

Proyección de la superficie de vegetación en la zona urbana de la provincia de Abancay en Perú, utilizando el Índice NDMI de EO Browser

Projection of the vegetation surface in the urban area of the province of Abancay in Peru, using the NDMI Index of EO Browser

<https://doi.org/10.47606/ACVEN/PH0269>

Jonathan Alfonso Chau Lam^{1*}

<https://orcid.org/0009-0008-9253-3555>
jchaulam001@gmail.com

Julio Cesar Rojas Flores³

<https://orcid.org/0009-0004-9284-1452>
U201916115@upc.edu.pe

Braulio Cesar Gonzales Enríquez⁴

<https://orcid.org/0009-0004-3520-9733>
11braulio11@gmail.com

Carlos Eduardo Dueñas Valcárcel²

<https://orcid.org/0000-0002-1141-6218>
Ceduenas@unajma.edu.pe

Edward Arostegui Leon²

<https://orcid.org/0000-0002-0517-8591>
earostegui@unajma.edu.pe

Miguel Ángel Maldonado Vega⁵

<https://orcid.org/0009-0003-8000-2072>
miguelmaldonado_24@hotmail.com

Recibido: 20/04/2024

Aceptado: 23/07/2024

RESUMEN

En el presente estudio se abordó la cobertura de vegetación en la zona urbana de la provincia de Abancay en la región Apurímac, en la que existe una creciente deforestación. El objetivo principal consistió en proyectar la superficie vegetal desde el año 2025 al 2030, con la finalidad de advertir las posibles realidades a futuro en el área de estudio, favoreciendo a la mejora de la planificación y al desarrollo urbano sostenible. Se emplearon datos recopilados entre los años 2017 y 2024, basados en imágenes del Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (NDMI) del portal EO Browser de Sentinelhub. Estos datos fueron procesados mediante el software ArcGis 10.8 ofreciendo información de; i) zonas áridas o urbanas desprovistas de vegetación y ii) áreas con cobertura vegetal. En el área de estudio, se evaluaron las superficies correspondientes a dos clasificaciones específicas. Luego, se aplicó un análisis de regresión lineal, obteniendo un valor de p igual a 0.032 y un coeficiente de determinación (R^2) de 0.565 en un rango medio. A partir de estos resultados, se proyectaron las posibles situaciones futuras. En conclusión, se observa una tendencia decreciente en la vegetación, con una disminución estimada del 10.54% entre los años 2025 al 2030.

Palabras claves: Abancay, NDMI, Teledetección, Vegetación.

1. JE&A CONSULTORIA INTEGRAL E.I.R.L. – Perú
 2. Universidad Nacional José María Arguedas- Perú
 3. Universidad Privada de Ciencias Aplicadas- Perú
 4. IM&RA CORE BUSINESS SAC- Perú
 5. Universidad Nacional Del Callao- Perú
- * Autor de correspondencia: Ceduenas@unajma.edu.pe

ABSTRACT

In this study, researchers focused on the vegetation cover within the urban area of Abancay Province in the Apurímac region. The region is experiencing a concerning rise in deforestation. The primary goal was to predict the vegetation surface from 2025 to 2030, in order to warn of the possible future realities in the study area, favoring the improvement of planning and sustainable urban development. Data recorded between the years 2017 to 2024 were used, from the images of the Normalized Difference Moisture Index (NDMI) from the Sentinelhub EO Browser portal. These data were processed using ArcGis 10.8 software, offering information on; i) arid or urban areas devoid of vegetation and ii) areas with vegetation cover. In the study area, surfaces corresponding to two specific classifications were evaluated. Then, a linear regression analysis was applied, obtaining a p value equal to 0.032 and a coefficient of determination (R^2) of 0.565 in a medium range. Based on these results, possible future situations were projected. In conclusion, a decreasing trend is observed in vegetation, with an estimated decrease of 10.54% between the years 2025 and 2030.

Keywords: Abancay, NDMI, Remote sensing, Vegetation.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento continuo de la población, que aumenta de manera exponencial, está influido por una combinación de factores económicos, tecnológicos, políticos y socio-psicológicos que impulsan la expansión de estas ciudades. El rápido crecimiento urbano conlleva un uso intensivo de recursos naturales no renovables y produce grandes cantidades de contaminantes que no pueden procesarse, asimilarse ni neutralizarse. Estos contaminantes alteran la cobertura vegetal del área a medida que las actividades económicas continúan aumentando.

Desafortunadamente, en numerosas ocasiones, no se tienen en cuenta las consecuencias a largo plazo de estos cambios, y en algunos casos, se llevan a cabo sin una planificación adecuada. Según la investigación de Pérez y colaboradores (2007), los bosques tropicales proporcionan muchos bienes y servicios ecosistémicos que son aprovechados por la sociedad. Sin embargo, no se ha evaluado suficientemente la vulnerabilidad de estos ecosistemas forestales frente al cambio climático.

En este contexto, acorde a Nolasco (2008), la ciudad de Abancay se encuentra amenazada por la ocurrencia de fenómenos geo climáticos las cuales están influenciadas por la deforestación ligadas a la ciudad y su entorno. Acorde al informe del Gobierno Regional de Apurímac en 2016, aproximadamente el 96% del territorio de la región se destina principalmente a tierras de protección, forestales y pastos. Sin embargo, lamentablemente, alrededor del 60% de ese territorio está experimentando desertificación, lo que significa una pérdida de productividad debido a factores como el sobrepastoreo y la deforestación.

Además, en Apurímac, la leña es un recurso vital para la energía, ya que más de 5000 TJ (Terajulios) provienen de su uso. Esto representa aproximadamente el 81% del consumo total de energía en la región. Ante esta problemática se está utilizando la teledetección para medir la deforestación en un periodo de tiempo haciendo uso de los índices obtenidos a partir de las imágenes satelitales. Según Juzga (2016), los Índices de Vegetación y Cobertura son imágenes generadas mediante cálculos basados en operaciones algebraicas entre diferentes bandas espectrales.

El resultado es una nueva imagen en la que se resaltan visualmente ciertos píxeles relacionados con características de las coberturas vegetales. Contreras (2023), es importante realizar un análisis a lo largo del tiempo por medio de regresiones lineales con el fin de detectar las variaciones en la cubierta forestal, a través de diferentes índices de vegetación, humedad, agua u otros factores. En esa línea según Boyd (2024), señala que el R^2 , o el coeficiente de determinación entre 0 y 1, donde 0 indica que la(s) variable(s) independiente(s) no puede(n) explicar nada de la varianza de la variable dependiente, y 1 indica que la(s) variable(s) independiente(s) puede(n) explicar toda la varianza.

Nejad et al (2019) y Moran et al (2020), la mayoría de los procesos que buscan determinar la cubierta forestal hacen uso de diferentes tipos de imágenes, las cuales, permiten obtener los índices de interés cuya aplicación son técnicas de corrección y procesamiento hasta la obtención de los índices de interés (NDVI, NDMI, NDFI, NMWI, entre otras); usualmente utilizadas para identificar las áreas de bosque y vegetación a lo largo del tiempo por medio de una regresión lineal. Peña et al. (2024), el NDMI se utiliza para determinar la vegetación y el contenido de agua, su rango fluctúa de -1 a +1, los valores negativos corresponderán a un suelo desnudo (menores a -0.8), una cubierta vegetal seca o muy baja (de -0.8 a 0). Los valores bajos entre 0 a 0.4 denotaran un índice de estrés hídrico, mientras que los valores altos (0.4 a 1) indicaran un alto contenido de cubierta vegetal y agua. Sankey et al. (2021), el NDMI como un indicador del contenido de agua de la vegetación proporciona información sobre las variaciones estacionales en el estado de la vegetación, cuando ocurre una perturbación, asimismo, si esta se recupera después de la perturbación o no.

Según EOS Data Analytics. (2023), el NDMI (Índice de Diferencia Normalizada de Humedad) es realmente una herramienta valiosa para evaluar el estrés hídrico en las etapas iniciales. Imagina que es como un detector temprano de señales de sed en la vegetación antes de que se convierta en una crisis total. Por otro lado, si bien se ha venido usando las imágenes satelitales para obtener los índices requeridos para los análisis de deforestación, últimamente se cuentan con geoportales en la web que permiten obtener estos índices ya procesados, listos para ser evaluados mediante un software de Sistemas de Información Geográfica. Uno de estos portales de acceso libre es el EO Browser de Sentinel Hub, que cuenta con imágenes satelitales de Sentinel 2 que son más actuales que las que provienen de los satélites Landsat usada en la mayoría de los análisis de deforestación.

Según Morera (2024), el satélite Landsat captura imágenes con una resolución por píxel de 30 x 30 m. Lo cual es muy inferior a lo que logran las

imágenes de Sentinel. Dado que este último cuenta con una resolución de 10 x 10 m. Asimismo, en comparación con Landsat, las imágenes de Sentinel también ofrece mejores prestaciones en cuanto a la frecuencia.

METODOLOGÍA

La región de estudio está ubicada en Perú, específicamente en la región de Apurímac, dentro de la provincia de Abancay. Este lugar está ubicado en la cordillera de los Andes, como se ilustra en la figura 1.



Figura 1. Ubicación de la provincia de Abancay. Tomado de Google Earth (2024)

Así mismo, la zona de estudio de la provincia de Abancay se aprecia en la figura 2:

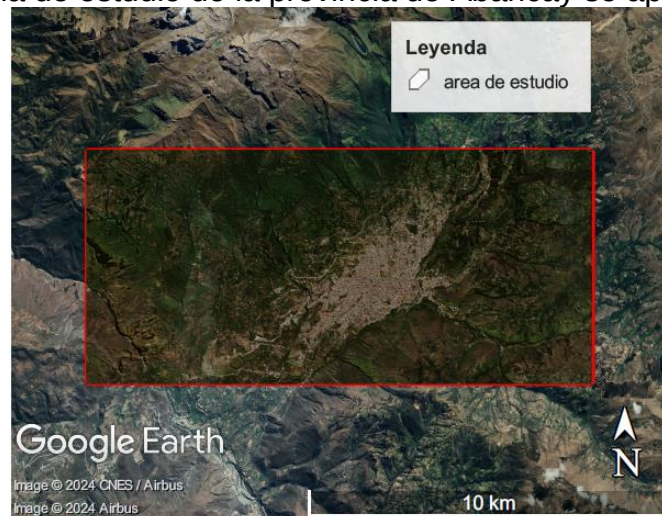


Figura 2. Área de estudio. Tomado de Google Earth (2024)

Las imágenes satelitales que utilizan el índice NDMI se obtienen ya procesadas a partir de los servicios de seguimiento del suelo proporcionados por Sentinelhub en su portal EO Browser y en formato geotiff por lo tanto ya se

encuentran georreferenciadas. Estas imágenes provienen de los satélites Sentinel 2 y han sido previamente sometidas a corrección atmosférica (EO Browser, 2014). La determinación del índice NDMI se detalla en el portal EO Browser, donde se especifican los intervalos que van desde -1 hasta +1 y su correspondencia con diferentes tonalidades y colores, tal como se presenta en la tabla 2.

Tabla 2.

Descripción del Índice NDMI del portal EO Browser

Descripción	Rangos de números y colores
El índice de humedad diferencial normalizado (NDMI) se utiliza para determinar el contenido de agua de la vegetación y monitorear las sequías. El rango de valores del NDMI es de -1 a 1. Los valores negativos del NDMI (valores cercanos a -1) corresponden a suelos estériles. Los valores altos y positivos representan un dosel alto sin estrés hídrico (aproximadamente de 0,4 a 1).	

Fuente: elaboración propia (2024)

En este estudio, se utiliza la técnica de clasificación no supervisada para convertir las imágenes obtenidas mediante el análisis del NDMI en vectores. La clasificación no supervisada es un método automatizado que se basa en las características comunes de los píxeles de una imagen sin requerir información previa sobre áreas específicas.

Para realizar esta clasificación, se emplean algoritmos como el K-means, y es necesario especificar el número deseado de clases. Así mismo, estas imágenes a obtener del portal EO Browser han sido analizadas entre los meses de mayo y junio por presentar, en estos meses, menos nubosidad y con una distancia no mayor de 30 días; que se encuentran entre el 18 de mayo al 16 de junio de los años 2017 al 2024.

Se realiza este enfoque para evitar que los resultados se vean influenciados por las variaciones estacionales en las precipitaciones. Se llevó a cabo la vectorización mediante una clasificación no supervisada de imágenes utilizando el análisis NDMI para el período de 2017 a 2024.

El objetivo era obtener archivos en formato shapefile utilizando el software ArcGIS 10.8, considerando dos categorías de clasificación; i) valores negativos hasta -1 (zonas áridas o urbanas desprovistas de vegetación) y ii) valores positivos hasta +1 (áreas con cobertura vegetal).

Posteriormente, se calculan las áreas correspondientes a las dos clasificaciones desde 2017 hasta 2024 utilizando el software ArcGIS 10.8. Después, se realiza un análisis de regresión lineal sobre los valores de la clasificación (ii) de las áreas con cobertura vegetal mediante el uso del software IBM SPSS 27.0. El objetivo es encontrar una ecuación que permita estimar la vegetación para el año 2030.

RESULTADOS

En la figura 3 se presenta el índice NDMI durante el período de 2017 a 2024, obtenido directamente del portal EO Browser. Este índice es relevante para evaluar la humedad del suelo y la vegetación utilizando datos satelitales. Los colores y tonalidades que se muestran en la figura están detallados en la tabla 2.

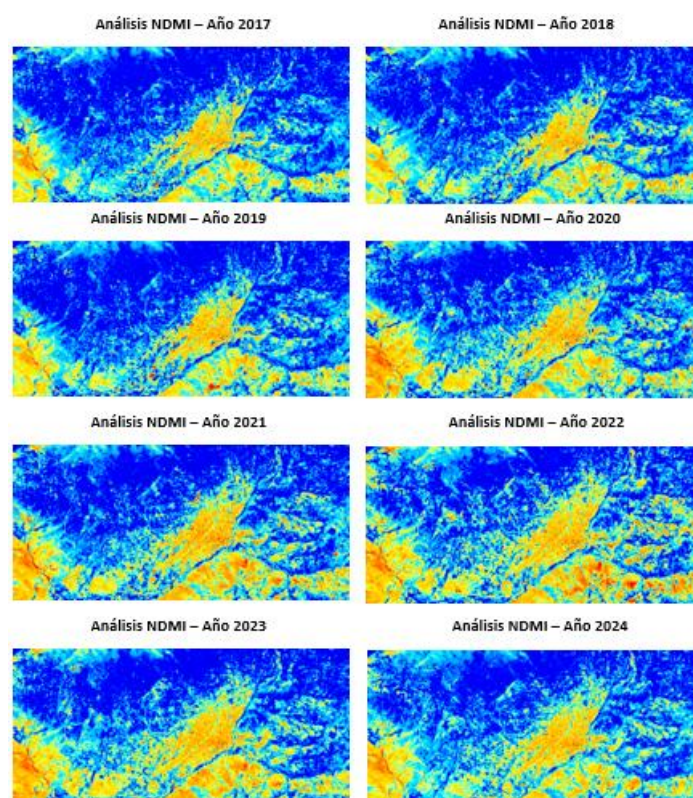


Figura 3. Imágenes NDMI en el periodo 2017-2024. Los autores (2024)

En la siguiente sección, se detallan las áreas correspondientes a las dos clasificaciones durante los años 2017 al 2024. Estos datos se obtuvieron a partir de las imágenes NDMI disponibles en el portal EO Browser. Además, en la figura 4 se presenta una comparativa visual de las superficies de las diferentes zonas.

Tabla 3.

Superficies de las zonas obtenidas del análisis NDMI

Año	Zonas áridas o urbanas desprovistas de vegetación (clasificación i) en ha	Áreas con cobertura vegetal (clasificación ii) en ha
2017	1945.567618	7210.828022
2018	2121.21637	7035.049991
2019	2130.561313	7025.703871
2020	2622.892846	6533.526605
2021	2634.403471	6521.990266
2022	3179.926978	5976.458188
2023	2872.595738	6283.796674
2024	2495.520744	6660.892204

Fuente: elaboración propia (2024)

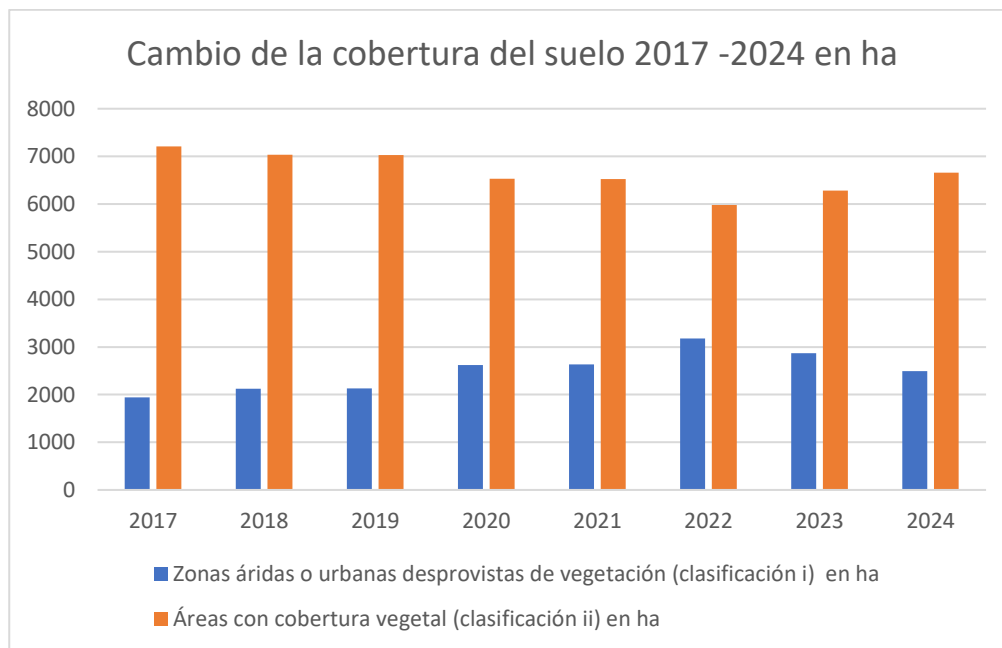


Figura 4. Comparación de superficie de clasificaciones. Los autores (2024)

Al aplicar la regresión lineal a las áreas con cobertura vegetal entre los años 2017 al 2024, se obtuvo un valor de p igual a 0.032. Sin embargo, el coeficiente de determinación (R^2) fue de 0.565, lo que indica un valor intermedio. En otras palabras, aproximadamente el 56.5% de la variación de la vegetación está relacionada con el año estudiado, mientras que el 43.5% restante depende de otros factores. Esto se refleja en la figura 5 y la tabla 4.

Tabla 4.
Análisis ANOVA y R^2

ANOVA^a

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	689804,630	1	689804,630	7,784	,032 ^b
	Residuo	531684,010	6	88614,002		
	Total	1221488,639	7			

a. Variable dependiente: Área con cobertura vegetal en ha

b. Predictores: (Constante), Año

Resumen del modelo ^b				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,751 ^a	,565	,492	297,68104

a. Predictores: (Constante), Año

b. Variable dependiente: Área con cobertura vegetal en ha

Fuente: elaboración propia (2024)

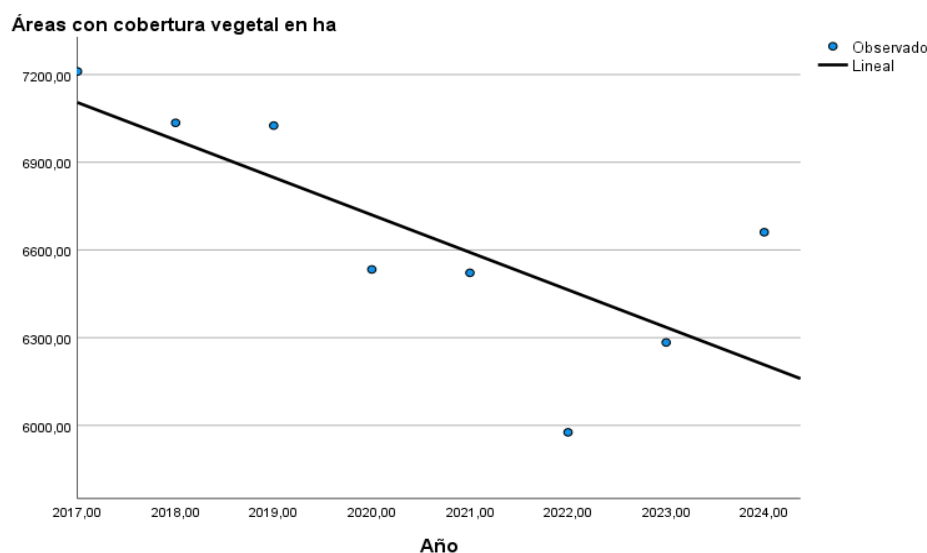


Figura 5. Modelo lineal de los datos del área con cobertura vegetal. Los autores (2024)

La ecuación que permite estimar en la presente investigación la superficie del bosque hasta el año 2030 está representada de la siguiente manera y se obtiene de la tabla 5:

$$Y = 265594,909 - 128,156X$$

Siendo:

Y = Área en ha

X= Año

Tabla 5.

Coeficientes para determinar la ecuación de la regresión lineal

		Coeficientes ^a			t	Sig.
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		
		B	Desv. Error	Beta		
1	(Constante)	265594,909	92808,053		2,862	,029
	Año	-128,156	45,933	-,751	-2,790	,032

a. Variable dependiente: Área con cobertura vegetal en ha

En la tabla 6 se presentan las estimaciones del área con cobertura vegetal para el período comprendido entre 2025 - 2030. Estas estimaciones se calcularon utilizando la fórmula proporcionada: $(Y = 265594.909 - 128.156X)$. En esta ecuación, Y representa el área de cobertura vegetal en hectáreas, y X corresponde al año de estudio, abarcando desde 2025 hasta 2030. Se observa que la tendencia total del periodo 2025 al 2030 es decreciente en -10.54%.

Tabla 6.

Estimación de las áreas con cobertura vegetal del año 2025 al 2030

Año	Área proyectada en ha
2025	6079.009
2026	5950.853
2027	5822.697
2028	5694.541
2029	5566.385
2030	5438.229

Fuente: Los autores (2024)

Durante el período completo entre 2017 y 2024, se observó un descenso en la cobertura forestal del 7.63%. Desde 2017 hasta 2022, la tendencia fue a la baja, pero hubo un cambio en 2023 con un aumento del 5.14%, seguido de un incremento aún mayor en 2024, con un 6% adicional, tal cual se observa en la tabla 6.

Tabla 6.

Porcentaje de cambio en la cobertura forestal obtenidas del Índice NDV

Año	Áreas con cobertura vegetal (clasificación ii) en ha	% de variación
2017	7210.828022	
2018	7035.049991	-2.437695511
2019	7025.703871	-0.132850797
2020	6533.526605	-7.005380173
2021	6521.990266	-0.176571394
2022	5976.458188	-8.3645031
2023	6283.796674	5.142485337
2024	6660.892204	6.001077845
2017 -2024		-7.626527998

Fuente: los autores (2024)

CONCLUSIONES

Tendencia de la Cobertura Vegetal (2017-2024): En el área urbana, se ha observado una disminución progresiva de la cobertura vegetal según el análisis del índice NDMI desde 2017 hasta 2024, con una reducción del 7.62%. Esto sugiere que la vegetación ha estado disminuyendo en esa zona durante ese período.

Análisis Estadístico (R2): El coeficiente de determinación (R^2) obtenido es 0.565, lo cual se encuentra en un rango medio. Esto significa que aproximadamente el 56.5% de la variabilidad en las estimaciones de la cobertura vegetal puede ser explicada por el año de estudio. En otras palabras, el año tiene cierta influencia en los cambios observados. Estimación para el Periodo 2025-2030: La estimación del área de cobertura vegetal para el período de 2025 a 2030 muestra un valor p (p-valor) de 0.032. Esto sugiere que existe una tendencia decreciente pronunciada del 10.54% en la cobertura vegetal durante esos años.

REFERENCIAS

- Boyd, A. (2024). Entender R2: guía sobre el coeficiente de determinación. <https://shallbd.com/es/entender-r2-guia-para-principiantes-sobre-el-coeficiente-de-determinacion/>
- Contreras Quispe, Leonidas Valerio. (2023). Evaluación De La Fenología De La Vegetación Según El Índice De Vegetación De Diferencia Normalizada Mediante Imágenes Satelitales En El Distrito De Socos-Ayacucho, 2017 Y 2021.
- EO Browser. (2014). Sentinelhub. Discover Copernicus Browser, Recuperado de <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/?zoom=9&lat=41.43027&lng=12.07484&themeld=DEFAULT-THEME&toTime=2024-01-13T15%3A18%3A47.171Z>
- EOS Data Analytics. (2023). NDMI: Índice de Humedad de Diferencia Normalizada. <https://eos.com/es/make-an-analysis/ndmi/>
- Gobierno Regional de Apurímac. (2016). Incremento de la Cobertura Forestal para Mejorar los Servicios Ambientales en la Región Apurímac, SIAR Apurímac,

- Recuperado de <https://www.cooperacionsuiza.pe/wp-content/uploads/2017/09/gore-apurimac-sacha-tarpuy-mesa-tematica-forestal-sepia.pdf>
- Juzga, M. A. (2016). Comparación de índices de vegetación en el cerro de la conejera de la ciudad de Bogotá. (Tesis de Grado. Universidad Militar Nueva Granada). Recuperado de <http://hdl.handle.net/10654/15663>.
- Morán, H. C., & Enriquez, F. O. (2020). Determinación con imágenes satelitales del índice de vegetación de diferencia normalizada del valle de Pampas-Tayacaja. Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional, 5(1), 228-245.
- Morera, M. (2024, 3 marzo). Los 5 motivos por los que Sentinel es el mejor satélite en agricultura. RawData. <https://agrawdata.com/blog/sentinel-5-motivos-mejor-satelite-agricultura/>
- Nejad, Marjan Firoozy, and Amin Zoratipour. (2019). Assessment of Lst and NDMI Indices Using Modis and Landsat Images in Karun Riparian Forest.
- Nolasco, M. I. M. (2008). Diagnóstico sobre la situación de riesgos, y conocimientos en prevención, control y contingencia de incendios dentro de las áreas de trabajo del programa Ecobona.
- Peña-Molina, Esther, Daniel Moya, Eva Marino, José Luis Tomé, Álvaro Fajardo-Cantos, Javier González-Romero, Manuel Esteban Lucas-Borja, and Jorge de las Heras. (2024). "Fire Vulnerability, Resilience, and Recovery Rates of Mediterranean Pine Forests Using a 33-Year Time Series of Satellite Imagery." Remote Sensing 16, no. 10: 1718. <https://www.mdpi.com/2072-4292/16/10/1718>.
- Pérez, C. J., Locatelli, B., Vignola, R., y Imbach, P. (2007). Importancia de los bosques tropicales en las políticas de adaptación al cambio climático. Recursos Naturales y Ambiente, 51(52), pp. 4-11. Recuperado de https://www.cifor.org/publications/pdf_files/articles/ALocatelli0801.pdf
- Sankey, T.; Belmonte, A.; Massey, R.; Leonard, J. (2021). Efectos de la restauración forestal a escala regional en la resiliencia de los ecosistemas a la sequía: una síntesis de las tendencias de la vegetación y la humedad en Google Earth Engine. Remote Sens. Ecol. Conserv. 7, 259–274.