

Análisis multitemporal del NDDI, comparación con el NDWI para determinar la sequía en la Reserva Nacional de Tumbes, Perú, 1986 - 2019

Multi-temporal analysis of NDDI, comparison with the NDWI to determine the drought in the Tumbes National Reserve, Peru, 1986 - 2019

Jalmer Campaña-Olaya^{1,*}; Eber Gines Tafur¹

¹ Escuela de agronomía- Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Tumbes; Av. Universitaria S/N, Pampa Grande, Tumbes, Perú.

*Autor corresponsal: jcampanao@untumbes.edu.pe (J. Campaña-Olaya).

ID ORCID de los autores

J. Campaña-Olaya:  <https://orcid.org/0000-0002-0804-1208>

E. Gines Tafur :  <http://orcid.org/0000-0003-0366-4438>

RESUMEN

La presente investigación se realizó en la reserva nacional de Tumbes (RNTumbes) con la finalidad de determinar la existencia de sequía, así como las áreas que están bajo impacto desde sequías moderadas a sequías con comportamiento anormal. El objetivo del presente trabajo fue comparar los índices de sequía NDWI y NDDI y elaborar mapas temáticos del área en estudio. Se obtuvieron imágenes del servicio geológico de los Estados Unidos (USGS), seleccionadas desde el año 1986 al año 2019. Para la determinación de la sequía se utilizó el NDWI y el NDDI. Para el NDWI se determinaron las áreas para analizar el comportamiento de la sequía y se determinó el NDDI para su comparación con el NDWI. Los resultados de este estudio permiten concluir en: a) Con respecto a la sequía el NDWI, tuvo valores que oscilaron entre -0,5 a 0,7 en la RNTumbes, clasificándose como una sequía débil y contenido de humedad bajo; y b) El NDDI en la Reserva Nacional de Tumbes alcanzó valores entre -1189,04 y 1312,02, permitiendo una clasificación como suelos húmedos, aunque no están a su máxima capacidad de almacenaje de agua durante los años del presente análisis multitemporal.

Palabras clave: índices de sequía; reserva nacional; GIS; NDWI; NDDI.

ABSTRACT

The present investigation was carried out in the Tumbes National Reserve (RNTumbes) to determine the existence of drought, as well as the areas that are under impact from moderate droughts to droughts with abnormal behavior. The objective of the present work was to compare the NDWI and NDDI drought indices and to elaborate thematic maps of the study area. Images were obtained from the United States Geological Survey (USGS), selected from 1986 to 2019. For the determination of drought, the NDWI and NDDI were used. For the NDWI, the areas were determined to analyze the drought behavior and the NDDI was determined for its comparison with the NDWI. The results of this study allow us to conclude on: a) Regarding the drought, the NDWI had values that ranged from -0.5 to 0.7 in the RNTumbes, classifying it as a weak drought and low moisture content; and b) The NDDI in the Tumbes National Reserve reached values between -1189.04 and 1312.02, allowing a classification as humid soils, although they are not at their maximum water storage capacity during the years of this multitemporal analysis.

Keywords: drought indices; national reserve; GIS; NDWI; NDDI.

Recibido: 18-10-2021.
Aceptado: 28-11-2021.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

INTRODUCCIÓN

El departamento de Tumbes (Perú) ha sufrido sequías y por ende la reserva nacional de Tumbes; de 48 eventos analizados, 18 correspondían a periodos secos, de estos: 3 eventos fueron extremadamente secos (1968, 1978 y 1979), 2 eventos severamente secos (1974 y 1982) y 13 eventos moderadamente secos; en la Reserva Natural de Tumbes (RNT), la cobertura de bosques ha disminuido, existiendo un incremento de pastizales en 3314 ha (Martínez & Céspedes, 2017). La Teledetección satelital es la herramienta que nos permite estudiar los fenómenos que se dan en la Tierra; nos da información y mejor planificación del medio ambiente, en los últimos años se ha hecho necesario el uso de datos obtenidos de sensores remotos en búsqueda de información de los paisajes de la tierra a diferentes escalas, que se ajustan a una mejor planificación en relación con el medio ambiente, mediante esta técnica podremos evaluar y proyectar cambios que se dan en el ambiente (Logroño-Naranjo, López-Paredes, Moyano-Jácome, & Oyague-Bajaña, 2020)

La vegetación al sufrir un tipo de estrés, sus valores son bajos y nos muestran una vegetación enferma, mientras que valores mas altos nos señalan una vegetación sana con un gran vigor; los valores muy bajos indican áreas sin vegetación cuyos índices son cercanos al cero (Chuvieco, 1991); dado que los valores son normalizados, los valores del NDVI se encuentran entre -1 y 1, siendo los valores más cercanos a 1 los que tienen mayor vigor de la vegetación y los valores negativos corresponden a cuerpos de agua (Salinas-Zavala, Martínez-Rincón, & Morales-Zárate, 2017), El NDVI es necesario que sea determinado para poder determinar el NDDI; el NDVI es una herramienta para monitorear el estado de la vegetación y su dinámica temporal (Vicente-Serrano, Lasanta, & Romo, 2004); Los valores de NDVI varían entre -1 y +1, los valores de 0,1 y 0,2 corresponden a superficies de piedra, presencia de arena y nieve; valores de 0,3 corresponde a superficies con una escasa vegetación, valores comprendidos entre 0,4 y 0,6 son de áreas con bosques templados y los valores entre 0,8 - 1,0 son de superficies con vegetación

altamente densa y aquellos valores por debajo de cero señalan la presencia de agua (Schmid, 2017). El índice de agua de diferencia normalizada (NDWI) permite medir la cantidad de agua que existe en la vegetación o en el suelo, permite detectar cuerpos de agua y lugares que presentan estrés hídrico (May, Hernández, & Jacinto, 2021); el NDWI se usa para poder cuantificar la proporción de agua que existe en la vegetación, el cual permite el calculo del agua que hay en dicha cubierta vegetal, conocer el estrés o grado de saturación que posee la cobertura vegetal (Alvarado, Leandro, & Sarango, 2019); el NDWI permite determinar el NDDI y es utilizado para monitorear la sequía, es sensible a los cambios en el contenido de agua líquida de las cubiertas de vegetales (Heydari, Valadan Zoej, Maghsoudi, & Dehnavi, 2018).

Los índices de sequía se pueden estimar haciendo uso de los sensores remotos ya sea de forma integral y mediante criterios múltiples (Jiao, Tian, Chang, Novick, & Wang, 2019). Las sequías se han acentuado en los últimos años, siendo estas normales a principios de cada año por la presencia del fenómeno del niño, pero últimamente se han originado sequías y lluvias torrenciales, lo que produce deslizamientos del suelo e inundaciones producto del cambio climático (Aguilar, 2020).

El índice NDDI desde imágenes satelitales se utilizan para evaluar el marchitamiento de la vegetación o su falta de agua, este índice también tiene utilidad para la determinación de áreas que fueron afectadas por incendios forestales (Khampeera, Yongchalemchai, & Techato, 2018), El NDDI permite evaluar no solo las áreas que estan bajo severa sequía, sino que además aquellas áreas que estan bajo impacto de moderada sequía y una sequedad anormal, este indice permite determinar los factores que causan efectivamente aquellos altos niveles de vulnerabilidad de la sequía en las tierras altas (Nguyen, Mai, Bui, & Nguyen, 2016).

Los objetivos fueron Determinar el NDWI y el NDDI en la reserva nacional de Tumbes (Perú), determinar la presencia de sequía y elaborar mapas temáticos del área en estudio.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se obtuvieron imágenes satelitales de Landsat 5, Landsat 7 y Landsat 8, del servicio geológico de los Estados Unidos (USGS) de los años 1986 a 2019, las que fueron seleccionadas con el menor porcentaje de nubosidad, que nos brinden la mayor información, se utilizó el software ArcGis el cual nos permitió proceder al procesamiento de las imágenes, se extrajo solo el área en estudio de la reserva nacional de Tumbes de cada imagen haciendo uso de la herramienta extracción de mascara del área en mención, la cual se georeferencio, aquellas imágenes que tenían bandas o líneas por errores de escaneo, y no permitían determinar el NDWI y luego el NDDI, debido a que no presentaba toda la información por la presencia de bandas, se procedió luego a la corrección de las imágenes haciendo uso de la

herramienta denominada Fix Landsat 7 Scanline Error del toolbox, como se observa en la Figura 1; luego se aplicaron los algoritmos correspondientes para cada índice. Finalmente, haciendo uso de las tablas, se realizó la comparación de ellos en la determinación de la sequía, para después proceder al análisis multitemporal para ver si existió sequía en la reserva nacional de Tumbes durante el periodo del análisis. Se realizó la determinación del NDVI según figura 2, el cual era necesario para poder ser utilizado en el cálculo del NDDI de la reserva nacional de Tumbes y posteriormente se elaboró los mapas temáticos para cada uno de los índices antes mencionados y de esta manera poder evaluar el comportamiento de la sequía en la reserva nacional de Tumbes.

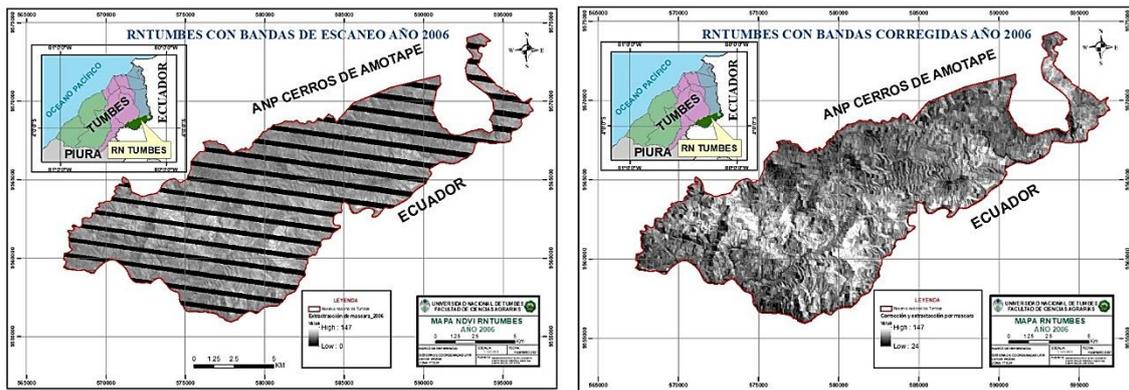


Figura 1. RNTumbes con bandeado de franjas o errores de scaneo y con corrección de franjas mediante Fix Landsat 7 Scanline Error.

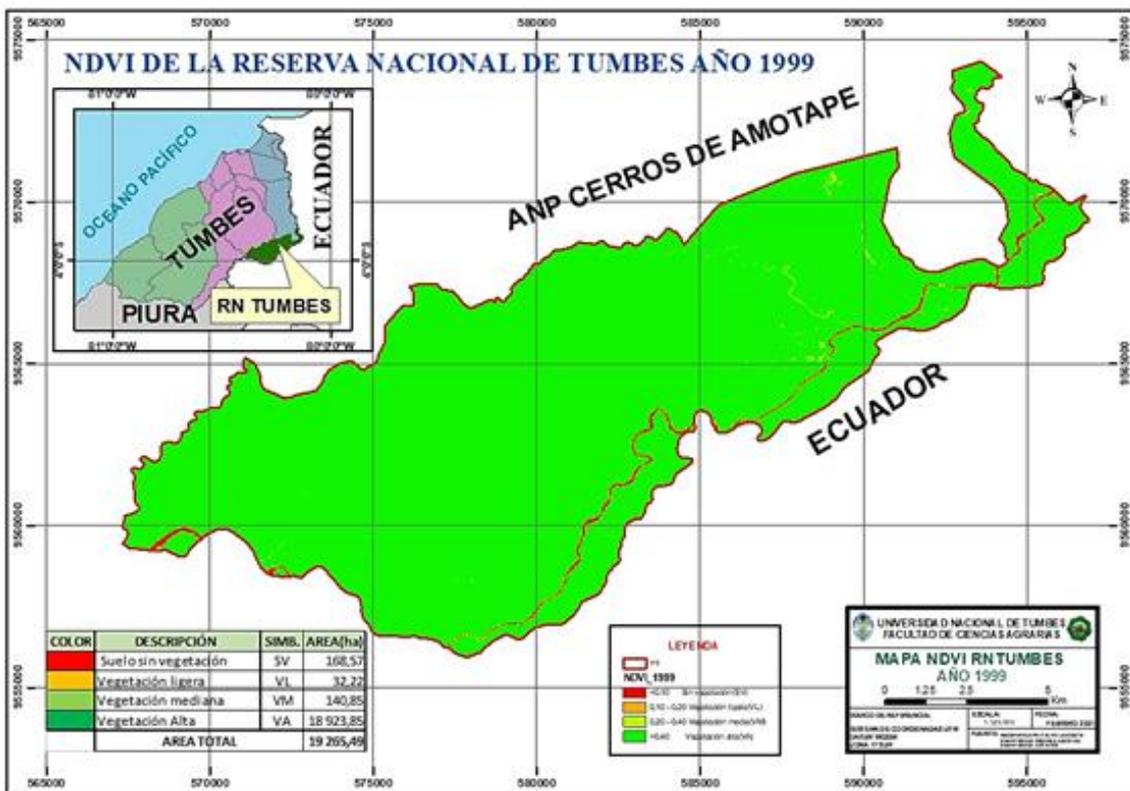


Figura 2. Determinación del NDVI y sus áreas correspondientes de la RNTumbes año 1999, donde se visualiza el área con vegetación alta (VA).

Se utilizó el índice de agua de diferencia normalizada (NDWI) haciendo uso de la tabla 1, para poder clasificar el área de la reserva nacional de Tumbes como lo muestra la Figura 3, según (Gulácsi & Kovács, 2015; Lema, 2016; Vicente-Serrano et al., 2004), ya que este índice nos permite analizar si en el área en estudio existía sequía durante el periodo del análisis; el índice de la diferencia normalizada del agua (NDWI), permite cuantificar y calcular el agua presente en la cobertura vegetal y de esta manera conocer el estrés o grado de saturación que posee la cobertura vegetal (Alvarado et al., 2019).

El NDDI nos permite ver información útil sobre los periodos de sequía en la reserva nacional de Tumbes; también, este índice nos permite medir que impactos tiene la sequía sobre la vegetación en

un área y su relación con el cambio climático (Lee et al., 2016; Tavazohi & Ahmadi, 2018).

Tabla 1
Clasificación de los valores de NDWI

Clasificación	Valor
Sequia muy fuerte	< 0,01
Sequia fuerte	0,01-0,1
Extremadamente seco	0,1-0,2
Sequia débil	0,2-0,4
Contenido de humedad bajo)	>0,40

Adaptado de Gulácsi & Kovács (2015).

Para el cálculo del índice diferenciado normalizado de la sequía (NDDI), se utilizó la siguiente fórmula (Tavazohi & Ahmadi, 2018):

$$NDDI = \frac{NDVI - NDWI}{NDVI + NDWI}$$



Figura 3. Determinación del NDWI y sus áreas correspondientes de la RNTumbes año 1999, donde se visualiza que la mayor área de la RNTumbes presenta sequía débil y un contenido de humedad bajo.

Se procedió a la determinación del NDDI, el cual tiene una respuesta más fuerte a condiciones de sequía y no es una simple diferencia entre NDVI y NDWI, y por lo que es un indicador más sensible de sequía que el NDVI o NDWI (Cheng-lin & Jian-jun, 2008).

Se hicieron los mapas temáticos para el NDDI como se observa en la figura 4, los que nos permitían visualizar las áreas con los diferentes valores y clases de sequía en los años del presente análisis multitemporal, clasificación que se realizó utilizando la Tabla utilizada por Fonnegra (2017).



Figura 4. Determinación del NDDI de la RNTumbes año 1999, donde se visualiza los valores de este índice para su posterior clasificación según la tabla de Fonnegra (2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.1. Ubicación de la zona de estudio

La reserva Nacional de Tumbes (RNTumbes) se muestra en la Figura 5, la cuál se encuentra ubicada en las provincias de Zarumilla y Tumbes, tiene área de 19 266,72 hectáreas, aquí encontramos una gran diversidad biológica, esta zona difiere en gran medida del bosque seco ecuatorial y se fue desarrollando evolutivamente con muy poca perturbación lo cual a hecho que la diversidad biológica existente en esta zona se única (SERNANP, 2019).

1.2. Determinación del NDVI

Se determinó el índice de vegetación de la diferencia normalizada (NDVI), ya que este indice es importante determinararlo para poder aplicar la formula: $NDVI = \frac{NDVI - NDWI}{NDVI + NDWI}$, según Tavazohi & Ahmadi (2018).

1.3. Determinación del NDWI

Se observa el índice de NDWI, en donde la mayor área de la reserva nacional de Tumbes, tuvo valores entre 0,2-0,4 y >0,4, lo que nos da una clasificación como área con poca sequía y bajo contenido de humedad, respectivamente; los valores de NDWI de la reserva nacional oscilaron entre -0,5 a 0,7, este máximo valor fue poco frecuente, que se clasifica como áreas con contenido de humedad muy alto, este índice puede ir desde -1 a +1, encontrándose los valores obtenidos en este análisis estan dentro de los rangos establecidos para este índice, se procedió a determinar el área para cada uno de los años de este análisis, el área en promedio fue de 18 645,68ha, que alcanzaron valores entre 0,2-0,7; se empleo este índice de agua de diferencia normali-

zada (NDWI), por ser considerado el más sensible a los cambios en el contenido de agua líquida de las cubiertas de vegetales según Heydari et al. (2018), Santos, Amaral, & Souza (2019), dicen que el NDWI muestra una satisfactoria estimación de la humedad para la vegetación, permitiendo la cuantificación de las pérdidas de contenido de agua en el follaje esto respalda el análisis de la libre disponibilidad de imágenes del sensor Landsat 8, que contribuyen los estudios regionales y así mismo Aguayo, Sosa, Stanley, & Romero (2018) dicen que la importancia y pontencialidad del NDWI, se puede ver en la caracterización de la cobertura del suelo; estudiar la dinámica del agua; detectar las propiedades de interés en un cultivo como son la productividad, el estado de crecimiento, las características de cultivos o de las formaciones vegetales.

1.4. Determinación del NDDI

Se determinó el NDDI para conocer la presencia de la sequía en la RNTumbes (Martinez, Martinez, Martínez de Icaya, & Renza (2017). No existía sequía en la reserva nacional de Tumbes, ya que los valores obtenidos estuvieron entre -1189,04 y 1312,02, clasificándolo como suelos húmedos y como suelos que tienen humedad, aunque no estaban a máxima capacidad de almacenaje de agua. Se puede comprobar que estos resultados se relacionan con los obtenidos en el NDWI, que también nos da valores que nos indican que para la reserva nacional de Tumbes la mayor área en estudio no presentó sequía, durante los años del análisis multitemporal de la reserva.

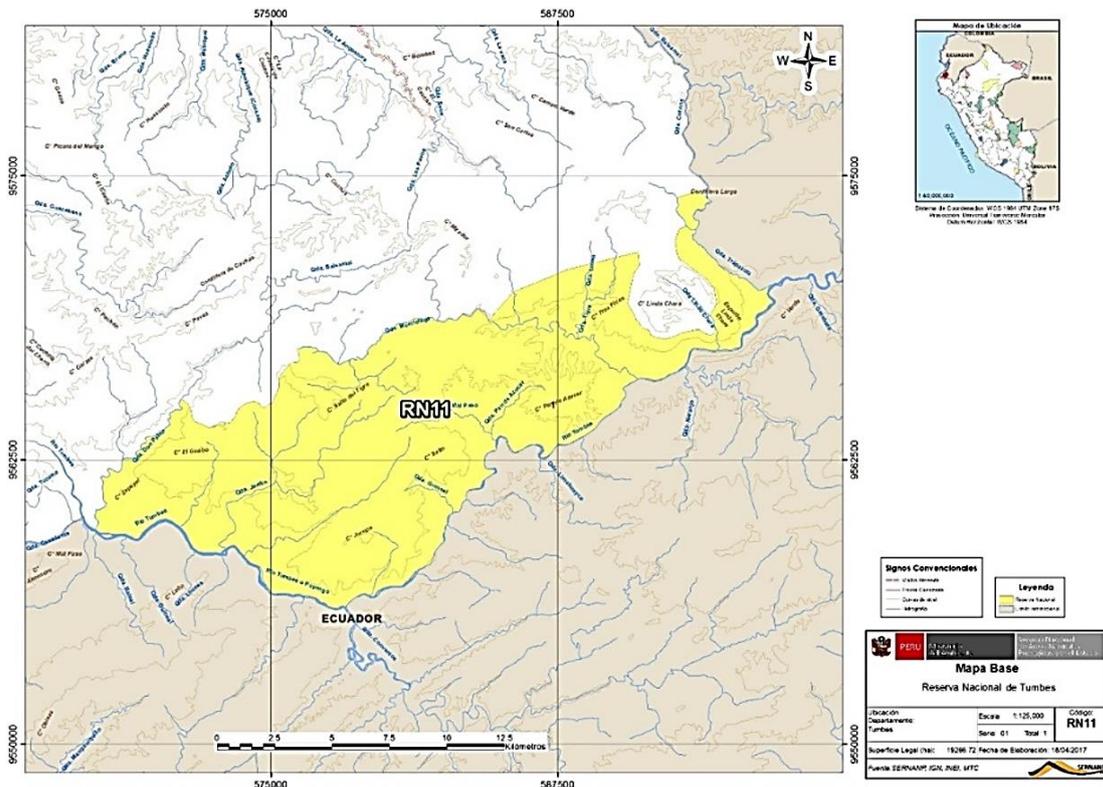


Figura 5. Mapa base de la reserva nacional de Tumbes, tomado de SERNANP (2019).

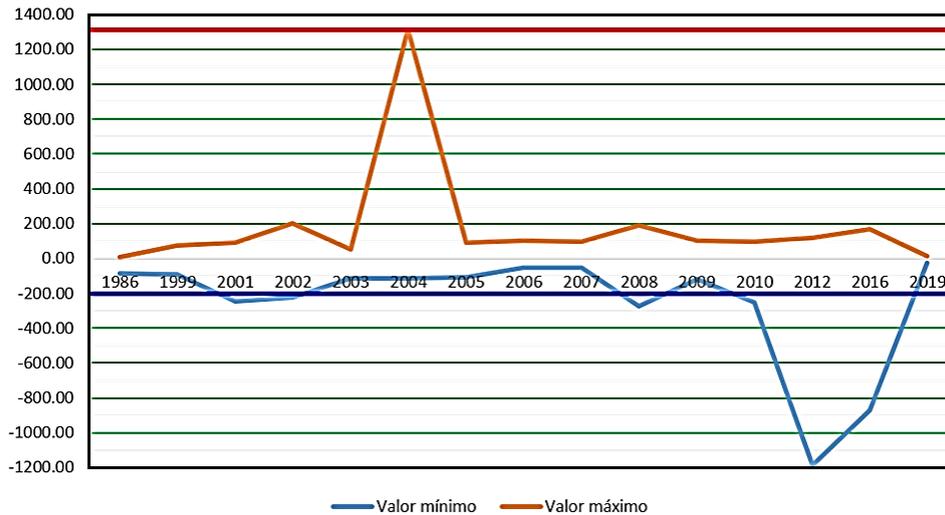


Figura 6. Determinación del NDDI de la RNTumbes año 1986-2019, donde se visualiza los valores de este índice los que posteriormente fueron clasificados.

CONCLUSIONES

El área de la reserva nacional de Tumbes se clasifica como área con poca sequía y bajo contenido de humedad, cuyos valores de NDWI estuvieron comprendidos desde 0,2 - 0,7, en la mayoría de los años el valor fue de 0,2 - 0,4, el máximo valor de 0,7 fue poco frecuente, los valores obtenidos en este análisis están dentro de los rangos establecidos para este índice, el área en promedio de la RNTumbes fue de 18645,68 ha que presentaban sequía débil y con contenido de humedad bajo.

El área de la reserva nacional de Tumbes según el índice diferenciado normalizado de sequía (NDDI)

tuvo valores comprendidos entre -1189,04 y 1312,02; dándonos una clasificación de suelos húmedos y suelos que tenían humedad, aunque no estaban a su máxima capacidad de almacenaje de agua; por lo tanto, el área en la RNTumbes no presentaba sequía.

En la reserva nacional de Tumbes se deberían realizarse evaluaciones de la sequía y sus impactos en la vegetación y en el suelo y comprobar sus efectos mediante el establecimiento de puntos de control in situ y de esta forma conocer la cobertura vegetal y la erosión del suelo y determinar la eficiencia del uso de las herramientas SIG.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguayo, M. D., Sosa, V. P., Stanley, C. M., & Romero, N. (2018). Evaluación de índices espectrales derivados de sensores remotos para la caracterización de ambientes de humedales. 7^º Simpósio de Geotecnologías no Pantanal. Brasil.
- Aguilar, H. C. (2020). Vulnerabilidad y gestión del riesgo de desastres frente al cambio climático en Piura, Perú. Semestre económico, 23(54), 85-112.
- Alvarado, C., Leandro, A., & Sarango, D. (2019). Comparación de Índices de Vegetación con imágenes Landsat usando la computación en la nube: zona Pampa de Majes-Siguas, Arequipa Perú (Periodo: Jun 1984 a Nov 2018). 22, 1.
- Cheng-lin, L., & Jian-jun, W. (2008). Crop drought monitoring using MODIS NDDI over mid-territory of China. Paper presented at the IGARSS 2008-2008 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium.
- Chuvieco, E. (1991). Fundamentos de teledetección espacial. *Estudios Geográficos*, 52(203), 371.
- Fonnegra, M. D. (2017). Desarrollo de un sistema operativo para el cálculo de índices de sequía basados en información espacial (Trabajo para la obtención de Título). Universidad nacional de Córdoba. Argentina.
- Gulácsi, A., & Kovács, F. (2015). Drought monitoring with spectral indices calculated from MODIS satellite images in Hungary. *Journal of Environmental Geography*, 8(3-4), 11-20.
- Heydari, H., Valadan Zoj, M., Maghsoudi, Y., & Dehnavi, S. (2018). An investigation of drought prediction using various remote-sensing vegetation indices for different time spans. *International Journal of Remote Sensing*, 39(6), 1871-1889.
- Jiao, W., Tian, C., Chang, Q., Novick, K. A., & Wang, L. (2019). A new multi-sensor integrated index for drought monitoring. *Agricultural forest meteorology*, 268, 74-85.
- Khampeera, A., Yongchalerchai, C., & Techato, K. (2018). Drought monitoring using drought indices and GIS techniques in Kuan Kreng peat swamp, Southern Thailand. *Walailak Journal of Science Technology*, 15(5), 357-370.
- Lee, S.-J., Cho, J., Hong, S., Ha, K.-J., Lee, H., & Lee, Y.-W. J. R. S. L. (2016). On the relationships between satellite-based drought index and gross primary production in the North Korean croplands, 2000-2012. *Remote Sensing Letters*, 7(8), 790-799.
- Lema, P. L. (2016). Estimación del índice de calidad ambiental urbana, a partir de imágenes de satélite en la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Trabajo de titulación). Riobamba, Ecuador.
- Logroño-Naranjo, S. I., López-Paredes, C. R., Moyano-Jácome, M. G., & Oyague-Bajaña, E. S. J. D. d. I. C. (2020). El alcance de la teledetección satelital utilizando modelos estadísticos y físicos y sus beneficios en áreas contables. *Dominio de las Ciencias*, 6(2), 25-40.
- Martinez, A., & Céspedes, L. (2017). Estudio de la vulnerabilidad presente y futura ante el cambio climático en la región Tumbes Informe Técnico Especial. Instituto Geofísico del Perú.
- Martinez, M., Martinez, E., Martínez de Icaya, M., & Renza, D. (2017). Detection of Changes in Natural Aquifer Reservoirs based on the Index of Drought. *IEEE Latin America Transactions*, 15, 2059-2063.
- May, F. P., Hernández, J. V. S., & Jacinto, H. S. (2021). Análisis de zonas de cultivo y cuerpos de agua mediante el cálculo de índices radiométricos con imágenes Sentinel-2. *Lámpasakos*, 24, 48-59.

- Nguyen, H. T. T., Mai, N. T., Bui, C. D., & Nguyen, T. (2016). Mapping droughts over the central highland of Vietnam in El Niño years using LANDSAT imageries. *VNU Journal of Science*, 32(1S), 255-263.
- Salinas-Zavala, C. A., Martínez-Rincón, R. O., & Morales-Zárate, M. V. (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.
- Santos, M., Amaral, M., & Souza, J. (2019). Avaliação sazonal da cobertura vegetal da microrregião da Chapada dos Veadeiros por meio de índices SAVI e NDWI. *Élisée - Revista De Geografia Da UEG*, 8(1), e81191.
- Schmid, J. N. (2017). Using Google Earth Engine for Landsat NDVI time series analysis to indicate the present status of forest stands. Universität Göttingen. Universität Göttingen. Switzerland.
- SERNANP. (2019). La Reserva Nacional de Tumbes. Retrieved from <https://www.sernanp.gob.pe/de-tumbes>
- Tavazohi, E., & Ahmadi, M. (2018). Assessment of drought in the Zayandehroud basin during 2000-2015 using NDDI and SPI indices. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(4), 2332-2340.
- Vicente-Serrano, S. M., Lasanta, T., & Romo, A. (2004). Analysis of spatial and temporal evolution of vegetation cover in the Spanish Central Pyrenees: role of human management. *Environ Manage*, 34(6), 802-818.