

TRANSICIÓN DE MODIS A VIIRS: ANÁLISIS COMPARATIVO DEL NDVI PARA EL MONITOREO DE LAS CONDICIONES VEGETATIVAS EN EL PERÚ

Yerson Ccanchi¹, Ricardo Zubieta¹

¹ Instituto Geofísico del Perú (IGP), Lima, Perú

Palabras clave: NDVI, MODIS, VIIRS, vegetación herbácea, Andes-Amazonía

Citar como Ccanchi, Y., & Zubieta, R. (2023). Transición de MODIS a VIIRS: Análisis comparativo del NDVI para el monitoreo de las condiciones vegetativas en el Perú. *Boletín científico El Niño*, Instituto Geofísico del Perú, vol. 10 n.º 10, págs. 12-16.

Resumen

En este estudio se realiza un análisis comparativo entre el índice de vegetación NDVI obtenido a través de los sensores MODIS y VIIRS en las regiones costeras, andinas y amazónicas del Perú. Se identifica una correlación significativa en áreas con vegetación herbácea que contrasta con las bajas correlaciones existentes en áreas que albergan vegetación arbórea. Aunque se observan patrones temporales similares, las diferencias estacionales entre los sensores sugieren consideraciones específicas para cada tipo de vegetación. Se destaca, además, el papel crucial de las condiciones climáticas, especialmente la alta nubosidad durante el periodo de lluvias, que podrían ser responsables de introducir fuentes significativas de error en las mediciones de reflectividad. Estos hallazgos subrayan la importancia de entender las particularidades de los sensores y tipos de vegetación, así como considerar los impactos de las condiciones climáticas para mejorar la concordancia entre productos, especialmente ante la transición de MODIS a VIIRS. Este estudio contribuye al respaldo científico en el monitoreo vegetativo, siendo de especial relevancia dada la próxima finalización de la vida útil de los sensores MODIS.

1. Introducción

En las últimas décadas, se ha observado en los Andes peruanos un aumento en el número de emergencias debido a incendios forestales (Zubieta et al., 2023), las cuales han tenido diversos impactos en el medio ambiente, la sociedad y la economía, según informa el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI, <https://portal.indeci.gob.pe/informe/>). Para reducir dichos impactos, es crucial contar con herramientas tecnológicas dispuestas en sistemas de prevención que proporcionen información relevante en tiempos oportunos. El Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgo de Desastres (CENEPRED) enfatiza la necesidad de evaluar la cobertura vegetal en zonas propensas a incendios forestales, ya que este factor es importante en la propagación del fuego (CENEPRED, 2020).

Por otro lado, los productos obtenidos mediante sensores remotos pueden constituir una fuente de datos alternativa, tal como se evidencia en el monitoreo de la vegetación de la zona andina-amazónica del Perú mediante productos derivados de satélites (<https://www.igp.gob.pe/incendios-forestales/>). El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por

sus siglas en inglés), el cual es calculado a partir de la reflectividad de las bandas del espectro rojo e infrarrojo cercano (NIR), es utilizado ampliamente para evaluar la vegetación (Rouse et al., 1974), pero su aplicabilidad depende de la disponibilidad de datos temporales y espaciales adecuados. El sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) en los satélites Terra y Aqua ha sido valioso desde hace más de dos décadas; no obstante, estos satélites están llegando al final de su vida útil, lo que afectaría la continuidad de servicios basados en su disponibilidad de datos.

Con la finalidad de mejorar y continuar la recopilación de datos realizado por MODIS, se lanzó en 2011 el sensor VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) a bordo del satélite Suomi National Polar-orbiting Partnership (S-NPP) (Skakun et al., 2018). En tal sentido, esta investigación tiene como objetivo comparar los datos de NDVI de MODIS y VIIRS para evaluar su coherencia, y determinar si VIIRS es una alternativa viable para la continuidad de los datos MODIS en el monitoreo de condiciones vegetativas con fines de prevención de incendios forestales.

2. Metodología

Para la presente investigación se utilizan datos de NDVI de los productos MOD13Q1, obtenido de MODIS (en adelante NDVIm), y VNP13A1, obtenido de VIIRS (en adelante NDVlv), para el periodo 2012-2022 (<https://appeears.earthdatacloud.nasa.gov>). Estos productos son compuestos de cada dieciséis (16) días de datos que tienen una resolución espacial aproximada de 250 y 500 metros para MODIS y VIIRS, respectivamente. La calidad de los datos se garantiza mediante la eliminación de píxeles afectados por problemas del sensor, condiciones atmosféricas y tipo de superficie, basándose en la capa de control de calidad (QA) de ambos productos. Para reducir píxeles vacíos se generan promedios mensuales. Para mantener ambos productos a la misma resolución espacial, los compuestos mensuales de NDVIm se regrillan a la resolución de NDVlv. Para mejorar la comparación entre NDVIm y NDVlv, se seleccionan los píxeles que coinciden espacialmente entre sus equivalentes temporales.

Debido a las notables diferencias en la vegetación entre las regiones costeras, andinas y amazónicas, y

con la finalidad de hacer el análisis de los datos, se dividió el territorio peruano en nueve zonas (Figura 1a): costa norte (CON), costa centro (COC), costa sur (COS), sierra norte (SIN), sierra centro (SIC), sierra sur (SIS), selva norte (SEN), selva centro (SEC) y selvasSur (SES). Cabe señalar que esta regionalización se basa en la metodología utilizada por SENAMHI (2016). Se ha empleado también el Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú del Ministerio del Ambiente (MINAM) (<https://geoservidor.minam.gob.pe/recursos/intercambio-de-datos/>) para agrupar los tipos de vegetación y generar un mapa de cobertura vegetal. Además, se utilizaron los datos de incendios forestales registrados por el MINAM entre 2002 y 2022 (<https://geoservidorperu.minam.gob.pe/geocfoi/minam/home/index>) para evaluar el desempeño del NDVlv sobre estas zonas. Por último, el procesamiento de los datos incluye, primero, el análisis de correlación a nivel de píxel para toda la serie mensual de NDVIm y NDVlv sobre las nueve zonas y, luego, el análisis comparativo de la evolución mensual promedio de NDVIm y NDVlv para las nueve zonas.

3. Resultados

El análisis espacial de la correlación temporal a nivel de píxel entre los datos cada 16 días de NDVIm y NDVlv (Figura 1c) reveló una significativa correlación positiva ($r > 0.7$; $p\text{-valor} < 0.05$) en las zonas donde predominantemente se han registrado incendios forestales en las últimas décadas (Figura 1a y c.). Como se muestra en la Figura 1b, estos territorios se caracterizan por presentar una predominancia de vegetación de tipo herbácea, como los pastizales altoandinos o los pastos cultivados. En contraste, se observaron correlaciones significativamente más bajas ($r < 0.2$) en regiones con vegetación limitada a lo largo de la costa y en áreas con densa vegetación arbórea como la selva amazónica (Figura 1c).

En términos generales, el NDVlv sigue un patrón temporal mensual promedio similar al mostrado mediante NDVIm en las nueve regiones de análisis. En las regiones costeras (CON, COC y COS), el NDVlv muestra valores ligeramente superiores entre mayo y diciembre, con diferencias de alrededor de ± 0.02 unidades de NDVI, que representan aproximadamente $\pm 2\%$ en una escala de 0 a 1,

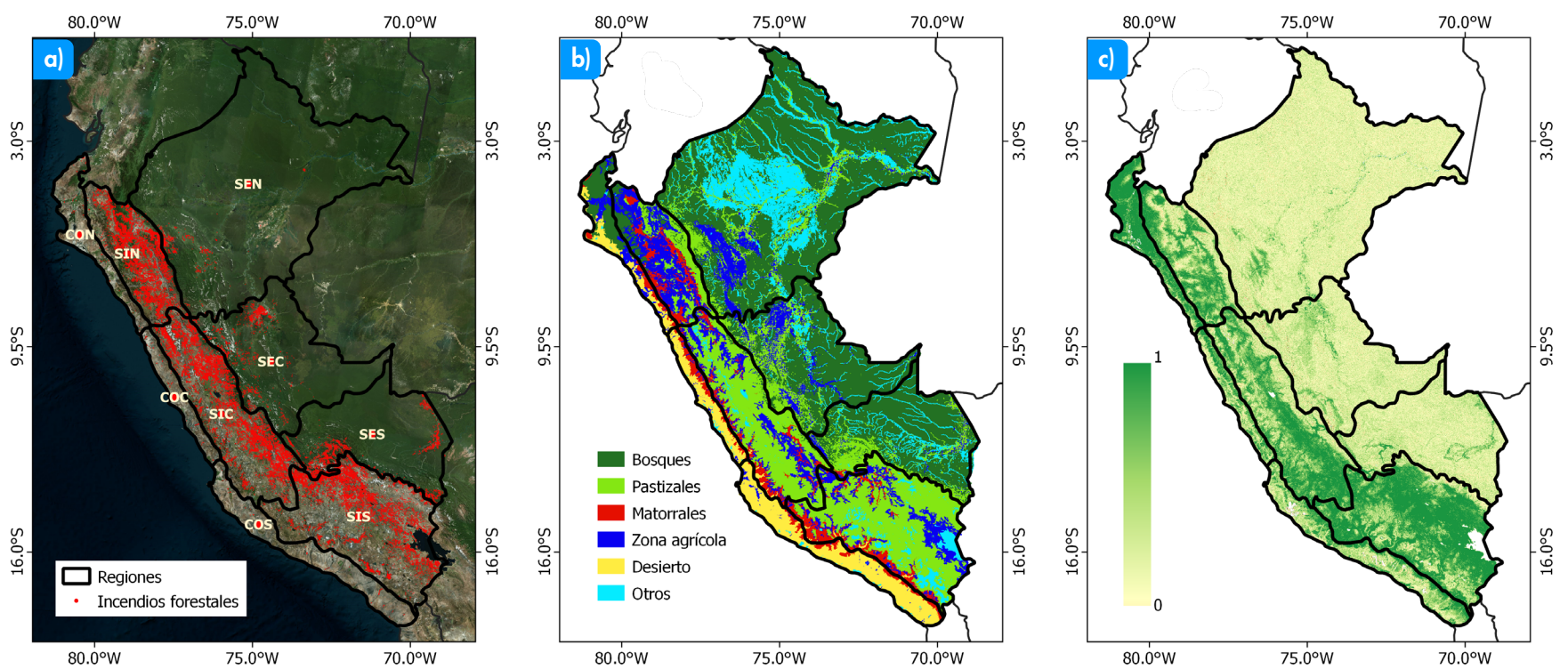


Figura 1. Distribución espacial de (a) los incendios forestales. Se denotan las regiones de estudio, (b) la cobertura vegetal y (c) la correlación temporal entre NDVI_m y NDVI_v durante el periodo de estudio.

donde 0 es suelo desnudo y 1 es vegetación densa (Figura 2a, b, c). En las regiones andinas (SIN y SIC), el NDVI_v es consistentemente más bajo entre enero y abril que el NDVI_m, con una diferencia máxima de -0.1 (-10 %) (Figura 2d, e). Sin embargo, durante el resto del año, el NDVI_v supera al NDVI_m en hasta +0.03 unidades (+3 %). En la región SIS, el NDVI_v se mantiene ligeramente por encima del NDVI_m durante todo el año, con diferencias menores a +0.03 unidades (+3 %) (Figura 2f). En las regiones amazónicas (SEN, SEC y SES), el NDVI_v muestra un comportamiento coherente con el NDVI_m, con excepción del periodo diciembre-marzo, en el cual llega a tener diferencias de hasta -0.08 unidades (-8 %). En los meses siguientes, estas diferencias oscilan en un rango de ± 0.02 unidades (± 2 %) (Figura 2g, i). Esta diferenciación estacional entre NDVI_m y NDVI_v, entre diciembre y marzo, podría deberse al rol que ejerce la alta nubosidad presente en el periodo húmedo o periodo de lluvias intensas al contar con una limitada cantidad de imágenes idóneas para la estimación de reflectividad o NDVI.

Los sesgos observados en las comparaciones entre las estimaciones obtenidas mediante los sensores MODIS y VIIRS tienen su origen principalmente en las diferencias inherentes a las bandas utilizadas y en las particularidades de sus respuestas espectrales (Skakun et al., 2018). Entre estas diferencias, la banda roja destaca como la principal fuente de error al calcular

índices de vegetación, debido a su estrecha relación con los efectos atmosféricos que pueden persistir incluso después de aplicar correcciones atmosféricas (Jarchow et al., 2018).

Las bajas correlaciones en las regiones amazónicas pueden atribuirse a la complejidad inherente de estimar el NDVI a partir de datos satelitales en áreas de alta biomasa (Huete et al., 2002). Las variaciones en la reflectividad complican la medición precisa de los cambios en el dosel vegetal, lo cual se ve agravado por el alto contenido de vapor de agua durante la temporada húmeda que podría introducir variaciones en las mediciones (Jarchow et al., 2018). Asimismo, se observaron correlaciones bajas sobre las zonas más áridas de la costa. Esta observación no resulta inesperada, dado que las propiedades de los suelos carentes de vegetación, como el brillo, el color y la humedad, pueden interferir con la respuesta espectral en las bandas roja y NIR. Estas perturbaciones pueden dar lugar a errores en la detección y cuantificación del NDVI (Miura et al., 2021).

Las diferencias más continuas en la evolución promedio del NDVI_v con respecto a NDVI_m se evidencian entre marzo y diciembre, lo que coincide con la temporada de estiaje e inicio de la temporada de lluvias en el Perú (SENAMHI, 2016). No obstante, estas diferencias se acrecientan aún más durante el periodo de lluvias. Las condiciones de nubosidad entre diciembre y abril

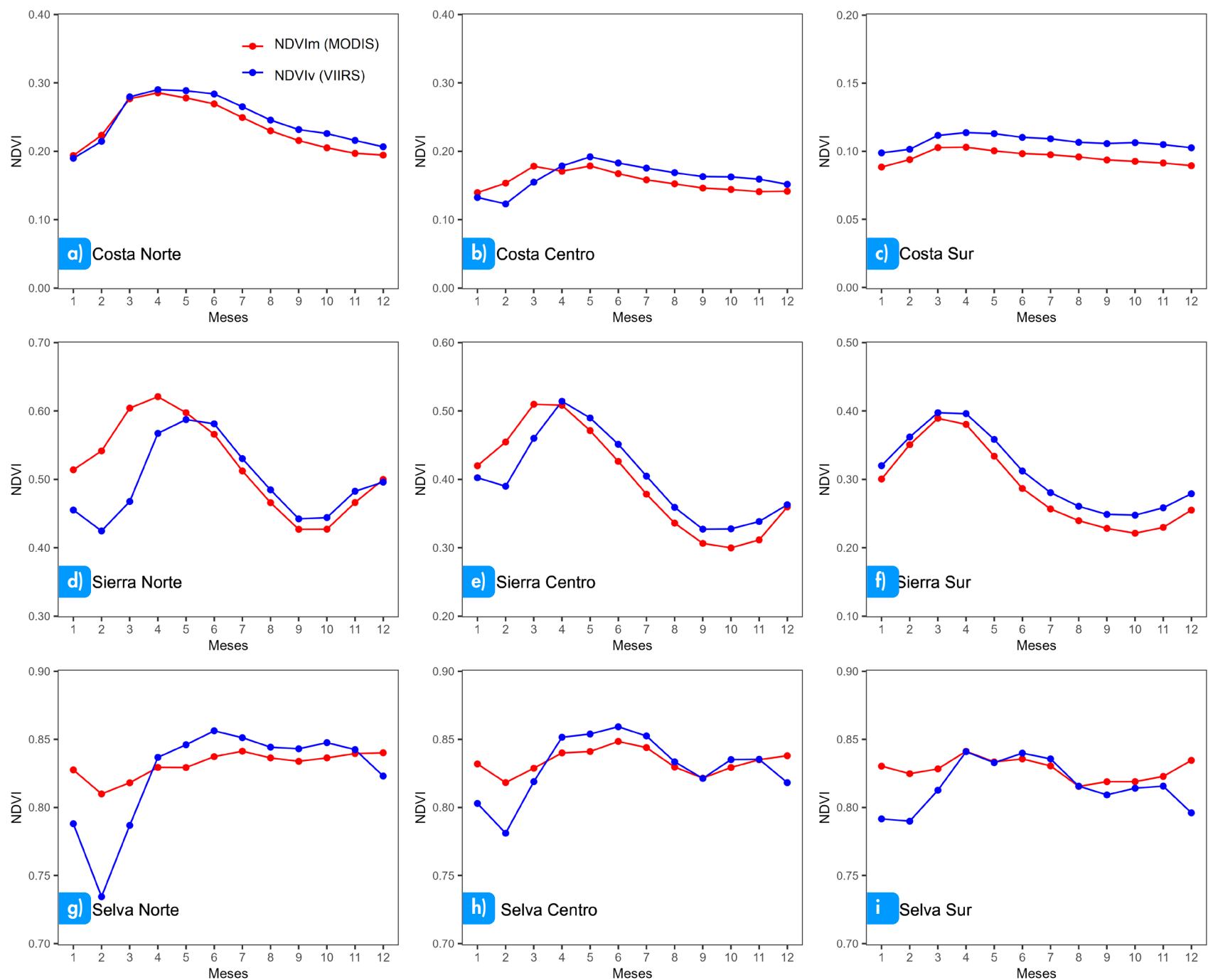


Figura 2. Evolución mensual promedio del NDVI_{Im} y NDVI_V para cada región de análisis.

podrían introducir fuentes significativas de error, dado que las mediciones de reflectividad podrían verse influenciadas por el incremento de la humedad atmosférica y un mayor número de píxeles afectados debido a la presencia de nubes circundantes (Jarchow et al., 2018). Estos resultados son consistentes con la información que provee la NASA a través de su web (https://viirsland.gsfc.nasa.gov/Val/VI_Val.html), acerca de la validación del conjunto de productos de índices de vegetación VIIRS.

4. Conclusiones preliminares

Este estudio proporciona una primera aproximación acerca de la relación del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) estimado por los

sensores VIIRS y MODIS en las regiones costeras, andinas y amazónicas del Perú. Destacamos las notables similitudes, tanto en términos espaciales como temporales, que predominan en las áreas cubiertas por vegetación de tipo herbácea.

Aunque es factible mejorar la concordancia entre ambos productos, enfatizamos la importancia de considerar las particularidades de los diferentes tipos de vegetación, así como la influencia de factores atmosféricos y las características inherentes de los sensores utilizados. Este trabajo desempeña un rol esencial en la continuidad de estudios o investigaciones con fines de soporte científico para el monitoreo de la vegetación empleando productos de NDVI a partir de VIIRS, dado el cumplimiento de la vida útil de los sensores MODIS.

Referencias

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (2020). *Escenario de riesgo por incendios forestales*. Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgo de Desastres. CENEPRED.

Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote sensing of environment*, 83(1-2), 195-213. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)

Jarchow, C. J., Didan, K., Barreto-Muñoz, A., Nagler, P. L., & Glenn, E. P. (2018). Application and comparison of the MODIS-derived enhanced vegetation index to VIIRS, landsat 5 TM and landsat 8 OLI platforms: A case study in the arid colorado river delta, Mexico. *Sensors*, 18(5), 1546. <https://doi.org/10.3390/s18051546>

Miura, T., Smith, C. Z., & Yoshioka, H. (2021). Validation and analysis of Terra and Aqua MODIS, and SNPP VIIRS vegetation indices under zero vegetation conditions: A case study using Railroad Valley Playa. *Remote Sensing of Environment*, 257, 112344. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112344>

Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*. NASA Spec. Publ, 351(1), 309.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2016). *Ciclos horarios de precipitación en el Perú utilizando información satelital*. <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/112>

Skakun, S., Justice, C. O., Vermote, E., & Roger, J. C. (2018). Transitioning from MODIS to VIIRS: an analysis of inter-consistency of NDVI data sets for agricultural monitoring. *International journal of remote sensing*, 39(4), 971-992. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1395970>

Zubieta, R., Ccanchi, Y., Martínez, A., Saavedra, M., Norabuena, E., Alvarez, S., & Ilbay, M. (2023). The role of drought conditions on the recent increase in wildfire occurrence in the high Andean regions of Peru. *International Journal of Wildland Fire*, 32(4) 531-544. <https://doi.org/10.1071/wf21129>