



Determinación con imágenes satelitales del índice de vegetación de diferencia normalizada del valle de Pampas-Tayacaja

Determination with satellite images of the normalized difference vegetation index of the Pampas-Tayacaja valley

Determinação com imagens de satélite do índice de vegetação de diferença normalizada do vale Pampas-Tayacaja

Hipólito Carbajal-Morán ^I
hipolito.carbajal@unh.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-1661-5363>

Fermín Onofre-Enriquez ^{II}
kofigo3397@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7466-4510>

Correspondencia: hipolito.carbajal@unh.edu.pe

Ciencias técnica y aplicada
Artículo de investigación

***Recibido:** 06 de septiembre de 2020 ***Aceptado:** 04 de octubre 2020 * **Publicado:** 03 de noviembre de 2020

- I. Profesor Universitario, Universidad Nacional de Huancavelica, Perú.
- II. Investigador independiente, Universidad Nacional de Huancavelica, Perú.

Resumen

El trabajo tuvo como objetivo determinar el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) del valle de Pampas-Tayacaja, ubicado en los andes centrales del Perú, en épocas de estiaje. La investigación fue del tipo aplicado a un nivel descriptivo, con 30 muestras tomadas en el periodo del año 1991 a 2020 en los meses de agosto, los mapas considerados en el estudio fueron provenientes de los satélites LandSat y filtrados teniendo en cuenta la nubosidad menor al 10 %, procurando que el área de estudio esté totalmente despejada. El NDVI fue calculado de los mapas rojos e infrarrojo cercano obtenidos usando Quantum GIS (QGIS). El NDVI mínimo obtenido fue de -0.1765; esto representa a las aguas del río Opamayo que atraviesa el valle en estudio, el valor máximo obtenido fue 0.7853, que representa a las zonas con vegetación formado por árboles de eucalipto existentes en el valle. Se determinó que los satélites LandSat 5, LandSat 7 y LandSat 8 proporcionan imágenes de bandas espectrales que permitieron determinar el NDVI del valle en un periodo de 30 años. Como resultado se obtuvo que el índice de vegetación de diferencia normalizada del valle de Pampas-Tayacaja es mayor a 0.20 y menor a 0.23; lo cual representa escasas de vegetación de tallo mediano alto, también se encontró que la pendiente de la línea de tendencia a lo largo del periodo de tiempo estudiado es ligeramente negativa (-0.0005); este dato indica que la deforestación en el lugar estudiado es progresiva.

Palabras claves: Vegetación; satélites; verdor; ráster; rojo e infrarrojo.

Abstract

The objective of the work was to determine the normalized difference vegetation index (NDVI) of the Pampas-Tayacaja valley, located in the Andes of Peru, in times of low water. The research was applied at a descriptive level, with 30 samples taken in the period from 1991 to 2020 in the months of August, the maps considered in the study were from the LandSat satellites and filtered taking into account the cloudiness less than 10%, ensuring that the study area is completely clear. The NDVI was calculated from the red and near infrared maps obtained using Quantum GIS (QGIS). The minimum NDVI obtained was -0.1765; This represents the waters of the Opamayo river that crosses the valley under study, the maximum value obtained was 0.7853, which represents the areas with vegetation formed by eucalyptus trees existing in the valley. The LandSat 5, LandSat 7, and LandSat 8 satellites were found to provide spectral band images that allowed the NDVI of the valley to be determined over a 30-year period. As a result,

it was obtained that the normalized difference vegetation index of the Pampas-Tayacaja valley is greater than 0.20 and less than 0.23; which represents scarcity of medium-tall stem vegetation, it was also found that the slope of the trend line throughout the period of time studied is slightly negative (-0.0005); this data indicates that deforestation in the place studied is progressive.

Keywords: Vegetation; satellites; greenery; raster; red and infrared.

Resumo

O objetivo do trabalho foi determinar o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) do vale dos Pampas-Tayacaja, localizado nos Andes do Peru, em épocas de vazante. A pesquisa foi aplicada em nível descritivo, com 30 amostras colhidas no período de 1991 a 2020 nos meses de agosto, os mapas considerados no estudo foram dos satélites LandSat e filtrados levando em consideração a nebulosidade menor que 10%, garantindo que a área de estudo esteja totalmente limpa. O NDVI foi calculado a partir dos mapas de infravermelho próximo e vermelho obtidos usando Quantum GIS (QGIS). O NDVI mínimo obtido foi -0,1765; Representa as águas do rio Opamayo que atravessa o vale em estudo, o valor máximo obtido foi de 0,7853, que representa as áreas com vegetação formada por eucaliptos existentes no vale. Os satélites LandSat 5, LandSat 7 e LandSat 8 foram encontrados para fornecer imagens de banda espectral que permitiram que o NDVI do vale fosse determinado ao longo de um período de 30 anos. Como resultado, obteve-se que o índice de vegetação de diferença normalizada do vale dos Pampas-Tayacaja é maior que 0,20 e menor que 0,23; que representa a escassez de vegetação de caule médio-alto, também foi verificado que a inclinação da linha de tendência ao longo do período de tempo estudado é ligeiramente negativa (-0,0005); esses dados indicam que o desmatamento no local estudado é progressivo.

Palavras-chave: Vegetação; satélites; vegetação; raster; vermelho e infravermelho.

Introducción

Robinson et al. (2017) establece que los índices de vegetación son usados como indicadores cuantitativos del ecosistema ya que involucra el verdor de las plantas, tierra desnuda y la presencia de agua basados en datos remotos obtenidos con sensores montados sobre plataformas como los satelitales. Los espacios o áreas verdes en las ciudades, son importantes para la calidad del ambiente (Mamani, 2020), donde a mayor porcentaje de cobertura vegetal son mayores los

beneficios ecológicos, de esta manera se reducen las islas de calor (Akbari & Konopacki, 2005), el secuestro de CO₂ (Iizuka & Tateishi, 2015); en consecuencia la reducción de la polución del aire. Estos aspectos se relacionan con la salud y bienestar de la población, generando un ambiente favorable para el desarrollo saludable.

Tudare y Trejo (2016) considera que las características de absorción y reflexión del ecosistema se relacionan con el NDVI en especial por la vegetación. Por lo que es necesario el análisis espectral de las señales roja e infrarrojo cercano (García Haro, 2019), realizando un cálculo ráster mediante la diferencia entre la reflectancia de las bandas 4 (infrarrojo cercano) y 3 (visible rojo) (Asrar et al., 1989), para mapas provenientes de LandSat 5 , 7 y bandas 5 (infrarrojo cercano) y 4 (visible rojo) para mapas provenientes de LandSat 8.

Mudede et al. (2020) estudia la cuantificación y el análisis del verdor urbano considerando importante evaluar el papel de los árboles en zonas urbanas, con datos provenientes de satélite Landsat 8 se utilizaron para evaluar los efectos de la isla de calor urbana en función de la temperatura de la superficie terrestre (LST) en el próspero suburbio de Rosebank en el norte y el municipio de Soweto, al sur de Johannesburgo; se encontró que Soweto era 2.58 °C más caliente que Rosebank, lo que sugiere que las áreas de alta densidad con menos árboles en las calles y parques son más calientes que los lugares de baja densidad vegetal.

Gascon (2016) al índice de vegetación de diferencia normalizada utiliza como un marcador del verdor circundante en estudios epidemiológicos que tienen como objetivo evaluar los efectos sobre la salud de los espacios verdes en entornos urbanos, encontrando como resultado del estudio que el NDVI puede ser una métrica de verdor útil en el área de estudio. Por otro lado, en el estudio de Hasyim & Hernawan (2017) se utiliza el método de índice de vegetación normalizada, para obtener el cálculo de espacios verdes abiertos evitando la ocurrencia de clasificación errónea de otros tipos de uso del suelo; como resultado se obtuvo que los espacios verdes abiertos en la ciudad de Malang en 2015 alcanzó el 39% del área total.

En el Perú se hicieron estudios de estimación del índice de sequía a partir de datos imágenes NDVI y LST provenientes del sensor MODIS y TRMM para las regiones de Lambayeque, Piura y Cajamarca – Perú, durante el periodo 2000 – 2013 (Carbajal, 2017); encontrando diferentes valores para la zona árida, semiárida y subhúmeda seca, menores a 0.4, esto se corresponde con la sequía extrema, severa y moderada, también se indica en este estudio que los años 2004 y 2005 fueron años de sequía. Así también en NDVI permite estimar cultivos como el arroz con imágenes satelitales del satélite Landsat 8 y Sentinel 2 (Rufasto et al., 2018); los coeficientes de determinación fueron 0.56 y 0.58 respectivamente para cada satélite, estos

resultados indican que esta técnica tiene potencial como herramienta para estimar el rendimiento de cultivos y vegetación en general.

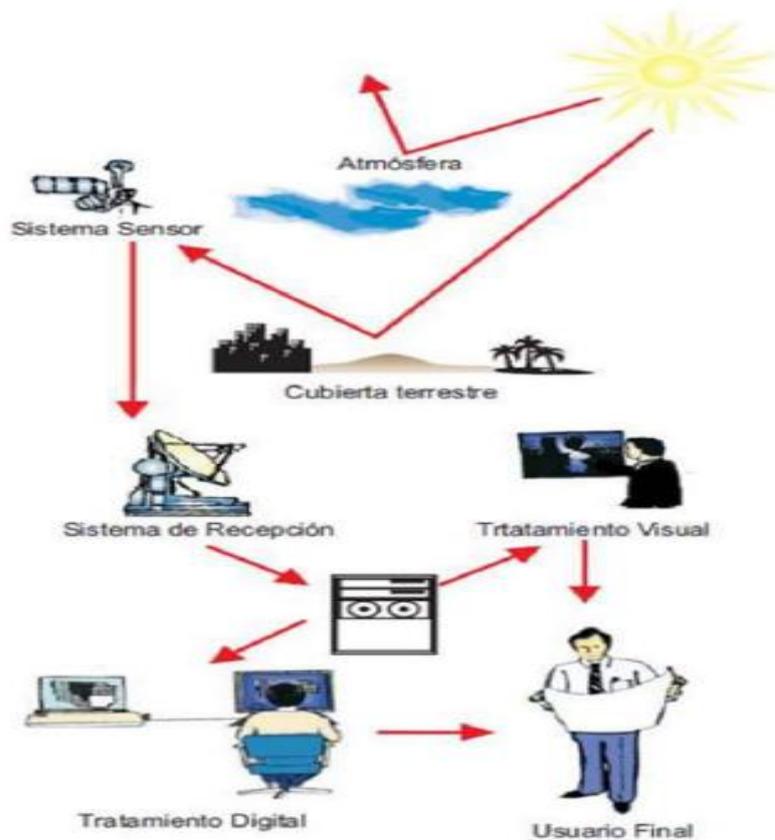
La degradación de los suelos y la pérdida de cobertura vegetal por la expansión urbana está ocasionando el cambio climático en diferentes lugares, en la región Huancavelica y en especial en el valle de Pampas-Tayacaja se tiene un crecimiento urbano que viene afectando la vegetación y dejando el suelo descubierto (Santana et al., 2010). Estos factores inciden en la calidad ambiental urbana y por tanto en el desarrollo social y económico de las ciudades, generalmente están asociados a la forma como los agentes sociales y sus actividades ocupan y utilizan el espacio, situación que crea nuevos retos para las autoridades a todo nivel y entidades de planificación urbana.

Este estudio tiene como objetivo determinar el comportamiento del índice de vegetación de diferencia normalizada del valle de Pampas-Tayacaja en épocas de estiaje, siendo el mes de agosto de 30 años, desde el año 1991 al año 2020. Para esto se emplea satélites provistos de sensores remotos que son una herramienta útil para entender y monitorear los procesos de crecimiento relacionados con el espacio físico (Weng et al., 2004).

Materiales y métodos

Para el desarrollo de la investigación se empleó la teledetección satelital, que es la ciencia y la tecnología por la cual se pueden identificar las características de los objetos de interés, medir o analizar las características sin contacto directo empleando satélites. Por lo general, la teledetección es la medición de la energía que se emana de la superficie de la Tierra. Se considera teledetección pasiva cuando la energía que se mide proviene del Sol, mientras que la teledetección activa o satelital, es aquella que se mide a la energía que no es emitida por el Sol desde una plataforma de sensores que pueden ser de radar, este último funciona en el rango de las microondas (Richards, 2013). En la figura 1 se muestra los componentes de un sistema de teledetección satelital.

Figura 1: Componentes de un sistema de teledetección satelital



Nota: Teledetección ambiental, la observación de la tierra desde el espacio, obtenido de (Chuvieco, 2008).

Chuvieco (2008) considera que las regiones espectrales utilizadas para la observación remota de la tierra son:

1. Espectro visible es considerado en el rango (0.4 - 0.7 μm) cuyas frecuencias se perciben con el ojo humano, con una máxima radiación proveniente del Sol, subdividido en tres bandas de colores: rojo (0.6 - 0.7 μm), verde (0.5 - 0.6 μm) y azul (0.4 - 0.5 μm).
2. Infrarrojo cercano considerado en el rango (0.7 - 1.1 μm), denominado también IR fotográfico o reflejado, proviene de la energía solar que reflejan los cuerpos, el comportamiento similar al espectro visible.
3. Infrarrojo medio considerado en el rango (1.1 – 8 μm), se entremezclan la radiación solar y emisión, la atmósfera es un factor que afecta sensiblemente: esta característica es aprovechado para medir las concentraciones de vapor de agua, ozono y aerosoles.
4. Infrarrojo térmico considerado en el rango de (8 - 14 μm), son radiaciones emitidas por los propios cuerpos, permite determinar la Temperatura de un cuerpo (IR térmico), puede proporcionar imágenes en cualquier momento del día.

5. Microondas considerado en el rango de (1mm-1m), tiene interés creciente de la Teledetección en esta banda, presenta perturbaciones atmosféricas menores y con transparencia a las nubes, se utilizan los sensores activos. Todo el espectro electromagnético es representado en la figura 2.

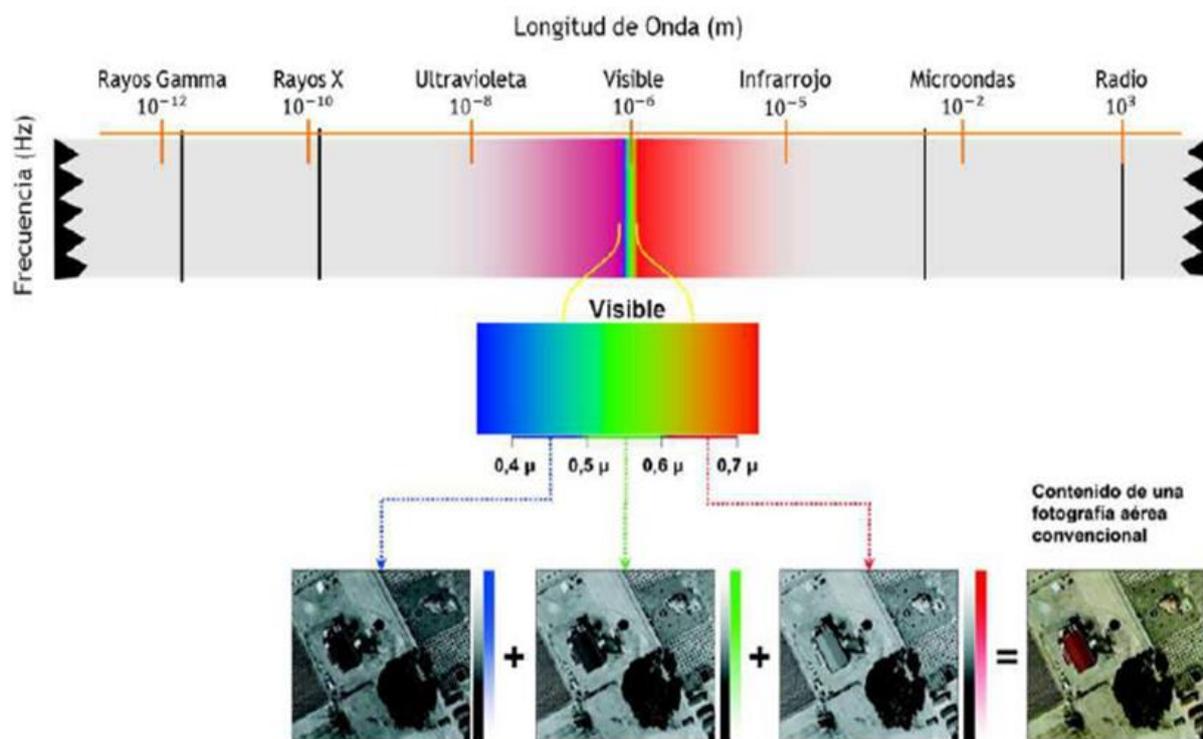
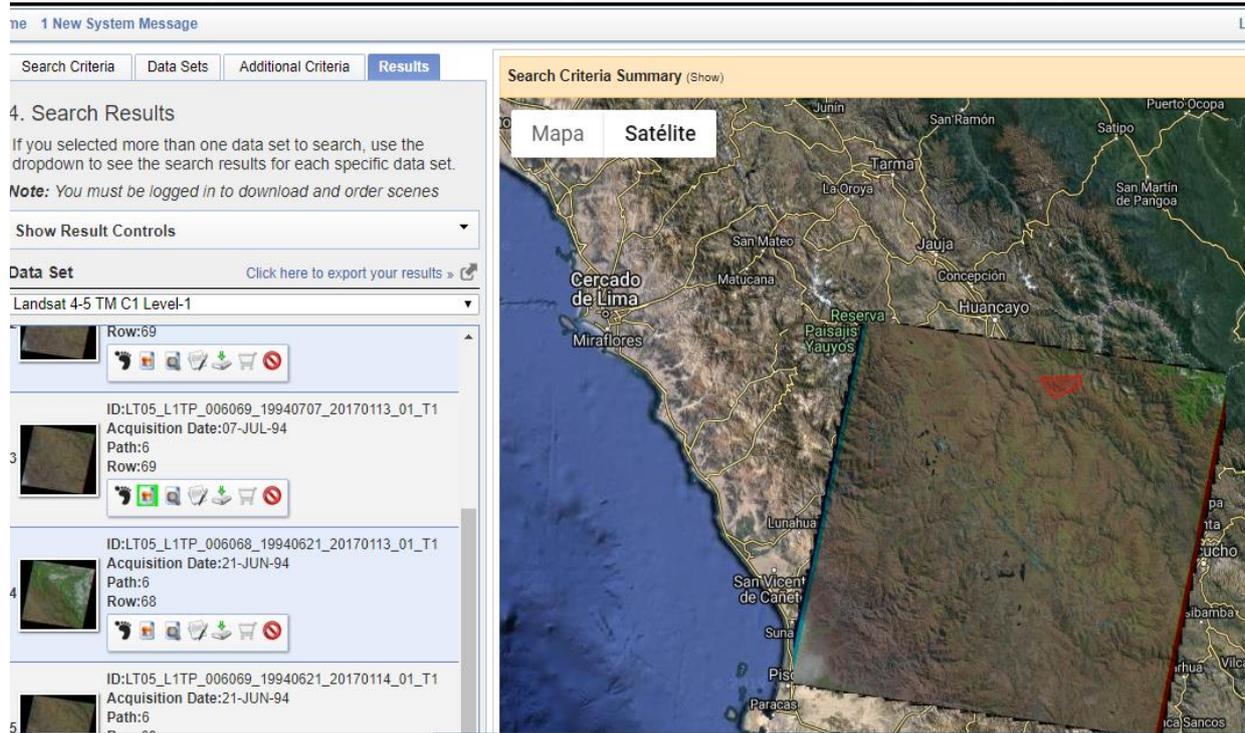


Figura 2: Espectro electromagnético.

Nota: Teledetección ambiental, la observación de la tierra desde el espacio, obtenido de (Chuvieco, 2008).

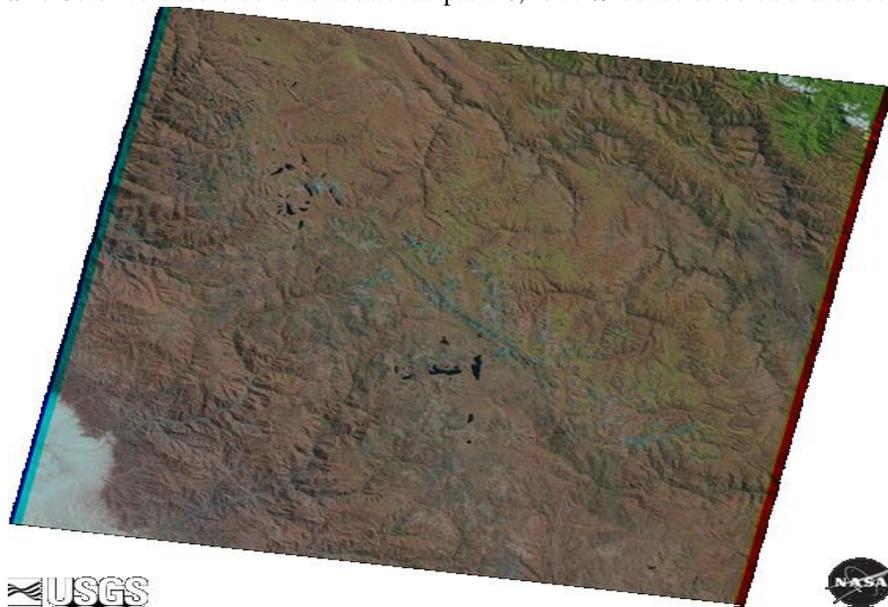
Earth Explorer permitió obtener un conjunto de datos geospaciales, navegando a través de un mapa interactivo o búsqueda por texto para obtener imágenes de satélite Landsat, siendo posible también, datos de radar, datos de UAS, gráficos de líneas digitales, datos de modelos de elevación digitales, fotos aéreas, datos de satélites Sentinel, algunas imágenes de satélites comerciales, incluidos IKONOS y OrbView3, datos de cobertura terrestre, datos de mapas digitales del Mapa Nacional y muchos otros conjuntos de datos. Se buscó por ubicación a través del mapa interactivo ingresando coordenadas para obtener los datos de interés para el estudio. Los datos se recolectaron de acuerdo a la demarcación territorial del área geográfica en estudio, esta recolección se hizo desde la base de datos generado para los satélites LandSat, para la zona path: 6, row: 69, como se muestra en la figura 3.

Figura 3: Vista de la zona satelital path: 6, row: 69 del valle de Pampas – Tayacaja



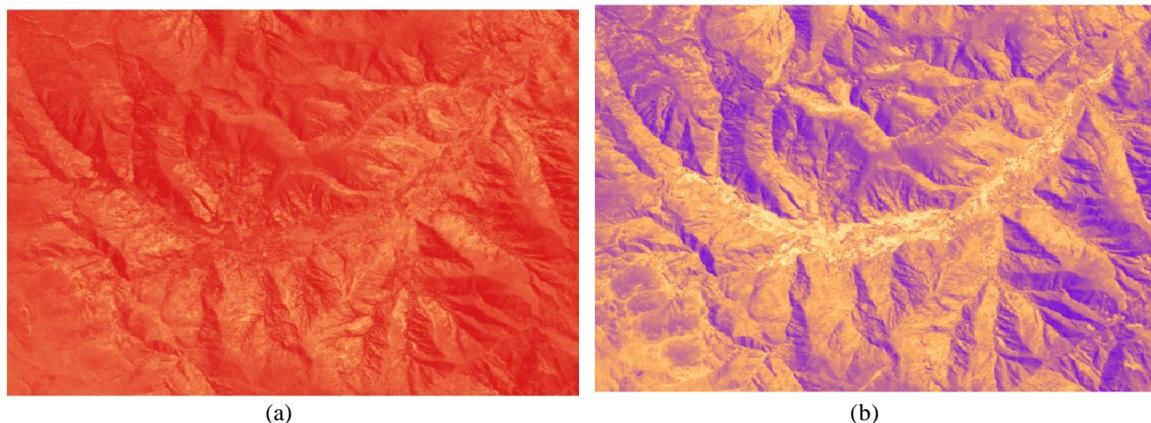
A través del Earth Explorer se obtuvieron mapas de color verdadero (ver figura 4), mapas en el espectro rojo (ver figura 5) y los mapas del espectro infrarrojo (ver figura 6).

Figura 4: Color verdadero de la zona satelital path: 6, row: 69 donde se ubica el área de estudio



Nota: Mapa obtenido de Earthexplorer (USGS, 2020)

Figura 5: Mapa en el espectro rojo e infrarrojo de la zona de estudio

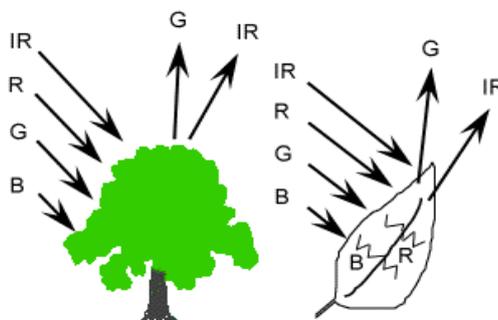


Nota: (a) Mapa del espectro rojo, (b) Mapa del espectro infrarrojo, obtenido de Earthexplorer (USGS, 2020)

El NDVI que es el índice de vegetación normalizada es representado por imágenes calculadas a partir de operaciones algebraicas entre distintas bandas espectrales que permiten determinar la superficie de vegetación, cantidad de producción de biomasa, estado de salud de las plantas, evolución y cambios en la vegetación, en base a mediciones de la radiación que emiten o reflejan (Romero, 2016). Como resultado se obtiene una nueva imagen donde destacan los pixeles que están relacionados con la cobertura vegetal (Alonso, 2015).

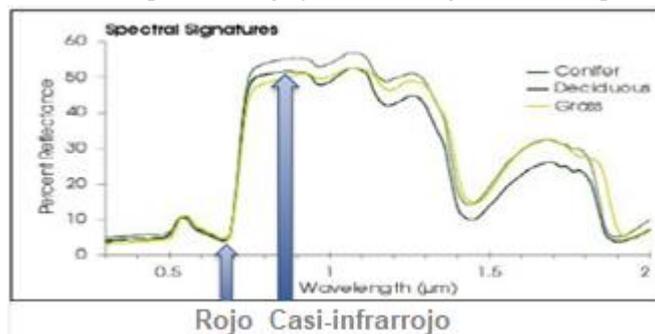
Este índice generado puede tomar valores entre -1,0 y 1,0 ya que, tanto la capacidad reflectiva del infrarrojo cercano como el que provee el rojo, son cocientes de la radiación que es reflejada sobre la radiación que entra en cada banda espectral (Valor & Caselles, 1996). Entonces basados en la relación entre las longitudes de onda rojas y casi infrarrojas la clorofila es capaz de absorber gran parte de las visibles (rojas) (ver figuras 6 y 7), la estructura de las plantas refleja fuertemente las casi-infrarrojas (Schmidt & McCullum, 2016).

Figura 6: Absorción de las señales espectrales por las plantas.



Nota: La creación y el uso del índice normalizado de diferencia de vegetación a partir de imágenes satelitales, obtenido de (Schmidt & McCullum, 2016).

Figura 7: Señales espectrales rojo y casi infrarrojo absorbidos por las plantas.



Nota: La creación y el uso del NDVI a partir de imágenes satelitales, obtenido de (Schmidt & McCullum, 2016).

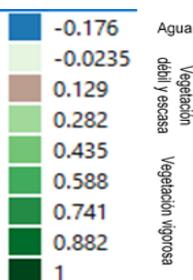
EL NDVI se calcula con la formula ráster siguiente:

$$NDVI = \frac{(Infrarrojo - Rojo)}{(Infrarrojo + Rojo)}$$

$$NDVI = \frac{(Infrarrojo - Rojo)}{(Infrarrojo + Rojo)}$$

Los cálculos del NDVI siempre dan como resultado un número de -1 a +1 (ver figura 9). Los valores de este índice que son mayores a 0 representan diferentes estados de la vegetación; cuanto más vigorosa es la vegetación el valor tiende a 1. En términos generales se puede mencionar que recién a partir de índices superiores a 0.3 – 0.4, se puede referir a una vegetación activa (Maria Romero, 2016). Los valores muy bajos del índice inferiores a 0.1 corresponden a áreas cubiertas de rocas, arenosas o zonas con nevadas, los índices de 0.2 a 0.3 corresponden a terrenos que son pobres, con arbustos o pasturas naturales. Valores que superan estos niveles corresponden a praderas, cultivos y forestaciones.

Figura 8: Valores de NDVI



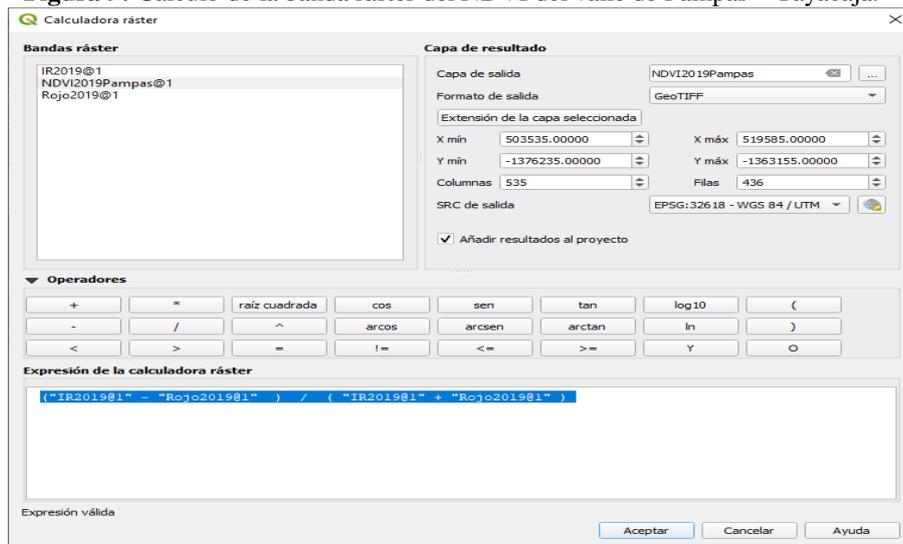
Nota: Escala de NDVI, obtenido de (Agency European Space, 2013)

Los valores altos del índice de 0.6 a 0.8 indican bosques ubicados en zonas templadas y tropicales, los mismos que contienen una vegetación vigorosa y densa. Sin embargo, cuando las plantas no tienen hojas el índice toma valores cercanos a cero. Esto significa que no hay

vegetación y cerca de 1 (0.8 – 0.9) indica la mayor densidad posible de hojas verdes (Agency European Space, 2013).

Para calcular el NDVI se empleó QGIS, que es un Sistema de Información Geográfica de software libre y de código abierto para plataformas GNU/Linux, Unix, Mac OS, Microsoft Windows y Android (Team, 2016). En el trabajo este índice se obtuvo empleando la calculadora ráster de QGIS, tal como se muestra en la figura 10.

Figura 9: Cálculo de la banda ráster del NDVI del valle de Pampas – Tayacaja.



El NDVI obtenido en QGIS se muestra en forma gráfica en la figura 10.

Figura 10: NDVI del valle de Pampas – Tayacaja



Nota: NDVI, obtenido con QGIS V3.10

Resultados y discusión

Como resultado del análisis de los mapas y el ráster se obtuvo los valores estadísticos del NDVI del año 1991 al año 2020 que se presenta en la tabla 1.

Tabla 1: Valores estadísticos del NDVI de la zona de estudio del año 1991 al año 2020

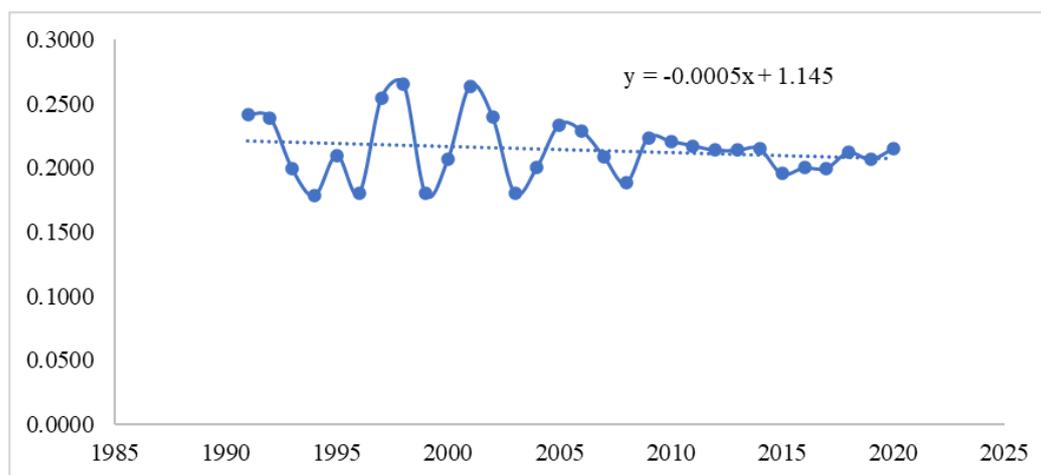
AÑO	Valor mínimo	Valor máximo	NDVI promedio	Desviación estándar	Satélite	Algoritmo ráster para obtención del NDVI	Ráster Color verdadero
1991	-0.1765	0.7258	0.2415	0.1355	LandSat 5	$(B4-B3)/(B4+B3)$	B3+B2+B1
1992	-0.1000	0.7305	0.2389	0.1345	LandSat 5	$(B4-B3)/(B4+B3)$	B3+B2+B1
1993	-0.0737	0.6964	0.1992	0.1201	LandSat 5	$(B4-B3)/(B4+B3)$	B3+B2+B1
1994	-0.1111	0.6949	0.1785	0.1095	LandSat 5	$(B4-B3)/(B4+B3)$	B3+B2+B1
1995	-0.1765	0.6458	0.2098	0.1089	LandSat 5	$(B4-B3)/(B4+B3)$	B3+B2+B1
1996	-0.1429	0.7236	0.1801	0.1222	LandSat 5	$(B4-B3)/(B4+B3)$	B3+B2+B1
1997	-0.1429	0.7333	0.2539	0.1308	LandSat 5	$(B4-B3)/(B4+B3)$	B3+B2+B1
1998	-0.1429	0.7273	0.2651	0.1314	LandSat 5	$(B4-B3)/(B4+B3)$	B3+B2+B1
1999	-0.1304	0.6667	0.1797	0.1128	LandSat 5	$(B4-B3)/(B4+B3)$	B3+B2+B1
2000	-0.1000	0.7025	0.2067	0.1202	LandSat 5	$(B4-B3)/(B4+B3)$	B3+B2+B1
2001	0.0446	0.7853	0.2636	0.1218	LandSat 5	$(B4-B3)/(B4+B3)$	B3+B2+B1
2002	-0.1111	0.7616	0.2395	0.1331	LandSat 5	$(B4-B3)/(B4+B3)$	B3+B2+B1
2003	-0.1667	0.7091	0.1805	0.1420	LandSat 5	$(B4-B3)/(B4+B3)$	B3+B2+B1
2004	-0.1250	0.7231	0.2005	0.1363	LandSat 5	$(B4-B3)/(B4+B3)$	B3+B2+B1
2005	-0.0720	0.7398	0.2334	0.1415	LandSat 5	$(B4-B3)/(B4+B3)$	B3+B2+B1
2006	-0.1111	0.7500	0.2288	0.1335	LandSat 5	$(B4-B3)/(B4+B3)$	B3+B2+B1
2007	-0.1111	0.6960	0.2089	0.1276	LandSat 5	$(B4-B3)/(B4+B3)$	B3+B2+B1
2008	-0.1008	0.6606	0.1880	0.1252	LandSat 5	$(B4-B3)/(B4+B3)$	B3+B2+B1
2009	-0.0968	0.7632	0.2232	0.1408	LandSat 5	$(B4-B3)/(B4+B3)$	B3+B2+B1

Determinación con imágenes satelitales del índice de vegetación de diferencia normalizada del valle de Pampas-Tayacaja

2010	-0.1176	0.7639	0.2206	0.1556	LandSat 5	$(B4-B3)/(B4+B3)$	B3+B2+B1
2011	-0.1304	0.7361	0.2171	0.1393	LandSat 5	$(B4-B3)/(B4+B3)$	B3+B2+B1
2012	-0.1111	0.7415	0.2137	0.1337	LandSat 5	$(B4-B3)/(B4+B3)$	B3+B2+B1
2013	-0.1489	1.0000	0.2135	0.1427	LandSat 8	$(B4-B3)/(B4+B3)$	B3+B2+B1
2014	-0.0091	0.5870	0.2149	0.0944	LandSat 8	$(B4-B3)/(B4+B3)$	B3+B2+B1
2015	0.0042	0.5272	0.1953	0.0720	LandSat 8	$(B5-B4)/(B5+B4)$	B4+B3+B2
2016	-0.0721	0.5938	0.2000	0.1117	LandSat 8	$(B5-B4)/(B5+B4)$	B4+B3+B2
2017	-0.0312	0.5603	0.1996	0.0925	LandSat 8	$(B5-B4)/(B5+B4)$	B4+B3+B2
2018	-0.0416	0.5795	0.2119	0.0999	LandSat 8	$(B5-B4)/(B5+B4)$	B4+B3+B2
2019	-0.0593	0.5953	0.2065	0.1025	LandSat 8	$(B5-B4)/(B5+B4)$	B4+B3+B2
2020	-0.0635	0.5758	0.2149	0.0891	LandSat 8	$(B5-B4)/(B5+B4)$	B4+B3+B2

En la tabla 1 se observa que el valor del NDVI mínimo fue -0.1765, esto representa a las aguas del río Opamayo que atraviesa el Valle de Pampas-Tayacaja, el valor máximo 0.7853, representa en su mayoría a las zonas con vegetación formado por árboles de eucalipto. El promedio del NDVI durante los 30 años fue de 0.2143, esto representa una vegetación escasa. La línea de tendencia de la figura 12 presenta una pendiente ligeramente negativa, lo que nos indica que la vegetación está en disminución considerando la época de estiaje.

Figura 11: NVDI promedio y línea de tendencia



En el trabajo se estableció que el índice de vegetación de diferencia normalizada del valle de Pampas Tayacaja en épocas de estiaje de los últimos 30 años es mayor que 0.2 y menor que 0.23. Siendo la hipótesis nula:

$$\mu \leq 0.20 \text{ y } \mu \geq 0.23$$

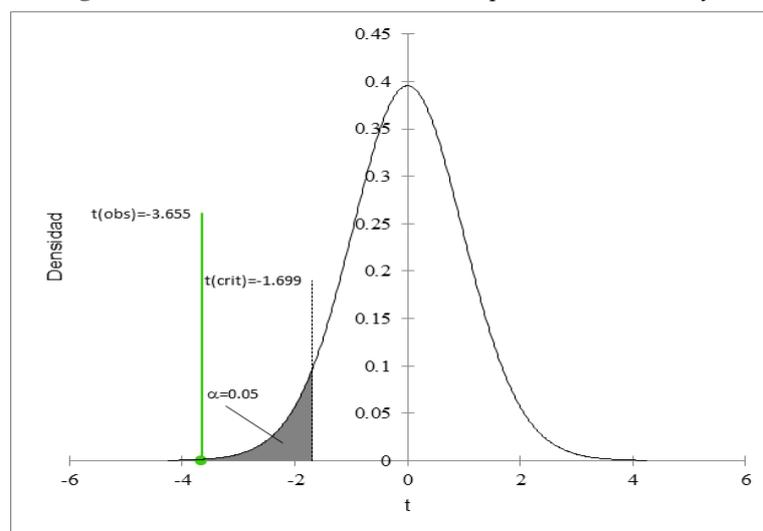
La hipótesis nula $\mu \geq 0.23$ fue sometida a prueba “t” de Student con cola a la izquierda, obteniendo el valor-p (unilateral) que se muestra en la tabla 2.

Tabla 2: Valores t observado/crítico y valor – p

Diferencia	-0.016
t (valor observado)	-3.655
t (valor crítico)	-1.699
GL	29
valor-p (unilateral)	0.001
α	0.05

La prueba t en forma gráfica lo vemos en la figura 13, donde el t(valor observado) se encuentra a la izquierda del t(valor crítico).

Figura 12: Distribución con cola a la izquierda de valores t y α



Sometida a prueba la hipótesis nula $\mu \geq 0.23$, se obtiene $t(\text{valor observado}) \leq t(\text{valor crítico})$, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Siendo entonces el índice de vegetación de diferencia normalizada del valle de Pampas Tayacaja en épocas de estiaje menor que 0.23.

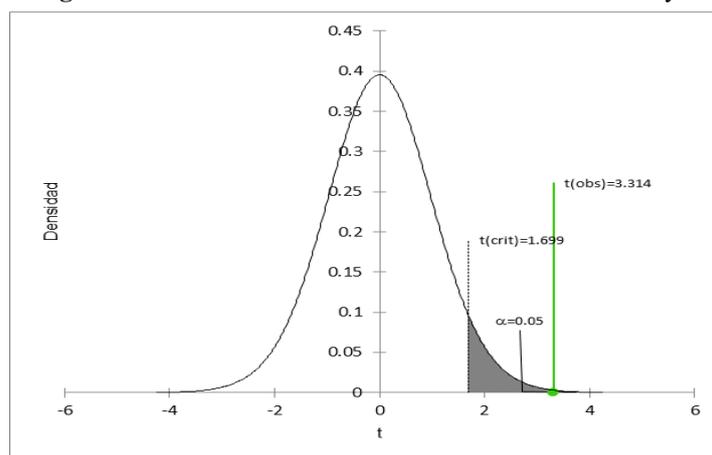
Del mismo modo la hipótesis nula $\mu \leq 0.20$ fue sometida a prueba “t” de Student con cola a la derecha, obteniendo el valor-p (unilateral) que se muestra en la tabla 3.

Tabla 3: Valores t observado/crítico y valor – p

Diferencia	0.014
t (Valor observado)	3.314
t (Valor crítico)	1.699
GL	29
valor-p (unilateral)	0.001
α	0.05

La prueba t en forma gráfica lo vemos en la figura 14, donde el t(valor observado) se encuentra a la derecha del t(valor crítico).

Figura 13: Distribución con cola a la derecha de valores t y α



Sometida a prueba la hipótesis nula $\mu \leq 0.20$, teniendo como $t(\text{valor observado}) \geq t(\text{valor crítico})$; se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Siendo entonces el NDVI del valle de Pampas Tayacaja en épocas de estiaje mayor a 0.20.

El valle de Pampas-Tayacaja, por estar ubicado en la zona del vertiente del Pacífico (GOREH, 2007) es de escasa vegetación teniendo un NDVI mayor a 0.20 y menor a 0.23, el mismo que fue calculado en un periodo de 30 años. Como indica Pérez (2014) este índice es usado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación por medio de varios sensores remotos instalados en una plataforma espacial como LandSat, teniendo en cuenta la capacidad de las plantas de emitir o reflejar la radiación de las bandas rojas e infrarrojas. Además la pendiente de la línea de tendencia del NDVI es ligeramente negativa, por lo que se debe reforestar este valle para mejorar la calidad del medio ambiente en beneficio de su población.

Referencias

1. Agency European Space. (2013). Los índices de vegetación. www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Global.../SEMJH5TWT1H_2.html
2. Akbari, H., & Konopacki, S. (2005). Calculating energy-saving potentials of heat-island reduction strategies. *Energy policy*, 33(6), 721–756. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.10.001>
3. Alonso, D. (2015). Qué es el NDVI y cómo formularlo? <http://mappinggis.com/2015/06/ndvi-que-es-y-como-calcularlo-con-saga-desde-qgis/>
4. Asrar, G., Myneni, R., Li, Y., & Kanemasu, E. T. (1989). Measuring and modeling spectral characteristics of a tallgrass prairie. *Remote Sens. Environ.* 27, 143–155. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(89\)90014-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(89)90014-X)
5. Carbajal, G. I. (2017). Estimación del índice de sequía a partir de datos imágenes NDVI y LST del sensor MODIS y TRMM para las regiones de Lambayeque, Piura y Cajamarca–Perú, durante el periodo 2000–2013.
6. Chuvieco, E. (2008). Teledetección ambiental, la observación de la tierra desde el espacio. (Ariel (ed.); Segunda).
7. García Haro, A. (2019). Procedimiento de cálculo de la Land Surface Temperature (LST) y Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) con imágenes Landsat-8 en ArcGIS.
8. Gascon, M., Cirach, M., Martínez, D., Dadvand, P., Valentín, A., Plasència, A., & Nieuwenhuijsen, M. J. (2016). Normalized difference vegetation index (NDVI) as a marker of surrounding greenness in epidemiological studies: The case of Barcelona city. *Urban Forestry & Urban Greening*, 19, 88–94. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.07.001>

9. GOREH. (2007). Estudio de diagnóstico y zonificación de la provincia de Tayacaja. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 246. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
10. Hasyim, A. W., & Hernawan, F. P. (2017). Distribution of green open space in Malang City based on multispectral data. *E&ES*, 70(1), 12001. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/70/1/012001>
11. Iizuka, K., & Tateishi, R. (2015). Estimation of CO₂ sequestration by the forests in Japan by discriminating precise tree age category using remote sensing techniques. *Remote Sensing*, 7(11), 15082–15113. <https://doi.org/10.3390/rs71115082>
12. Mamani, R. M. (2020). Índices de área verde y cobertura vegetal de la ciudad de La Paz. *Revista IIGEO*, 1(11), 60–75.
13. Mudede, M. F., Newete, S. W., Abutaleb, K., & Nkongolo, N. (2020). Monitoring the urban environment quality in the city of Johannesburg using remote sensing data. *Journal of African Earth Sciences*, 171, 103969. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2020.103969>
14. Pérez, L. (2014). Identificación de vegetación en imágenes satelitales. Instituto Politécnico Nacional.
15. Richards, J. A. (2013). *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction* (Springer (ed.); 5a ed.). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-30062-2>
16. Robinson, N. P., Allred, B. W., Jones, M. O., Moreno, A., Kimball, J. S., Naugle, D. E., Erickson, T. A., & Richardson, A. D. (2017). A dynamic Landsat derived normalized difference vegetation index (NDVI) product for the conterminous United States. *Remote Sensing*, 9(8), 863. <https://doi.org/10.3390/rs9080863>
17. Rufasto, E. M., Medina, C., Becerra, M. O., Morales, S. J., Barón, H. E., & Mejía, D. E. (2018). Estimación del rendimiento del cultivo de arroz con imágenes de satélite, datos insitu, valle Chancay-Lambayeque-Perú. *Revista Científica*, 8(1).
18. Santana, L. M., Escobar, L. A., & Capote, P. A. (2010). Estimación de un índice de calidad ambiental urbano, a partir de imágenes de satélite. *Revista de geografía Norte Grande*, 95(45), 77–95. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022010000100006>
19. Schmidt, C., & McCullum, A. (2016). La creación y el uso del Índice normalizado de diferencia de vegetación (Normalized Difference Vegetation Index o NDVI) a partir de imágenes satelitales. *National Aeronautics and Space Administration*, 22.

[https://arset.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/land/webinars/Advanced_NDVI/SPAN
ARSET_Advanced_NDVI_Week1_Final.pdf](https://arset.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/land/webinars/Advanced_NDVI/SPAN_ARSET_Advanced_NDVI_Week1_Final.pdf)

20. Team, Q. D. (2016). QGIS geographic information system. Open source geospatial foundation project.
21. Tudare, J. L. M., & Trejo, F. J. P. (2016). Variabilidad de la Vegetación con el Índice de Diferencia Normalizada (NDVI) en Latinoamérica. *Novum Scientiarum*, 4.
22. USGS. (2020, junio 2). EarthExplorer. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
23. Valor, E., & Caselles, V. (1996). Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African and South American areas. *Remote sensing of environment*, 57, 167–169. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(96\)00039-9](https://doi.org/10.1016/0034-4257(96)00039-9)
24. Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89(4), 467–483. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>

©2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).