

Análisis multitemporal mediante SIG de la sequía y la deforestación en la Reserva Nacional de Tumbes-Perú, 1986 -2019

Multi-temporal analysis by GIS of drought and deforestation in the Tumbes-Peru National Reserve, 1986 -2019

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

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 (RNT), con la finalidad de observar el grado de deforestación y la sequía en esta reserva, se emplearon imágenes de diferentes años desde el año 1986 al año 2019, las imágenes fueron seleccionadas, algunas imágenes obtenidas de Landsat 7, fueron corregidas mediante la herramienta gap fill, para determinar la sequía se utilizó el NDWI (Índice de agua diferencial normalizado) y para determinar la vegetación forestal se utilizó el NDVI (Índice de vegetación diferencial normalizado), para cada índice se determinó las áreas para poder realizar el análisis correspondiente; se logró concluir que: a) Con respecto a la sequía el NDWI, la mayor área de la RNT, tuvo valores entre 0,2 - 0,4 y > 0,4, clasificándose el área con poca sequía y bajo contenido de humedad, respectivamente; valores de humedad que están dentro de los rangos establecidos para este índice y b) que la Vegetación alta (VA), fue mayor el año 1986 alcanzando 19142,28 ha, y los valores más bajos fueron en el año 2005 y 2010, donde el área fue de 15401,25 y 15094,53 ha, respectivamente; el año 2019 el área fue de 18219,51 ha, la cual se ha recuperado en los últimos diez (10) años. Los SIG permiten determinar la sequía y la deforestación de forma rápida y económica.

Palabras clave: NDVI; NDWI; deforestación; reserva nacional; teledetección.

ABSTRACT

This research was carried out in the Tumbes National Reserve (RNT), in order to observe the degree of deforestation and drought in this reserve, images from different years were used from 1986 to 2019, the images were selected, some images obtained from Landsat 7, were corrected using the gap fill tool, to determine the drought the NDWI (Normalized Differential Water Index) was used and to determine the forest vegetation, the NDVI (Normalized Differential Vegetation Index) was used, for each index was determined the areas to be able to carry out the corresponding analysis, it was possible to conclude that: a) With respect to drought, the NDWI, the largest area of the RNT, had values between 0.2 - 0.4 and > 0.4, classifying the area with little drought and low moisture content, respectively Moisture values that are within the ranges established for this index and b) that the high vegetation (VA), was higher in 1986 reaching 19 142.28 ha, and the lowest values were in 2005 and 2010, where the area was 15401.25 and 15094.53 ha, respectively; Last year the area was 18219.51ha, which has been recovered in the last ten (10) years. GIS makes it possible to determine drought and deforestation quickly and inexpensively.

Keywords: NDVI; NDWI; deforestation; national reserve; remote sensing.

Recibido: 05-07-2021.
Aceptado: 30-09-2021.



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 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 brinda la posibilidad de describir aspectos funcionales de los sistemas ecológicos, desde el nivel de ecosistemas, en esta caracterización son muy efectivos los índices espectrales (Cabello & Paruelo, 2008). La representación cartográfica permite la representación a través de la descomposición de las componentes de sus variables y el análisis del espacio geográfico de forma dinámica, permitiendo operaciones entre mapas (Cabello & Paruelo, 2008); (Silva, Moura, Gleriani, de Souza, & Magalhães, 2011), la vegetación cuando sufre algún tipo de estrés, el contraste entre bandas, será menor en relación con una vegetación sana de gran vigor; los bajos valores indican una vegetación enferma o senescente, hasta llegar a coberturas sin vegetación con índices cercanos al cero (Chuvienco, 1991).

El Índice de agua de diferencia normalizada (NDWI), sirve para estimar el agua presente en la vegetación o el nivel de saturación de humedad que posee el suelo (Lema, 2016; Ramírez & Villena, 2017). El NDVI es una herramienta para monitorear el estado de la vegetación y su dinámica temporal (Vicente-Serrano, Lasanta, & Romo, 2004). El análisis en la RNT, será para determinar la sequía y la deforestación, mediante el uso de SIG a bajos costos y en el menor tiempo, para la implementación de planes de manejo y gestión para la RNT, para las generaciones actuales y futuras. La FAO identificó la dinámica de la población en la deforestación y declaró que la deforestación puede resultar de "una combinación de la presión de la población y el estancamiento de

las condiciones económicas, sociales y tecnológicas"; la cual avanza a un ritmo de unos 17 millones de hectáreas al año (Garciglia, 2014; Poonam, Dharmendra, & Reshu, 2013).

Una investigación de la predicción de la sequía utilizando varios índices de vegetación mediante teledetección, el NDVI indica la gravedad del estrés de la vegetación resultante por déficit hídrico (Heydari, Valadan Zoej, Maghsoudi, & Dehnavi, 2018). Un estudio, realizado de los recursos forestales mundiales (FRA) 2010, con imágenes de satélite de todo el mundo, tuvo por finalidad mejorar sustancialmente el conocimiento de la dinámica de los cambios en la cubierta forestal y el uso de los terrenos forestales en el tiempo (Gerrand, Lindquist, D'Annunzio, & Obstler, 2012). El Análisis multitemporal de cambios de uso del suelo y coberturas, en la microcuenca las minas, departamento de Nariño, el análisis de 19 años, entre 1989 y 2008; demostró una pérdida del bosque natural secundario equivalente a 58,51has, con una deforestación por año de 3,08 has (Muñoz, Rodríguez, & Romero, 2009). En el estudio para evaluar los cambios de uso de la cubierta y degradación del suelo, se utilizó SIG y aplicaciones de teledetección mediante el análisis NDVI, de las imágenes entre 1985 y 2011 (Gashaw, Bantider, & Mahari, 2014). El trabajo del análisis de la evolución espacio-temporal del NDVI en áreas vegetadas y zonas de riesgo de erosión en el pirineo central; utilizó el mapa de coberturas de suelo, las condiciones extremas que existen en las áreas con erosión activa y zonas de riesgo de erosión no han permitido la recuperación de la vegetación (Alatorre, Beguería, & Vicente-Serrano, 2010). El NDVI, estima valores del "verdor del bosque" obtenidos mediante satélite, la degradación de la vegetación del ecosistema, es decir la mengua de su verdor se refleja en el valor más reducido, del NDVI (Meneses-Tovar, 2011).

El objetivo del estudio fue determinar la presencia de sequía y demostrar la deforestación en la reserva nacional de Tumbes – Perú.

MATERIAL Y MÉTODOS

La reserva nacional de Tumbes (RNT) está ubicada en las provincias de Zarumilla y Tumbes y cuenta con una extensión de 19 266,72 hectáreas, esta reserva alberga una gran diversidad biológica única y en este lugar se aprecia el Bosque Tropical del Pacífico, el cual es un ecosistema que solo se encuentra en la RNT y que representa una especie de continuación de la selva tropical en la vertiente occidental de los Andes; esta zona difiere en gran medida del bosque seco ecuatorial y se ha desarrollado evolutivamente casi sin perturbación lo que asegura que su diversidad biológica sea única (SERNANP, 2019).

Mediante el uso de la teledetección y el uso de imágenes Landsat 5, Landsat 7 y Landsat 8, según corresponda se generó la información necesaria para el análisis de la sequía y la deforestación en la reserva nacional de Tumbes; se obtuvieron las imágenes y de esta manera se procedió a realizar los análisis correspondientes para cada uno de los años en estudio procediendo de la siguiente manera:

Las imágenes se obtuvieron del servicio geológico de los estados unidos o USGS por sus siglas en inglés (United States Geological Survey) y después se procedió a la selección de las mismas; es decir que estén libres de nubosidad, que reúnan las

características para obtener la mejor información del área de la reserva nacional de Tumbes, que nos permita el mejor análisis multitemporal de cada año y poder observar los periodos en donde la deforestación de vegetación presentó cambios o no.

Las imágenes de Landsat 7 tenían problemas de bandeo, presentando ausencia de información de imágenes, lo que generaba gaps o líneas, este error que generaba ausencia de datos, la imagen mostraba bandeo de franjas o líneas paralelas entre sí, dentro de las herramientas del toolbox se encontró la opción Fix Landsat 7 Scanline Error, una herramienta que permite identificar el bandeo de líneas para interpolar valores y corregir la banda original, de esta manera se hizo la corrección de franjas de las imágenes, se delimitó y se georreferenció el área en estudio.

De las imágenes satelitales, se extrajeron las áreas correspondientes haciendo uso de la herramienta extracción mediante la máscara de la reserva nacional de Tumbes.

Para el cálculo del Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), se utilizaron las bandas correspondientes a la porción del rojo (IR, 620-670 nm) y del infrarrojo cercano (IRc, 841-876 nm) del espectro electromagnético, Según la relación que está a continuación: $NDVI = (IR - IRc) / (IR + IRc)$ (Gaitán, Donaldo Bran, & Azcona, 2015) El NDVI nos permite ver si existe deforestación en la reserva nacional de Tumbes; también, permite

observar el manejo inadecuado de los ecosistemas y como este altera la capacidad de regulación de la dinámica temporal del NDVI (Alcaraz-Segura, Baldi, Durante, & Garbulsky, 2008), para poder clasificar el área de la reserva nacional de Tumbes, se utilizó la siguiente tabla de valores para el NDVI.

Tabla 1
Clasificación de los valores de NDVI

Clasificación	Valor
Suelo sin vegetación (SV)	0,01-0,1
Vegetación ligera (VL)	0,1-0,2
Vegetación mediana (VM)	0,2-0,4
Vegetación alta (VA)	>0,4

(López-Pérez, Martínez-Menes, & Fernández-Reynoso, 2015).

El NDVI será útil para proporcionar una estimación del factor de gestión de la cobertura vegetal (Alkharabsheh, Alexandridis, Bilas, Misopolinos, & Silleos, 2013)

Se realizó un análisis de la cobertura de bosque y deforestación de la reserva nacional de Tumbes y posteriormente se elaboró un mapa para el análisis de la deforestación en la reserva nacional de Tumbes. Se calculó las áreas en hectáreas de la deforestación de la Reserva nacional de Tumbes y finalmente se generó el mapa temático como resultado del análisis (Echeverry & Harper, 2009).

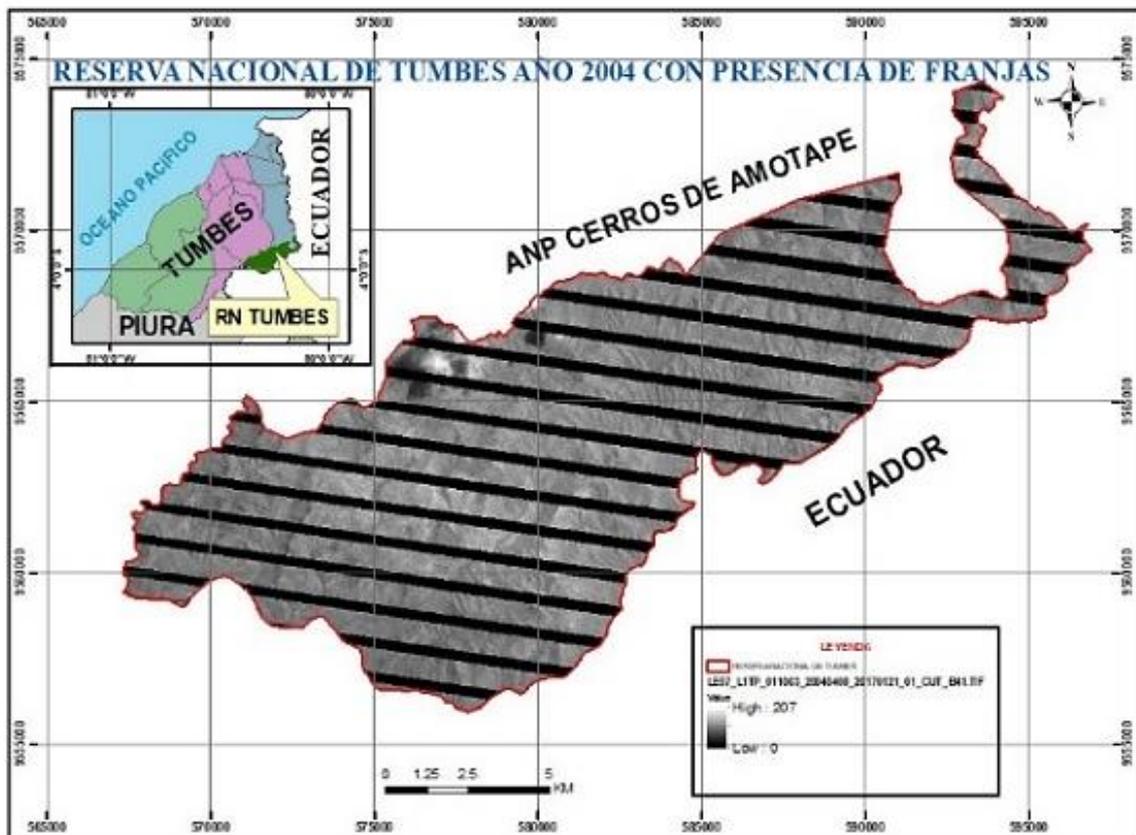


Figura 1. Mapa de la reserva nacional de Tumbes con presencia de bandeo de franjas o líneas paralelas las que fueron corregidas para la obtención del NDVI.

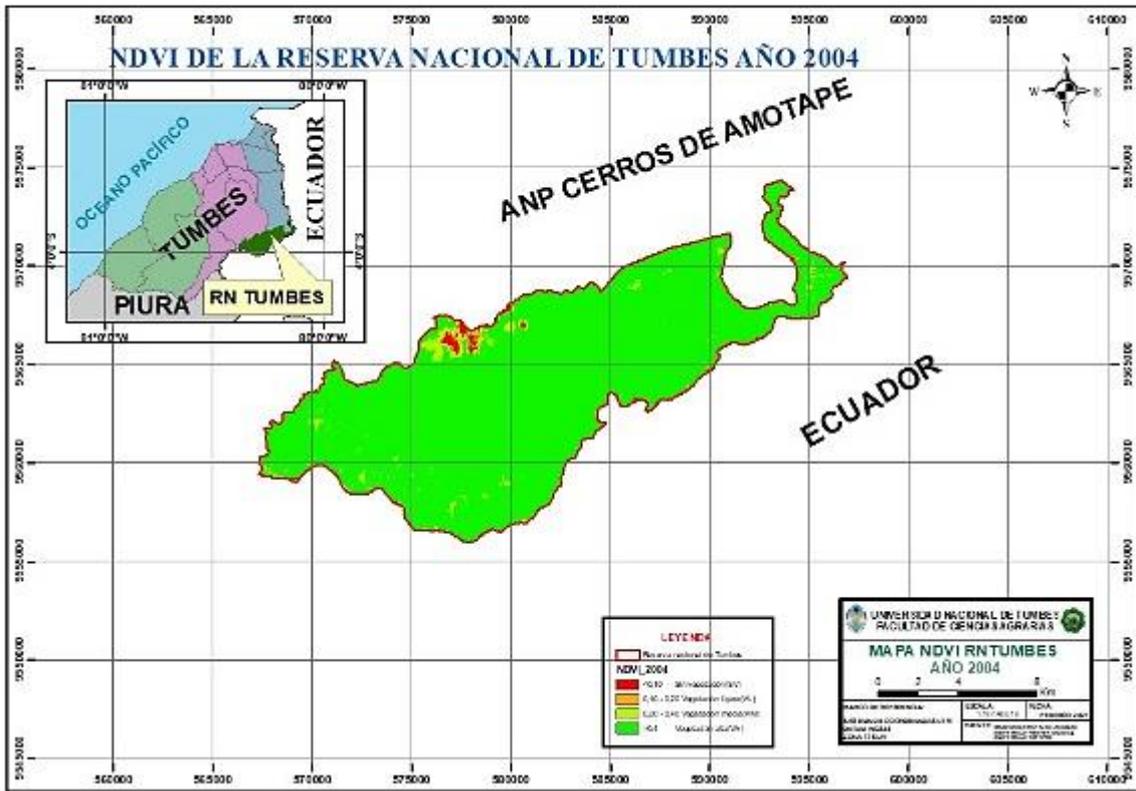


Figura 2. Mapa de la reserva nacional de Tumbes mostrando la clasificación de los valores de NDVI, según tabla 1.

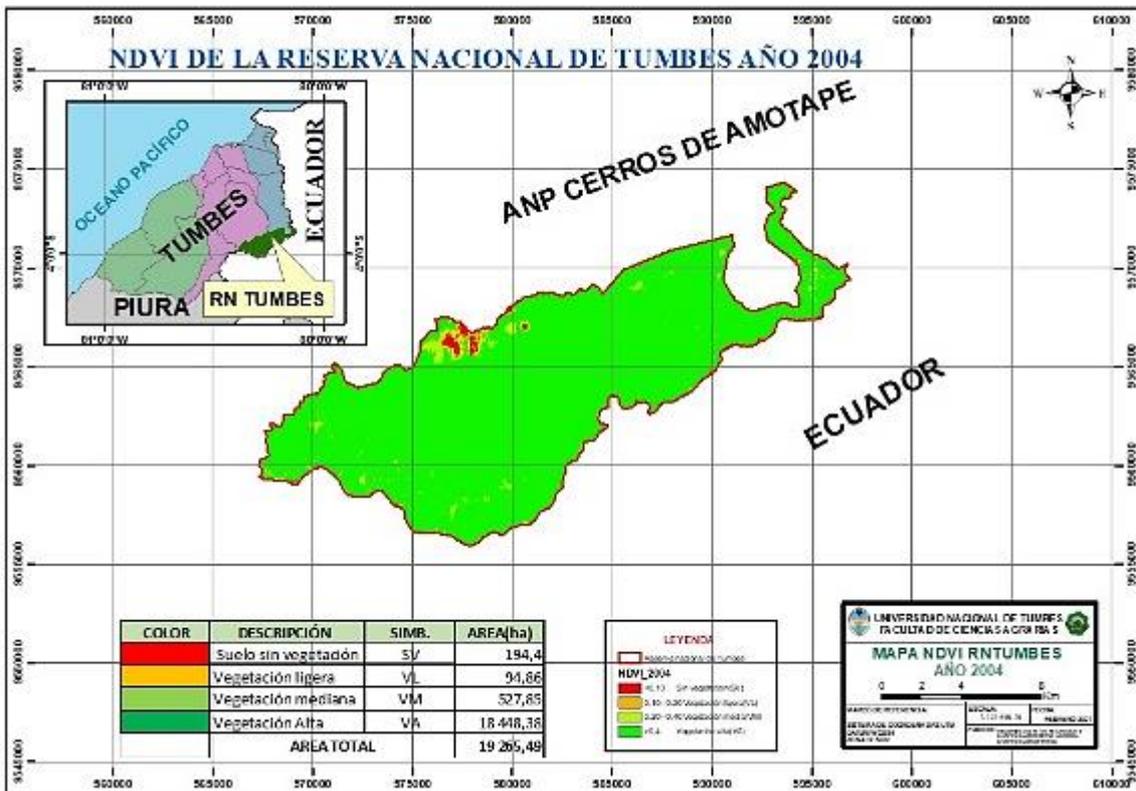


Figura 3. Áreas en hectáreas de las cuatro clases establecidas para cada uno de los valores de la clasificación del NDVI de la reserva nacional de Tumbes.

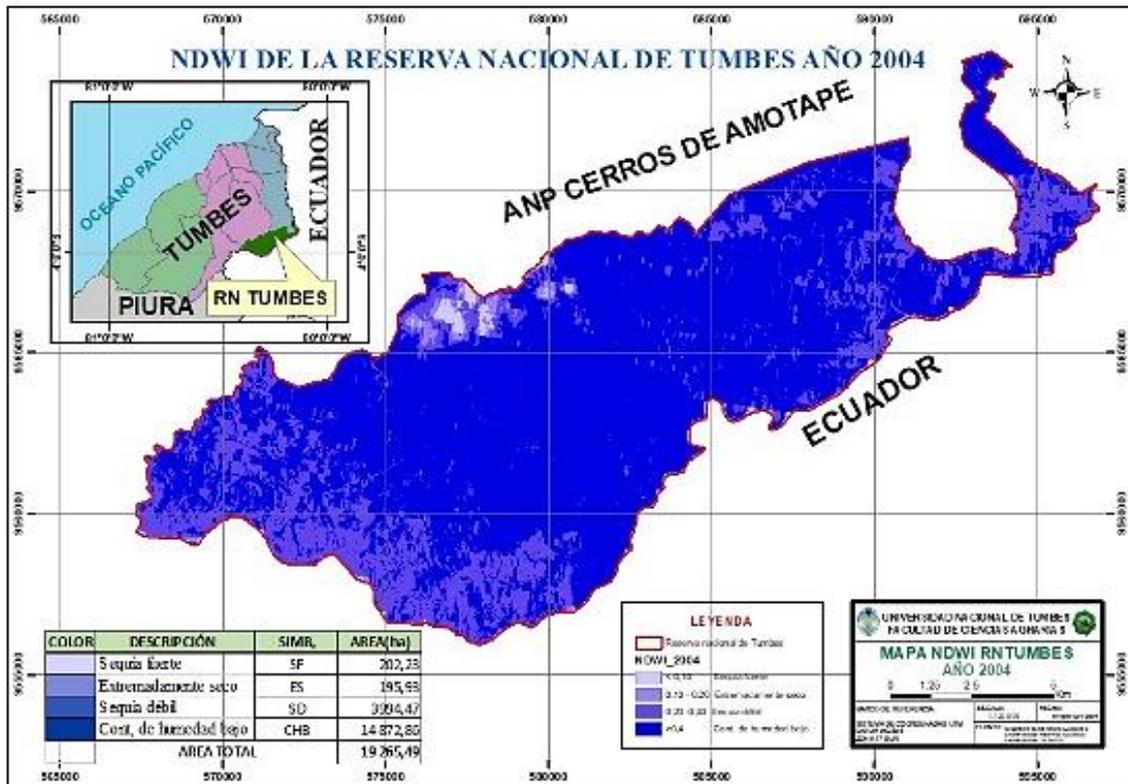


Figura 4. Reserva nacional de Tumbes mostrando la clasificación de los valores de NDWI, según Tabla 2.

Se utilizó el índice de agua de diferencia normalizada (NDWI) para poder clasificar el área de la reserva nacional de Tumbes, de acuerdo con los valores de la Tabla 2 (Lema, 2016; Vicente-Serrano et al., 2004). El índice NDWI permite analizar la existencia de sequía en el área en estudio.

Tabla 2
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	>0,4

Adaptado de Gulácsi & Kovács (2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Deforestación en la reserva nacional de Tumbes

El NDVI se utilizó para poder determinar la deforestación presente en la RNT, este índice oscilo entre -0,3 a 0,9, lo cual está dentro de los rangos establecidos para este índice, ya que puede ir desde

-1 a 1, haciendo uso de este índice y del software ArcGIS, se determinó el área deforestada para cada uno de los años de este análisis, en la Figura 5 se observar el área con forestación y de esta manera también conocer la deforestación ocurrida durante el presente análisis multitemporal.

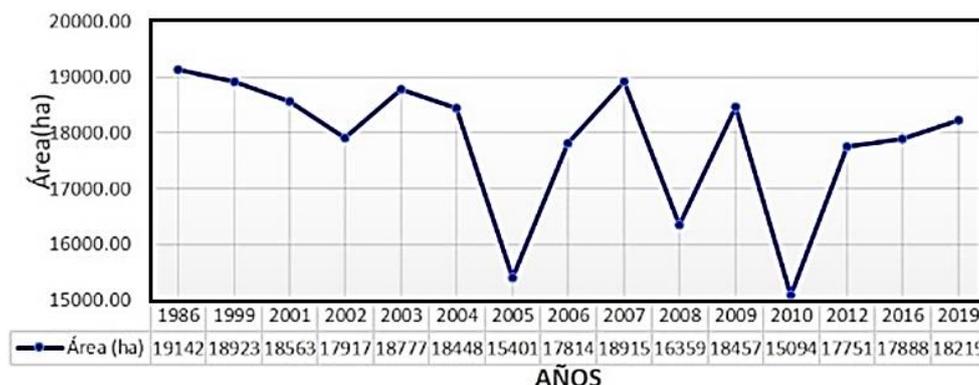


Figura 5. Área (ha) por año de vegetación alta (VA) o de bosque en la reserva nacional de Tumbes.

Se puede observar que la vegetación alta(VA) o de "bosque", la mayor área fue en el año 1986 con un área de 19 142,28 ha, después de haberse dado el fenómeno del niño, alcanzando a cubrir este tipo de vegetación aproximadamente el 99% del área total de la RNT, pero se puede también observar que el área de la reserva alcanzo valores muy bajos en comparación con los demás años del análisis en el año 2005 y 2010, donde el área fue de 15 401,25 y 15 094,53 ha, respectivamente; estas áreas correspondían aproximadamente el 79 y 78%, del área total de dicha reserva; el año 2019 el área fue de 18 219,51ha, donde la vegetación alta se recuperó en estos últimos diez (10) años, lo cual fue aproximadamente el 94% del área total de la reserva nacional de Tumbes; lo cual se asemeja a lo manifestado por Tiedemann (2011) y Tiedemann, Zerda, Grilli, & Ravelo (2012); quien usando la serie temporal de NDVI VEGETATION SPOT, sobre la vegetación estacionalmente de tres coberturas determino que estas no fueron afectadas entre periodos; Mas, Puig, Palacio, & Sosa-Lopez (2004); para realizar este análisis solo simplificó al agrupar el bosque tropical (no perturbado y secundario) en una sola clase de "bosque" y todas las demás clases de cobertura de la tierra en otra clase de "no bosque", la escala del NDVI permite observar los posibles cambios en la vegetación, la presencia de déficit hídrico e incluso la ocurrencia de deforestación como lo enuncia Tagliarini, Rodrigues, Rodrigues, & Campos (2017), así mismo Arias, Roldan, & Vélez (2019), dicen que valores altos de los índices de vegetación indican que el área está cubierta por proporciones importantes de vegetación, Piscocoya (2019), en su trabajo realizado manifestó que para alcanzar la gestión sustentable de los recursos es importante conocer la cobertura vegetal, para la conservación de la biodiversidad y poder mitigar los impactos ambientales y el cambio climático y recomienda continuar con análisis anuales del NDVI lo que permitirá una adecuada gestión de la cobertura vegetal y evitar de esta forma que se pierdan los diferentes tipos de vegetación, también Uvidia (2020), reporta que para eventos como son las inundaciones, sequías e incendios forestales o deforestación, la recopilación e interpretación

bibliográfica desde series temporales del NDVI, permiten ver el comportamiento y la conducción de los ecosistemas.

El índice de agua de diferencia normalizada (NDWI)

Para el NDWI, 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 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 18 645,68 ha, que alcanzaron valores entre 0,2-0,7; se empleó este índice de agua de diferencia normalizada (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; además Rodrigues, de Moraes, & Paschoal (2017) indican que el NDWI se presenta como una de herramienta eficaces en el mapeo de áreas húmedas y que pueden ser propicias para inundaciones; presentando una variación en el contenido de humedad y muestra una mayor coherencia en los objetos de la superficie, además de diferenciar la presencia de la vegetación y del suelo expuesto; según lo expresado por Azzouzi (2019); Mihai et al. (2016), en un trabajo realizado concluyeron que se obtiene una buena correlación del NDWI (determinados de los datos de satélite) y la humedad medida in situ en el suelo; así mismo también lo manifiestan Pereira, Amorim, Grigio, & Paranhos (2019), quienes dicen que el NDWI de Gao, es un método capaz de medir el contenido de agua líquida que presenta la vegetación.

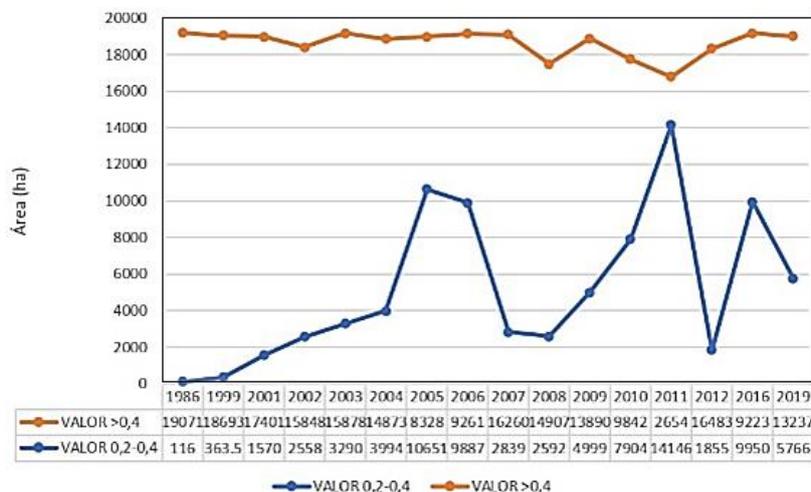


Figura 6. Área(ha) por año para dos valores de NDWI, clasificados como área con poca sequía y con bajo contenido de humedad respectivamente; en la reserva nacional de Tumbes.

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 por año que tuvo estos valores fue de 18645,68 ha.

La vegetación alta (VA) o de "bosque", en la reserva nacional fue mayor en el año 1986 con un área de 19142,28 ha, después de haberse dado el fenómeno del niño, alcanzando a cubrir este tipo de vegetación aproximadamente el 99% del área total de la reserva nacional, pero en los años 2005 y

2010 se observa que el área de la reserva alcanzo valores muy bajos en comparación con los demás años del análisis, donde el área fue de 15401,25 y 15094,53 ha, respectivamente; estas áreas corresponderían aproximadamente el 79% y 78%, del área total de dicha reserva; el año 2019 el área fue de 18219,51 ha, donde la vegetación alta se fue recuperando en estos últimos diez (10) años, lo cual fue aproximadamente el 94% del área total de la reserva nacional de Tumbes.

Realizar comparaciones del análisis multitemporal mediante SIG de la sequía y la deforestación en la reserva nacional de Tumbes-Perú u otras áreas naturales, con trabajos realizados en campo para determinar la eficiencia de esta herramienta y su posterior uso en evaluaciones en tiempo real.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alatorre, L. C., Beguería, S., & Vicente-Serrano, S. M. (2010). Análisis de la evolución espacio-temporal del NDVI sobre áreas vegetadas y zonas de riesgo de erosión en el Pirineo Central. *Pirineos*, 165(0), 7-27.
- Alcaraz-Segura, D., Baldi, G., Durante, P., & Garbulsky, M. (2008). Análisis de la dinámica temporal del NDVI en áreas protegidas: tres casos de estudio a distintas escalas espaciales, temporales y de gestión. *Revista Ecosistemas*, 17(3).
- Alkharabsheh, M. M., Alexandridis, T. K., Bilas, G., Misopolinos, N., & Silleos, N. (2013). Impact of Land Cover Change on Soil Erosion Hazard in Northern Jordan Using Remote Sensing and GIS. *Procedia Environmental Sciences*, 19, 912-921.
- Arias, D. M., Roldan, M. V., & Vélez, M. U. A. (2019). Uso del índice normalizado de vegetación para la elaboración de planos de cultivo. *Opuntia Brava*, 11(2), 261-265.
- Azzouzi, S. A. (2019). Técnicas de detección de cambios mediante teledetección para el desarrollo sostenible y la desertificación.
- Cabello, J., & Paruelo, J. (2008). La teledetección en estudios ecológicos. *Revista Ecosistemas*, 17(3), 1-3.
- Chuvieco, E. (1991). Fundamentos de teledetección espacial. *Estudios Geográficos*, 52(203), 371.
- Echeverry, M. A., & Harper, G. J. (2009). Fragmentación y deforestación como indicadores del estado de los ecosistemas en el Corredor de Conservación Choco-Manabí (Colombia-Ecuador). *Recursos Naturales y Ambiente*, 58.
- Gaitán, J., Donaldo Bran, D., & Azcona, C. (2015). Tendencia del NDVI en el período 2000-2014 como indicador de la degradación de tierras en Argentina: ventajas y limitaciones. *Agriscientia*, 32(2), 83-93.
- Garciglia, S. R. (2014). Deforestación. *Saber Más: Revista de divulgación de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, 14(3), 31-32.
- Gashaw, T., Bantider, A., & Mahari, A. (2014). Evaluations of Land Use/Land Cover Changes and Land Degradation in Dera District, Ethiopia: GIS and Remote Sensing Based Analysis. *International Journal of Scientific Research in Environmental Sciences*, 2, 199-208.
- Gerrand, A., Lindquist, E., D'Annunzio, R., & Obstler, R. (2012). Un estudio por teledetección permite actualizar los cálculos de pérdidas de superficies forestales. *Unasylva: revista internacional de silvicultura e industrias forestales*, 238, 14-15.
- 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.
- 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.
- López-Pérez, A., Martínez-Menes, M. R., & Fernández-Reynoso, D. S. (2015). Priorización de áreas de intervención mediante análisis morfométrico e índice de vegetación. *Tecnología y ciencias del agua*, 6(1), 121-137.
- Martínez, 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.
- Mas, J.-F., Puig, H., Palacio, J. L., & Sosa-Lopez, A. (2004). Modelling deforestation using GIS and artificial neural networks. *Environmental Modelling & Software*, 19(5), 461-471.
- Meneses-Tovar, C. L. (2011). El índice normalizado diferencial de la vegetación como indicador de la degradación del bosque. *Unasylva*, 62(2), 39-46.
- Mihai, L., Stancalie, A., Sporea, A., Sporea, D., Nertan, A., & Mihailescu, D. J. R. R. i. P. (2016). *Drought vegetation monitoring using in situ and satellite data, in the caracal plain of Romania*, 68(2), 799-812.
- Muñoz, G. D., Rodríguez, M. M., & Romero, H. M. (2009). Análisis multitemporal de cambios de uso del suelo y coberturas, en la microcuenca las minas, corregimiento de La Laguna, municipio de Pasto, departamento de Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 26(1), 11-24.
- Pereira, L. E., Amorim, G., Grigio, A. M., & Paranhos, A. C. (2019). Análise comparativa entre métodos de Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) em área úmida continental. *Anuário do Instituto de Geociências*.
- Piscoya, L. R. (2019). *Índice de vegetación de diferencia normalizada (Ndvj) en el distrito de Puquina, Moquegua* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur
- Poonam, S. M., Dharmendra, S., & Reshu, A. (2013). Deforestation monitoring of forest and its predictive modeling: case study of bilaspur forest area, himachal pradesh. *International Journal of Advanced Scientific and Technical Research*, 2(3), 288-299.
- Ramírez, M. E., & Villena, L. E. (2017). *Teledetección de pasivos ambientales de origen químico utilizando imágenes satelitales Landsat 8 en la provincia de Hualgayoc-2017*. Universidad Privada del Norte. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas.
- Rodrigues, W. B., de Morais, F., & Paschoal, L. G. (2017). Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI) calculado para estações chuvosas e secas na bacia do Córrego Barreiro, Lagoa da Confusão-TO.
- 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).
- SERNANP. (2019). La Reserva Nacional de Tumbes. Retrieved from <https://www.sernanp.gob.pe/de-tumbes>
- Silva, J. R., Moura, A. C. M., Gleriani, J. M., de Souza, W. P., & Magalhães, L. S. (2011). Detecção de mudanças da cobertura e uso da terra no município de Ouro Preto-MG, no período de 1989 a 2010. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR: Curitiba, PR, Brasil*
- Tagliarini, F. d. S. N., Rodrigues, M. T., Rodrigues, B. T., & Campos, S. (2017). *Índices NDVI e NDWI como ferramentas ao*

- mapeamento do uso e ocupação em bacia hidrográfica*. XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.
- Tiedemann, J. L. (2011). Fenología del bosque de las subregiones naturales: Chaco Semiárido y Chaco Serrano, de Santiago del Estero, Argentina. *Ecología Aplicada*, 10(2), 51-59.
- Tiedemann, J. L., Zerda, H. R., Grilli, M., & Ravelo, A. C. (2012). Variabilidad fenológica del bosque y del pastizal nativo en el Chaco Semiárido de la Provincia de Santiago del Estero, Argentina Phenological variability of forest and native pastures in the Semiarid Chaco of the Santiago del Estero Province. *Ambiência*, 8(1), 47-60.
- Uvidia, K. Y. (2020). Análisis de la dinámica espacio temporal del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y su relación con patrones climáticos globales en el páramo ecuatorial entre el año 2001 y 2018. Trabajo para la obtención del título de Ingeniero ambiental. Quito, Ecuador.
- 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.