in the north-central province of Manabí (Macías *et al.*, 2019). In the province of Chimborazo, it was determined that vegetation cover and land use are exposed to climatic changes that affect the modification of rainfall and temperatures and is affected by livestock and burning of grasslands (Paula *et al.*, 2018). The patterns of spatial and temporal change of the vegetation cover quantify the effects of climatic change and human impact (Shengzhi *et al.*, 2020). Vegetation dynamics shows that human activities lead to degradation of vegetation in the agricultural area (Hongshuai *et al.*, 2019). In this sense, remote sensing is a useful tool for studying

zona agrícola (Hongshuai *et al.*, 2019). En este sentido la teledetección es una herramienta útil para el estudio de la dinámica temporal del cambio climático y su impacto en la vegetación (Zoran *et al.*, 2016).

La evaluación de la productividad primaria, basada en píxeles, se puede utilizar para mejorar las estimaciones y conocer cómo la vegetación cambia con el tiempo y el espacio (Vega y Alvarado, 2019). La dinámica de la biomasa a largo plazo en las tierras secas es de gran importancia para muchas aplicaciones ambientales (Feng *et al.*, 2016).

En numerosas investigaciones, los sensores remotos han permitido realizar análisis del comportamiento promedio temporal o espacial del Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) y su tendencia (Salinas *et al.*, 2017).

El NDVI es empleado como un indicador de las condiciones de la vegetación para analizar cambios espaciales y temporales (Lijun *et al.*, 2020). El uso de datos espaciales y herramientas de Sistemas de Información Geográfica (GIS, por sus siglas en inglés), determinan la evolución espacio - temporal de sostenibilidad del cambio de la vegetación (Yan-Ling *et al.*, 2020).

El NDVI fue desarrollado matemáticamente para medir la cantidad y el estado de vigorosidad de la vegetación sobre el suelo (Feng *et al.*, 2016). Por lo tanto, el objetivo es analizar la dinámica de la vegetación y sus relaciones con el cambio climático mediante la evaluación del

the temporal dynamics of climate change and its impact on vegetation (Zoran *et al.*, 2016).

The pixel-based assessment of primary productivity can be used to improve estimates and understand how vegetation changes over time and space (Vega and Alvarado, 2019). Long-term biomass dynamics in drylands is of great importance for many environmental applications (Feng *et al.*, 2016).

In numerous investigations, remote sensors have allowed analysis of the average temporal or spatial behavior of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and its trend (Salinas *et al.*, 2017).

The NDVI is used as an indicator of vegetation conditions to analyze spatial and temporal changes (Lijun *et al.*, 2020). The use of spatial data and Geographic Information Systems (GIS) tools determine the spatial-temporal evolution of the sustainability of vegetation change (Yan-Ling *et al.*, 2020).

The NDVI was developed mathematically to measure the amount and vigor state of the vegetation on the ground (Feng *et al.*, 2016). Therefore, the objective is to analyze the dynamics of vegetation and its relationships with climate change by evaluating the NDVI in the Portoviejo river basin and to understand its temporal trend and guarantee the conservation of soil-water resources, flora and fauna.

Materials and methods

Characteristics of the study area

The present investigation was carried out in the Portoviejo river

NDVI en la cuenca del río Portoviejo y para entender su tendencia temporal y garantizar la conservación de los recursos suelo-agua, flora y fauna.

Materiales y métodos

Características del área de estudio

La presente investigación se realizó en la cuenca del río Portoviejo con una superficie de 2133 km². Se encuentra ubicada en la región Costa de la provincia de Manabí, entre los cantones: Pichincha, Bolívar, Santa Ana, 24 de Mayo, Olmedo, Jipijapa, Portoviejo, Rocafuerte y Sucre, en la parte centro occidental del Ecuador. (figura 1).

basin with a surface area of 2,133 km². It is in the Coastal region of the Manabí province, between the cantons: Pichincha, Bolívar, Santa Ana, 24 de Mayo, Olmedo, Jipijapa, Portoviejo, Rocafuerte and Sucre, in the central western part of Ecuador (Figure 1).

Hydrographically this basin limits to the north with the Chone river basin, to the south with the Jipijapa river, Bravo river and Manta river basins; to the east with the Guayas hydrographic demarcation and to the west with the Pacific Ocean and the Jaramijó and Pajonal river basins. The Portoviejo river basin maintains a dry forest towards the northeast in the middle part, as a consequence of

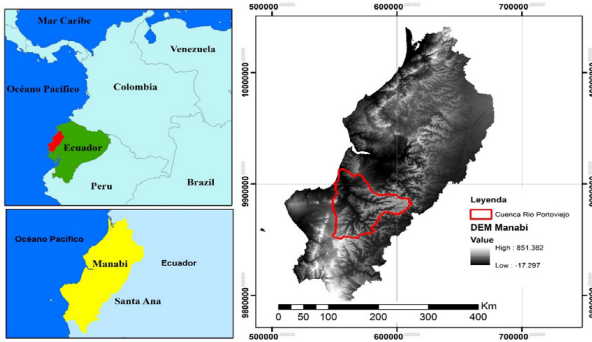


Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Portoviejo en la provincia de Manabí.

Figure 1. Location of the Portoviejo river basin in the province of Manabí.

Fuente de datos: Eurostat (Oficina Europea de Estadística), para la capa de países del mundo. INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) para la división político territorial de Ecuador y el IGM (Instituto Geográfico Militar) para el modelo digital de elevaciones.

Data source: Eurostat (European Statistical Office), for the world countries layer. INEC (National Institute of Statistics and Censuses) for the political territorial division of Ecuador and the IGM (Military Geographical Institute) for the digital elevation model

Hidrográficamente esta cuenca limita al norte con la cuenca del río Chone, al sur con las cuencas del río Jipijapa, río Bravo y río Manta; al este con la demarcación hidrográfica del Guayas y al oeste con el océano Pacífico y las cuencas de los ríos Jaramijó y Pajonal. La cuenca del río Portoviejo mantiene un bosque seco hacia el noreste en la parte media, como consecuencia de las condiciones climáticas de pocas precipitaciones y fuertes vientos, por otro lado, en la parte alta de la cuenca predomina un clima húmedo debido a influencia de las zonas montañosas en la condensación y formación de nubes, manteniendo condiciones de humedad que favorece la presencia de vegetación frondosa.

La cuenca presenta una topografía irregular y pendientes pronunciadas, en una buena proporción de su territorio, rodeada de relieves que alcanzan valores de 688,70 m.s.n.m. siendo la pendiente un factor de alto riesgo de pérdida de suelo por erosión hídrica.

Procesamiento de imágenes satelitales

La base de datos se construyó con imágenes de satélites Landsat cubriendo un período de 21 años, desde 1998 hasta 2019. Las imágenes se descargaron de geoportales institucionales de acceso gratuito como EarthExplorer. Para la selección de imágenes disponible en los geoportales se aplicaron filtros de ubicación del área de estudio, cobertura de nube inferior al 30 % y época del año coincidiendo con el periodo de sequía para ubicar imágenes con menor cobertura de nubes (julio- agosto)

the climatic conditions of little rainfall and strong winds, on the other hand, in the upper part of the basin a humid climate predominates due to the influence of the mountainous areas in condensation and cloud formation, maintaining humid conditions that favor the presence of lush vegetation.

The basin has an irregular topography and steep slopes, in a good proportion of its territory, surrounded by reliefs that reach values of 688.70 m.a.s.l. the slope being a high-risk factor for soil loss due to water erosion.

Satellite image processing

The database was built with images from Landsat satellites covering a period of 21 years, from 1998 to 2019. The images were downloaded from free access institutional geoportals such as EarthExplorer. For the selection of images available in the geoportals, filters were applied for the location of the study area, cloud coverage less than 30% and the time of year coinciding with the dry period to locate images with less cloud coverage (July-August).

Landsat 7 image banding correction

Landsat 7 images are characterized by their banding problems, generating gaps that cause approximately the loss of 22% of the information in each image; they are arranged in strips inclined to the left about 8° with respect to the horizontal orientation (Rodríguez *et al.*, 2009). The Landsat Toolbox was downloaded from the United States Geological Survey (USGS) (EROS, 2017). Image correction consisted of eliminating this effect by shifting the partial histograms of the image, to obtain the same average and standard

Corrección del bandeado de imágenes Landsat 7

Las imágenes de Landsat 7 se caracterizan por sus problemas de bandeado, generando *gaps* que provocan aproximadamente la pérdida de un 22 % de la información de cada imagen; están dispuestos en franjas inclinadas hacia la izquierda unos 8° respecto a la orientación horizontal (Rodríguez *et al.*, 2009). Se descargó la herramienta Landsat Toolbox del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). (EROS, 2017). La corrección de imágenes consistió en eliminar este efecto desplazando los histogramas parciales de la imagen, para obtener el mismo promedio y desviación típica (Mas, 2017). Una vez las bandas corregidas, se procedió a realizar el cálculo del Índice de vegetación de diferencia normalizada.

Cálculo de Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

En todas las imágenes se aplicó la corrección atmosférica para eliminar las interferencias debido a las condiciones atmosféricas y nubosidad (Fua y Burgher, 2015). El NDVI planteado por Rouse *et al.* (1974) se obtuvo mediante el uso de imágenes de los satélites Landsat 7 TM para 1998-2012 y Landsat 8 OLI para 2016-2019.

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{RED})}{(\text{NIR} + \text{RED})}$$

Donde:

NDVI= Índice de vegetación de diferencia normalizada

NIR= Banda infrarrojo cercano

RED= Banda roja visible

deviation (Mas, 2017). Once the bands were corrected, the calculation of the Normalized Difference Vegetation Index was carried out.

Calculation of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Atmospheric correction was applied to all images to eliminate interferences due to atmospheric conditions and cloudiness (Fua and Burgher, 2015). The NDVI proposed by Rouse *et al.* (1974) was obtained by using images from the Landsat 7 TM satellites for 1998-2012 and Landsat 8 OLI for 2016-2019.

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{RED})}{(\text{NIR} + \text{RED})}$$

Where:

NDVI = Normalized Difference Vegetation Index

NIR = Near infrared band

RED = Visible red band

The NDVI values (Table 1) for the Portoviejo river basin were grouped using as reference values proposed by Pacheco *et al.* (2020) and Ruiz and Pacheco (2020), in four classes; no vegetation, very sparse vegetation, medium vegetation, dense vegetation and very dense vegetation with their respective ranges. The calculation of the accumulated averages of the largest and smallest area for the period 1998-2019 was performed.

Fluviometric data processing

The total annual amounts of precipitation were used for the Portoviejo station from the database of the National Institute of Hydrology and Meteorology (INAMHI, 2020), for

Los valores de NDVI (Cuadro 1) para la cuenca del río Portoviejo se agruparon utilizando como valores de referencia propuestos por Pacheco *et al.* (2020) y Ruiz y Pacheco (2020), en cuatro clases; sin vegetación, vegetación muy escasa, vegetación media, vegetación densa y vegetación muy densa con sus respectivos rangos. Se realizó el cálculo de los promedios acumulados de mayor y menor superficie para el período 1998-2019.

Cuadro 1. Rangos de la reclasificación del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).

Cuadro 1. Rangos de la reclasificación del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).

NDVI	Cobertura y uso de la tierra
<0	Sin vegetación
0 – 0,2	Vegetación muy escasa
0,2 – 0,35	Vegetación media
0,35 – 0,6	Vegetación densa
>0,6	Vegetación muy densa

Procesamiento de datos pluviométricos

Se utilizaron los montos totales anuales de precipitación, para la estación Portoviejo de la base de datos del Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología (INAMHI, 2020), para los mismos años de las imágenes satelitales (1998-2019).

Modelo de correlación polinomial del NDVI y la precipitación anual

Para el modelo de correlación entre el NDVI y la precipitación, se siguió la metodología de Hongshuai *et al.* (2019), donde se analiza la vegetación y el cambio climático mediante una

the same years of the satellite images (1998-2019).

Polynomial correlation model of NDVI and annual precipitation

For the correlation model between NDVI and precipitation, the methodology of Hongshuai *et al.* (2019) was followed, where vegetation and climate change are analyzed through a partial correlation. The partial correlation was adjusted to an R^2 with a polynomial trend.

Results and discussion

Temporal and spatial variation of the NDVI

With the Landsat images, the NDVI was obtained for the different selected years of the study period (Figure 2, in graphs 2-6) in shades of green the different vegetation covers are shown and in yellowish and reddish colors the areas with little and no cover vegetable. In general, a very heterogeneous dynamics of the NDVI is observed. For the year 1998, the dense and very dense vegetation cover practically in the entire province

correlación parcial. La correlación parcial se ajustó a un R^2 con tendencia polinomial.

Resultados y discusión

Variación temporal y espacial del NDVI

Con las imágenes Landsat se obtuvo el NDVI para los distintos años seleccionados del período de estudio (Figura 2, en gráficos 2-6) en tonalidades de verde se muestran las diferentes coberturas vegetales y en colores amarillentos y rojizos las zonas con escasa y sin cobertura vegetal. En general se observa una dinámica muy heterogénea del NDVI. Para el año 1998 destaca la cobertura vegetal densa y muy densa prácticamente en toda la provincia de Manabí, debido a las elevados montos de precipitación en toda la región producto del fenómeno El Niño (Pacheco *et al.*, 2017).

of Manabí stands out, due to the high amounts of precipitation throughout the region as a result of the El Niño phenomenon (Pacheco *et al.*, 2017).

For the rest of the years (2004, 2006, 2010, 2016, 2019) a differential behavior with relatively low NDVI values is observed in the northern part of the Portoviejo river basin, coinciding with areas of low topography and semi-arid conditions close to the river mouth in the Pacific Ocean. The vegetation in these areas of the basin undergoes alteration processes, among other things due to the expansion of the agricultural frontier and unsustainable agronomic practices (Lemos, 2019).

de escasa o nula vegetación, lo cual se debe a la presencia abundante de la nubosidad que enmascara la vegetación, dando la falsa sensación de la presencia de zonas homogéneas extensas sin cobertura vegetal.

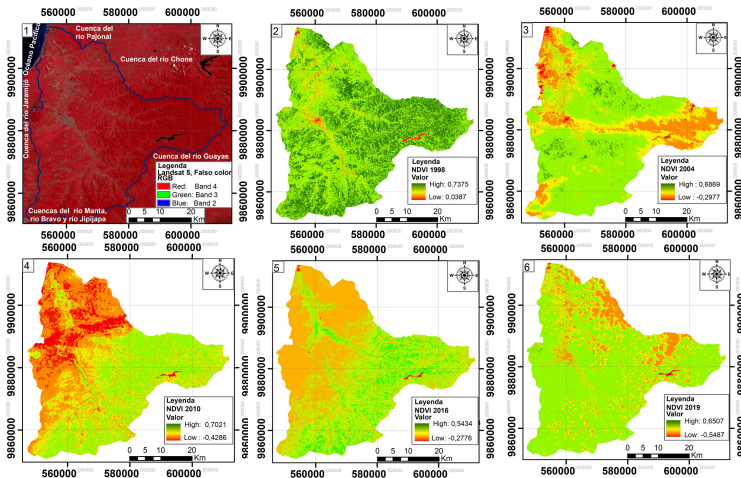


Figura 2. Distribución temporal y espacial del NDVI, en gráficos 2-6, Portoviejo – Ecuador.

Figure 2. Temporal and spatial distribution of the NDVI, in graphs 2-6, Portoviejo - Ecuador.

Para el resto de los años (2004, 2006, 2010, 2016, 2019) se observa un compartamiento diferencial con valores de NDVI relativamente bajos en la parte norte de la cuenca del río Portoviejo, coincidiendo con áreas de baja topografía y condiciones semiáridas cercanas a la desembocadura del río en el Océano Pacífico. La vegetación en estas zonas de la cuenca sufre procesos de alteración, entre otras cosas por la expansión de la frontera agrícola y prácticas agronómicas poco sostenibles (Lemos, 2019).

En el sector sur y este de la cuenca, perteneciente a la parte montañosa de la misma se concentran valores altos de NDVI para la mayoría de los años. Sin embargo, llama la atención la presencia de colores rojos en áreas homogéneas, indicativos de escasa o nula vegetación, lo cual se debe a la presencia abundante de la nubosidad que enmascara la vegetación, dando la falsa sensación de la presencia de zonas homogéneas extensas sin cobertura vegetal.

Los parches rojos distribuidos indistintamente en la parte alta y media de la cuenca, representan áreas de actividades agropecuarias variadas que impactan negativamente sobre la cobertura vegetal.

Dinámicas del NDVI y los registros pluviométricos

El NDVI desde 1998 hasta el 2019 refleja una dinámica temporal muy activa. Los resultados (Cuadro 2) mostraron que, a escala de la cuenca, la vegetación experimentó una tendencia, reportada por Hongshuai *et al.* (2019) como reverdecimiento

In the southern and eastern sector of the basin, belonging to the mountainous part of the basin, high values of NDVI are concentrated for most of the years. However, the presence of red colors in homogeneous areas is striking, indicative of little or no vegetation, which is due to the abundant presence of cloudiness that masks the vegetation, giving the false feeling of the presence of large homogeneous areas without plant cover.

The red patches distributed indistinctly in the upper and middle part of the basin, represent areas of varied agricultural activities that negatively impact the vegetation cover.

Dynamics of NDVI and fluviometric records

The NDVI from 1998 to 2019 reflects a highly active temporal dynamic. The results (Table 2) showed that, at the basin scale, the vegetation experienced a trend, reported by Hongshuai *et al.* (2019) as discontinuous greening, registering years (1998, 2004, 2019) with remarkably high average NDVI; this can be attributed to the influence of precipitation, which, with the exception of 2004, coincides with rainfall amounts above the historical average of 631.85 mm per year.

Special mention should be made of the year 1998 for showing itself as an anomaly, with precipitation records (1699 mm) almost three times the average and a NDVI (0.53), corresponding to a dense vegetation cover, much higher than the other years. This circumstance is due to the occurrence, for that year, of the most

discontinuo, registrándose años (1998, 2004, 2019) con el NDVI promedio muy alto; esto puede atribuirse a la influencia de la precipitación, que, a excepción del año 2004, coincide con montos pluviométricos por encima de la media histórica de 631,85 mm anuales.

intense El Niño phenomenon that has occurred in the Ecuadorian territory, according to Thielen *et al.* (2015) the rains and thermal anomalies were exceptional, reporting an increase in temperature of 0.44°C.

For the rest of the years studied, the NDVI oscillates in the range of

Cuadro 2. Valores de NDVI, precipitación en el período 1998 – 2019.

Table 2. NDVI values, precipitation in the period 1998 – 2019.

Año	NDVI				Precipitación (mm)
	Min.	Max.	Mean.	Std. Dev	
1998	-0,38	0,71	0,53	0,12	1699,00
2000	-0,39	0,70	0,33	0,15	342,90
2002	-0,67	0,64	0,27	0,24	713,70
2004	-0,30	0,69	0,37	0,16	359,00
2006	-0,48	0,71	0,25	0,27	408,50
2008	-0,63	0,64	0,31	0,21	670,90
2010	-0,43	0,70	0,25	0,18	745,90
2012	-0,55	0,67	0,27	0,16	878,90
2014	-0,26	0,59	0,32	0,11	284,10
2016	-0,28	0,54	0,23	0,09	448,10
2018	-0,18	0,64	0,32	0,14	381,40
2019	-0,19	0,65	0,40	0,14	649,80

Mención especial requiere el año 1998 por mostrarse como una anomalía, con registros de precipitación (1.699 mm) casi tres veces el promedio y un NDVI (0,53), correspondiente a una cobertura vegetal densa, muy superior a los otros años. Esta circunstancia se debe a la ocurrencia, para ese año, del fenómeno El Niño más intenso que se ha presentado en el territorio ecuatoriano, según Thielen *et al.* (2015) las lluvias y anomalías térmicas fueron excepcionales, reportando un incremento de la temperatura de 0,44°C.

0.2 - 0.35 corresponding to an average vegetation cover, where the growth of the vegetation varies depending on the availability of the water resource. The temporal distribution of precipitation, for the study period, shows a highly variable behavior with recurrence of extraordinary rain and drought events, significantly distancing itself from the historical average. According to Pacheco *et al.* (2019) the occurrence of extreme events in the last 20 years on the Ecuadorian coast corresponds

Para el resto de los años estudiados el NDVI oscila en el rango de 0,2 – 0,35 correspondiente a una cobertura vegetal media, donde el crecimiento de la vegetación varía en función de la disponibilidad del recurso hídrico. La distribución temporal de la precipitación, para el período de estudio, muestra un comportamiento muy variable con recurrencia de eventos de lluvias y sequías extraordinarias, distanciándose significativamente del promedio histórico. Según Pacheco *et al.* (2019) la ocurrencia de eventos extremos de los últimos 20 años en la costa ecuatoriana se corresponde con cuatro sequías (1988, 1990, 1991 y 2003) y cuatro lluvias extraordinarias (1997, 1998, 2011 y 2017) (Figura 3). Estos eventos extremos están fuertemente influenciados por las variaciones de Temperatura Superficial del Mar (TSM) reflejadas como anomalías térmicas. Los autores confirman el supuesto de que las anomalías térmicas positivas en el Pacífico ecuatorial, inciden positivamente en la ocurrencia de lluvias extraordinarias.

to four droughts (1988, 1990, 1991 and 2003) and four extraordinary rains (1997, 1998, 2011 and 2017) (Figure 3). These extreme events are strongly influenced by variations in Sea Surface Temperature (SST) reflected as thermal anomalies. The authors confirm the assumption that positive thermal anomalies in the equatorial Pacific have a positive effect on the occurrence of extraordinary rains.

The low NDVI coincidences for the years 2002 and 2012 with high rainfall records could be related to the lower number of hours of sun available for photosynthesis, due to the persistent cloudiness in some areas of the study area, which is consistent with the findings of Hongshuai *et al.* (2019).

On the other hand, the relatively high NDVI results for the years 2000 and 2014 with considerably low rainfall amounts, can be explained by the delayed action of drought on vegetation. In this regard, Luo *et al.* (2020) report effects of drought on vegetation with lags of up to five years. In the case of the Portoviejo river basin, the lagged effects of the

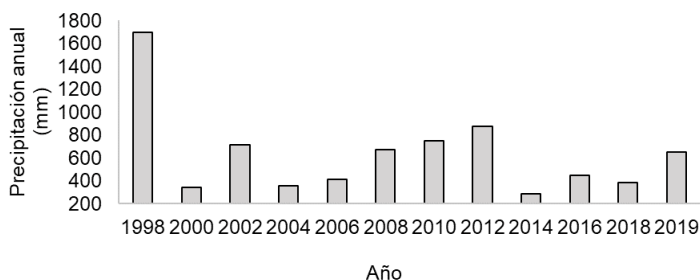


Figura 3. Distribución temporal de la precipitación anual en la estación Portoviejo 1998-2019 (INAMHI, 2020), Portoviejo – Ecuador.

Figure 3. Temporal distribution of annual precipitation in Portoviejo station 1998-2019 (INAMHI, 2020), Portoviejo - Ecuador.

Las coincidencias de NDVI bajos para los años 2002 y 2012 con altos registros pluviométricos pudiera estar relacionado con la menor cantidad de horas de sol disponibles para la fotosíntesis, debido a la persistente nubosidad en algunas zonas del área de estudio, lo cual es consistente con los hallazgos de Hongshuai *et al.* (2019).

Por otro lado, los resultados de NDVI relativamente altos para los años 2000 y 2014 con montos pluviométricos considerablemente bajos, se puedan explicar por la acción retardada de la sequía sobre la vegetación. Al respecto Luo *et al.* (2020) reportan efectos de la sequía sobre la vegetación con rezagos hasta de cinco años. Para el caso de la cuenca del río Portoviejo los efectos rezagados de la sequía se hacen evidentes en el descenso del NDVI hasta 0,27 y 0,23 para los años 2002 y 2016 respectivamente, después de sequías considerables en los años 2000 y 2014.

Análisis multitemporal del NDVI reclasificado en función de la cobertura vegetal

Con los datos reclasificados de NDVI (Cuadro 3), se analizaron los cambios ocurridos en la vegetación a lo largo de estas dos décadas, mostrando la cobertura vegetal para cada clase en área km² y porcentaje para cada año de estudio.

La vegetación densa presenta el porcentaje de mayor cobertura en la cuenca con valores superiores al 30 % a excepción del año 2016 que registra un descenso muy marcado de este tipo de cobertura y con toda seguridad se puede explicar con la ocurrencia de sequías sostenidas desde el 2014.

drought are evident in the decrease of the NDVI to 0.27 and 0.23 for the years 2002 and 2016 respectively, after considerable droughts in 2000 and 2014.

Multitemporal analysis of NDVI reclassified based on vegetation cover

With the reclassified data from NDVI (Table 3), the changes that occurred in the vegetation throughout these two decades were analyzed, showing the vegetation cover for each class in area km² and percentage for each year of study.

Dense vegetation presents the highest percentage of coverage in the basin with values higher than 30%, except for 2016, which registers a very marked decrease in this type of coverage and it can certainly be explained by the occurrence of sustained droughts since 2014.

On the other hand, the vegetation with medium coverage occupies the second place, with respect to the surface covered over the basin. The year 1998 presents an atypical decrease in this coverage, with only 6.39%, which is due to the predominance of dense and very dense vegetation for that year, due to the high rainfall amounts of the years 1997 and 1998, associated with the El Niño phenomenon previously reported.

Very sparse vegetation occupies third place in coverage area, with a significant decrease for the year 1998, which is consistent with the predominance of dense vegetation cover for this year due to the high amounts of precipitation.

Por su parte la vegetación con cobertura media ocupa el segundo lugar, respecto a la superficie cubierta sobre la cuenca. El año 1998 presenta un descenso atípico en esta cobertura, con apenas el 6,39 %, lo cual obedece al predominio de la vegetación densa y muy densa para ese año, producto de los elevados montos pluviométricos de los años 1997 y 1998, asociados al fenómeno El Niño reparatado previamente.

La vegetación muy escasa ocupa el tercer lugar en área de cobertura, con un descenso significativo para el año 1998, lo cual es consistente con el predominio de la cobertura vegetal densa para este año producto de los altos montos de precipitación.

Para el caso de las coberturas de suelo desnudo o áreas sin vegetación se presenta un descenso significativo en el año 2006, lo cual posiblemente esté condicionado por los efectos de la sequía en años previos.

Finalmente, la presencia dominante de la vegetación muy densa para el año 1998, obedece a la acción de las fuertes precipitaciones asociadas con el fenómeno El Niño 1997-1998.

En resumen las acciones que pueden haber influenciado el comportamiento de la dinámica vegetal antes descrita, son la alta deforestación por actividades antropogénicas, superior a 6.000 ha.año⁻¹, incremento de temperatura en 0,8 °C de 1960 a 2006, y aumento en las precipitaciones en zonas de la costa cercano al 90 % y una disminución de las mismas superior al 20 % en la zona agrícola, condicionando niveles de

In the case of bare ground covers or areas without vegetation, there is a significant decrease in 2006, which is possibly conditioned by the effects of the drought in previous years.

Finally, the dominant presence of very dense vegetation for 1998 is due to the action of heavy rainfall associated with the 1997-1998 El Niño phenomenon.

In summary, the actions that may have influenced the behavior of the above-described plant dynamics are high deforestation due to anthropogenic activities, higher than 6,000 ha.year⁻¹, an increase in temperature of 0.8°C from 1960 to 2006, and an increase in the precipitations in coastal areas close to 90% and a decrease of the same over 20% in the agricultural area, conditioning levels of vulnerability low (13.30%), medium (34.74%), high (45.53%), and very high (6.43%) (Macias *et al.*, 2019).

Correlation between NDVI and annual precipitation.

The correlation between NDVI and precipitation was studied through a second-order polynomial model, Figure 4, because it presented the best fit of the determination coefficient ($R^2 = 0.76$), which indicates that in 76% of the cases, the variations in the NDVI are due to the influence of precipitation and the remaining 24% can be explained by several factors, where anthropogenic activities stand out, the same as according to Chu *et al.* (2019) can lead to soil degradation. In the study area, extensive agricultural activities are evidenced with a

vulnerabilidad baja (13,30 %), media (34,74 %), alta (45,53 %), y muy alta (6,43 %), (Macias *et al.*,2019).

strong predominance of grasslands, as shown in the map of use and land cover of the MAG (2014).

Cuadro 3. Valores de NDVI en el período 1998 – 2019.

Table 3. NDVI values in the period 1998 - 2019

Año	Cobertura Vegetal										Total
	Sin V.		V. ME		V. Media		V. Densa		V. MD		
	<0	>0	0 – 0,2	>0,2	0,2 – 0,35	>0,35	0,35 – 0,6	>0,6	>0,6	>0,6	
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)
1998	7,13	0,33	45,96	2,15	136,23	6,39	1277,45	59,89	666,06	31,23	2132,82
2000	28,92	1,36	391,08	18,34	698,15	32,73	999,60	46,87	15,08	0,71	2132,83
2002	404,66	18,97	285,84	13,40	345,41	16,19	1096,59	51,41	0,37	0,02	2132,86
2004	24,12	1,13	338,47	15,87	486,45	22,81	1245,06	58,38	38,81	1,82	2132,91
2006	553,86	25,97	312,96	14,67	323,69	15,18	818,89	38,39	123,47	5,79	2132,87
2008	246,12	11,54	280,97	13,17	388,47	18,21	1217,16	57,07	0,13	0,01	2132,86
2010	215,86	10,12	683,54	32,05	507,71	23,80	723,29	33,91	2,47	0,12	2132,87
2012	128,05	6,00	589,48	27,64	629,35	29,51	785,39	36,82	0,56	0,03	2132,83
2014	1,31	0,06	409,10	19,18	756,33	35,46	966,12	45,30	0,00	0,00	2132,86
2016	4,22	0,20	870,03	40,79	1045,68	49,03	212,94	9,98	0,00	0,00	2132,87
2018	0,68	0,03	464,29	21,77	666,24	31,24	1000,14	46,89	1,48	0,07	2132,83
2019	4,83	0,23	256,71	12,04	384,88	18,05	1482,28	69,50	4,21	0,20	2132,92
X	134,98		410,70		530,72		985,41		71,05		

V = Vegetación; ME = Muy Escasa; MD = Muy Densa; X=Promedio

V = Vegetation; ME = Very Scarce; MD = Very Dense; X = Average

Correlación entre el NDVI y la precipitación anual.

Se estudió la correlación entre el NDVI y la precipitación a través de un modelo polinomial de segundo orden, Figura 4, por presentar el mejor ajuste del coeficiente de determinación (R²

Figure 4 shows that the low NDVI values (less than 0.35) present a totally dispersed pattern with respect to rainfall, however, from there they reflect a clear positive trend, and this behavior can be represented through a second order polynomial regression

= 0,76), lo cual indica que en el 76 % de los casos las variaciones en el NDVI obedecen a la influencia de la precipitación y el restante 24 % puede explicarse por varios factores, donde destacan las actividades antropogénicas, mismas que de acuerdo a Chu *et al.* (2019) pueden conducir a la degradación del suelo. En el área de estudio se evidencian actividades agropecuarias extensivas con fuerte predominio de pastizales, según se muestra en el mapa de uso y cobertura del suelo del MAG, (2014).

model. Low magnitude NDVI results could be related to other variables such as temperature and changes in the soil due to anthropogenic activities.

Conclusions

The NDVI shows a regularly active and heterogeneous dynamics in the study area, evidencing the predominance of scarce and null vegetation cover in the lower part of the basin in most years.

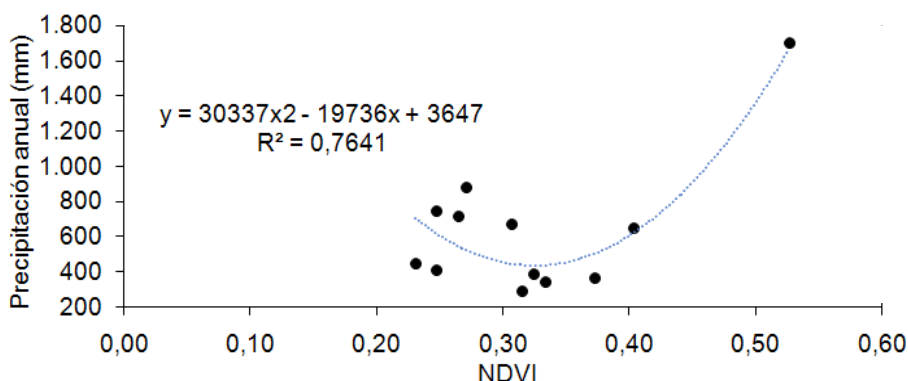


Figura 4. Correlación entre el NDVI y la precipitación durante el período 1998 – 2019, Portoviejo – Ecuador.

Figure 4. Correlation between NDVI and precipitation during the period 1998 - 2019, Portoviejo - Ecuador.

En la figura 4 se observa que los valores bajos de NDVI (inferiores a 0,35), presentan un patrón totalmente disperso respecto a las precipitaciones, no obstante, a partir de allí reflejan una clara tendencia positiva pudiendo representarse este comportamiento a través de un modelo de regresión polinomial de segundo orden. Los resultados de baja magnitud de NDVI, pudieran estar relacionados con otras

The high NDVI values, and therefore, dense and very dense vegetation cover, are concentrated in homogeneous areas in the middle and upper part of the basin.

The vegetation shows a discontinuous greening trend determined by the differential influence of precipitation.

There is a direct influence of the precipitation on the NDVI, with a

variables como la temperatura y los cambios en el suelo por actividades antropogénicas.

Conclusiones

El NDVI muestra una dinámica muy activa y heterogénea en el área de estudio, evidenciándose el predominio de la cobertura vegetal escasa y nula en la parte baja de la cuenca en la mayoría de los años.

Los valores altos de NDVI, y por lo tanto, cobertura vegetal densa y muy densa, se concentran en zonas homogéneas en la parte media y alta de la cuenca.

La vegetación muestra una tendencia de reverdecimiento discontinuo determinado por la influencia diferencial de la precipitación.

Hay una influencia directa de la precipitación sobre el NDVI, con un coeficiente de determinación de 76 %.

La sequía evidencia una influencia rezagada sobre la vegetación, disminuyendo el NDVI hasta 2 años después de presentarse esta condición climática.

Literatura citada

Cadena, A. G., Martínez, M. R., Cárdenas, J. M., Vilchez, S. M. y Harvey, C. A. 2019. Uso de prácticas de Adaptación basada en Ecosistemas por pequeños cafetaleros en Centroamérica. *Agron. Mesoam.* 30(1): 1-18. Disponible en: <https://doi.org/10.15517/am.v30i1.32615>. Fecha de consulta: agosto 2020.

EROS - Earth Resources Observation and Science. 2017. Landsat Quality Assessment ArcGIS Toolbox. U.S. Geological Survey. Disponible en: <https://doi.org/10.5066/f7jm284n>. Fecha de consulta: agosto 2020.

coefficient of determination of 76%.

The drought shows a lagged influence on the vegetation, decreasing the NDVI up to 2 years after this

End of English Version

Feng, T., Martin, B., Yi Y, Liu., Aleixandre, V., Torbern T., Abdoul, A. D., Kjeld R., Cheikh, M., Yunjia, W. and Rasmus, F. 2016. Remote sensing of vegetation dynamics in drylands: Evaluating vegetation optical depth (VOD) using AVHRR NDVI and in situ green biomass data over West African Sahel. *Remote Sensing of Environment.* (177): 265-276. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.056>. Fecha de consulta: junio 2020.

Fua, B. and Burgher, I. 2015. Riparian vegetation NDVI dynamics and its relationship with climate, surface water and groundwater. *Journal of Arid Environment.* 113: 56-68. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.09.010>. Fecha de consulta: agosto 2020.

Hongshuai, C., Sergey, V., Chao, W. and Menghui, W. 2019. NDVI-based vegetation dynamics and its response to climate changes at Amur-Heilongjiang River Basin from 1982 to 2015. *Science of the Total Environment.* 652(2): 2051-2062. Disponible en: <https://www.researchgate.net/deref/https%3A%2F%2Fdoi.org%2F10.1016%2Fj.scitotenv.2018.09.115>. Fecha de consulta: agosto 2020.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Anuarios Meteorológicos (INAMHI). 1998, 2000, 2002, 2004, 2006, 2007, 2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018, 2019. Disponible en: <http://www.forosecuador.ec/forum/ecuador/educaci%C3%B3n-y-ciencia/35393-inamhi-anuarios-meteorol%C3%B3gicos-en-pdf>. Fecha de consulta: mayo 2020.

Lemos, V. E. 2019. Globalización y reestructuración productiva

- agropecuaria en el Bioma de Cerrados del Centro-Norte de Brasil (Matopiba). *Revista Austral de Ciencias Sociales* 38: 291-311. Disponible en: <http://revistas.uach.cl/index.php/racs/article/view/6117/7218>. Fecha de consulta: diciembre 2020.
- Lijun, Z., Jijun, M. and Likai, Z. 2020. Applying Geodetector to disentangle the contributions of natural and anthropogenic factors to NDVI variations in the middle reaches of the Heihe River Basin. *Ecological Indicators*. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106545>. Fecha de consulta: agosto 2020.
- Luo, N., Mao D., Wen, B. and Liu, X. 2020. Climate Change Affected Vegetation Dynamics in the Northern Xinjiang of China: Evaluation by SPEI and NDVI. *Land*. 9(3). Disponible en: <https://doi.org/10.3390/land9030090>. Fecha de consulta: agosto 2020.
- Macías, R. B., Cuenca, G. N., Intriago, F.F., Caetano, C. M., Menjivar, J. F. and Pacheco, H. G. 2019. Vulnerability to climate change of smallholder cocoa producers in the province of Manabí, Ecuador. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín*. 72(1): 8707-8716. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.15446/rfnam.v72n1.72564>. Fecha de consulta: agosto 2020.
- Mas, M. M. 2017. Uso de la teledetección y los SIG en la vigilancia de la calidad del agua: Aplicación al Mar Menor. Cartagena Mar Menor. Universidad Politécnica de Cartagena, España. 73p. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/6353/tfg-mas-uso.ence=2&isAllowed=y>. Fecha de consulta: agosto 2020.
- Millano, J. L. y Paredes, P. F. 2016. Variabilidad de la Vegetación con el Índice De Diferencia Normalizada (NDVI) en Latinoamérica. *Novum Scientiarum*. 2: 33-44. Disponible en: https://www.academia.edu/30688889/VARIABILIDAD_DE_LA_VEGETACION_CON_EL_INDICE_DE_DIFERENCIA_NORMALIZADA_NDVI_EN_LATINOAMERICA. Fecha de consulta: agosto 2020.
- Pacheco, H. A., Montilla, A. J., Méndez, W. J., Delgado, M. H. y Zambrano, D. 2019. Causas y consecuencias de las lluvias extraordinarias de 2017 en la costa ecuatoriana: el caso de la provincia Manabí. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*. 48(2): 45-70. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/mar/v48n2/0122-9761-mar-48-02-45.pdf>. Fecha de consulta: agosto 2020.
- Pacheco, H. A., Zamora, E. L. y Jarre, E. C. 2020. Variaciones de la cobertura vegetal empleando el índice normalizado de diferencia de vegetación para monitorear ODS en Manabí – Ecuador. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia. Especial(2)*: 12-18. Disponible en: <https://doi.org/10.22209/rt.ve2020n2a02>. Fecha de consulta: agosto 2020.
- Paula, A. P., Zambrano, L. y Paula, P. 2018. Análisis Multitemporal de los cambios de la vegetación, en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo como consecuencia del cambio climático. *Enfoque UTE*. 9(2): 125-137. Disponible en: <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n2.252>. Fecha de consulta: agosto 2020.
- Quintana, F. S. 2017. Dinámica, escalas y dimensiones del cambio climático. Tla-melaua. *Revista de Ciencias Sociales*. 10(41): 180-200. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tla/v10n41/1870-6916-tla-10-41-00180.pdf>. Fecha de consulta: agosto 2020.
- Rodríguez, N. R., Iloch, I. G., Galano, D. S., Estrada, R. E. y Morales, G. M. 2009. Software para corregir los datos inválidos en las imágenes Landsat 7. *Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente*. (17). Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/285601066_Software_para_corregir_los_datos_invalidos_en_las_imagenes_Landsat_7. Fecha de consulta: agosto 2020.
- Rouse, J., Haas, R., Deering, D., Schell, J.A. y Harlan, J. 1974. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. *Remote Sensing Center, NASA*. 73: 1-93. Disponible en: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19730017588>. Fecha de consulta: agosto 2020.

- Ruiz, A. C. y Pacheco, H. A. 2020. Estimación del Factor C de la RUSLE en la microcuenca del río Lodana, Ecuador, usando imágenes del satélite Sentinel 2. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia. Especial* (2): 123-129. Disponible en: <https://doi.org/10.22209/rt.ve2020n2a10>. Fecha de consulta: agosto 2020.
- Salinas, C. X., Martínez, R. R. y Morales, M. Z. 2017. Tendencia en el siglo XXI del Índice de Diferencias Normalizadas de Vegetación (NDVI) en la parte sur de la península de Baja California. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*. (94): 82-90. Disponible en: <https://doi.org/10.14350/ig.57214>. Fecha de consulta: agosto 2020.
- Shengzhi, H., Xudong, Z., Lan, M., Hao W., Qiang, H., Guoyong, L., Erhao, M. and Yi, G. 2020. Quantitative contribution of climate change and human activities to vegetation cover variations based on GA-SVM model. *Journal of Hydrology*. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124687>. Fecha de consulta: agosto 2020.
- Thielen, D., Cevallos, J., Erazo, T., Zurita, S., Figueroa, J., Quintero, J., Matute, N., Velázquez, G. y Puche, M. 2015. Dinámica de eventos climáticos extremos en la cuenca del río Portoviejo, Manabí, Ecuador. *Rev. La Técnica*.14(14): 80-91. Disponible en: https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i14.585. Fecha de consulta: agosto 2020.
- Vega, M. A. y Alvarado, R. B. 2019. Análisis de las series de tiempo de variables biofísicas para cuatro ecorregiones de Guanacaste, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*. 53(2): 60-96. Disponible en: <https://doi.org/10.15359/rca.53-2.4>. Fecha de consulta: agosto 2020.
- Yan-Ling, S., Mei, S., Xin-Rui, P., Xia-Kun, Z. and Yan-Li, Y. 2020. Assessment of the impacts of climate change and human activities on vegetation cover change in the Haihe River basin, China. *Physics and Chemistry of the Earth*. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.102834>. Fecha de consulta: agosto 2020.
- Zoran, M. A., L. F. Zoran, and Adrián, I. D. 2016. Forest vegetation dynamics and its response to climate changes. *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology*. Disponible en: <https://doi.org/10.1117/12.2241374>. Fecha de consulta: agosto 2020.