

Valoración del cambio en la cobertura vegetal de la subcuenca del río El Salto, Guanacaste, Costa Rica

Evaluation of the Change in Vegetation Coverage of the El Salto River Sub-Basin, Guanacaste, Costa Rica

Jose Carlos Castro Vega*
Marlon Obando Zamora**
Daniel Rodríguez Álvarez***
Yirieth Torres García****

DOI: 10.22458/rb.v32i2.3908

Recibido – Received: 13/08/2021 / Corregido – Revised: 01/11/2021 / Aceptado – Accepted: 20/11/2021

RESUMEN

La cobertura vegetal provee una serie de beneficios tanto para la biodiversidad como para las actividades humanas que se desarrollan dentro de una cuenca hidrológica. A pesar de lo anterior, históricamente la cobertura vegetal se ha visto perjudicada por la intervención del ser humano. El objetivo del presente trabajo consiste en determinar el cambio en la cobertura vegetal de la subcuenca del río El Salto, Guanacaste, Costa Rica, para el periodo 1991-2021. Se observó que los cambios en la cobertura a lo largo del periodo mencionado tuvieron una tendencia de mejoría, 49,77% de vegetación insalubre con valores de 0,2 y 0,3 en el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, lo cual cambió en el 2021 al llegar a valores de 0,9. La mejora de la cobertura vegetal se asocia principalmente a los esfuerzos institucionales, ya que para el año 1997 surge una nueva ley forestal y se implementa el programa de pagos por servicios ambientales.

Palabras clave: cuenca hidrográfica; cuenca hidrológica; reforestación; ley forestal; imagen satelital.

ABSTRACT

Vegetation coverage provides a series of benefits for both biodiversity and human activities that take place within a hydrological basin. Despite this, historically vegetation coverage has been affected by human intervention. The objective of this project is to determine the change in the vegetation cover of the El Salto River sub-basin, Guanacaste, Costa Rica, for the 1991-2021 period. It was observed that changes in coverage throughout the mentioned period had an improving trend, 49.77% of unhealthy vegetation with values of 0.2 and 0.3 in the Normalized Difference Vegetation Index, which changed for 2021 raising to 0.9. The improvement in the vegetation coverage is mainly associated with institutional efforts, since in the year 1997 a new forestry law came into effect and the program of payments for environmental services began to be implemented.

Keywords: watershed; hydrological basin; reforestation; forestry law; satellite imagery.

* Estudiante de Ingeniería Hidrológica, Universidad Nacional de Costa Rica, sede regional Chorotege, campus Liberia, Guanacaste, Costa Rica. jose.castro.vega@est.una.ac.cr

ID: <https://orcid.org/0000-0002-2729-8412>

** Estudiante de Ingeniería Hidrológica, Universidad Nacional de Costa Rica, sede regional Chorotege, campus Liberia, Guanacaste, Costa Rica. marlon.obando.zamora@est.una.ac.cr

ID: <https://orcid.org/0000-0001-7589-5812>

*** Estudiante de Ingeniería Hidrológica, Universidad Nacional de Costa Rica, sede regional Chorotege, campus Liberia, Guanacaste, Costa Rica. jose.rodriguez.alvarez@est.una.ac.cr

ID: <https://orcid.org/0000-0003-2833-6297>

**** Estudiante de Ingeniería Hidrológica, Universidad Nacional de Costa Rica, sede regional Chorotege, campus Liberia, Guanacaste, Costa Rica. patricia.torres.garcia@est.una.ac.cr

ID: <https://orcid.org/0000-0002-9873-5819>



Introducción

Existen factores que afectan la calidad de los ecosistemas, entre ellos las actividades antropogénicas como la agricultura, la ganadería, el turismo y el crecimiento urbanístico, ya que pueden alterar tanto la zona de la cuenca como la biodiversidad que la habita (Uribe, 2015). Las cuencas hidrológicas se definen como el área de drenaje de todas las precipitaciones que se unifican para formar un solo curso de agua y, a su vez, el concepto de cuenca hidrológica está arraigada a la topografía ya que mediante las condiciones del relieve se conforma el curso de agua (Villón, 2015).

La importancia del análisis de una cuenca hidrológica radica en que el sistema hidrológico está asociado a toda actividad en las comunidades como la demanda de alimentos y el agua potable (Ordoñez, 2011). Por otra parte, se debe realizar un análisis de elementos que influyen en su correcto funcionamiento y permiten una adecuada gestión del recurso, siendo la cobertura vegetal primordial para la protección de los suelos de la cuenca (Gaspari *et al.*, 2013). La cobertura vegetal en los suelos sirve de amortiguador frente a las precipitaciones evitando la erosión, principal causante de la pérdida de fertilidad en las laderas, sedimentación y degradación de los ríos en las partes bajas (Comisión Nacional Forestal, 2012; Camacho *et al.*, 2015).

La cobertura vegetal en una cuenca hidrológica provee una serie de beneficios tanto para la biodiversidad dentro de la cuenca como para las actividades humanas que se desarrollan dentro de ella. Específicamente, la cobertura ribereña es un corredor fundamental para la fauna ya que más de 80% de las poblaciones animales utilizan este bosque (Mattey, 2017).

Gaspari *et al.* (2013) mencionan que la cuenca hidrográfica se define como un sistema de relaciones sociales y económicas, cuya base territorial y ambiental es una red de drenaje superficial que fluye a un mismo río, lago o mar con un territorio que lo comprende.

Por otra parte, según el Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET, 2011), en su Plan Nacional de Desarrollo Forestal (PNDF), el sector forestal ha logrado avances en la regulación de las actividades productivas que impactan considerablemente el ambiente. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación es determinar el cambio en la cobertura vegetal de la subcuenca del río El Salto para el período 1991-2021, Guanacaste, Costa Rica.

Materiales y métodos

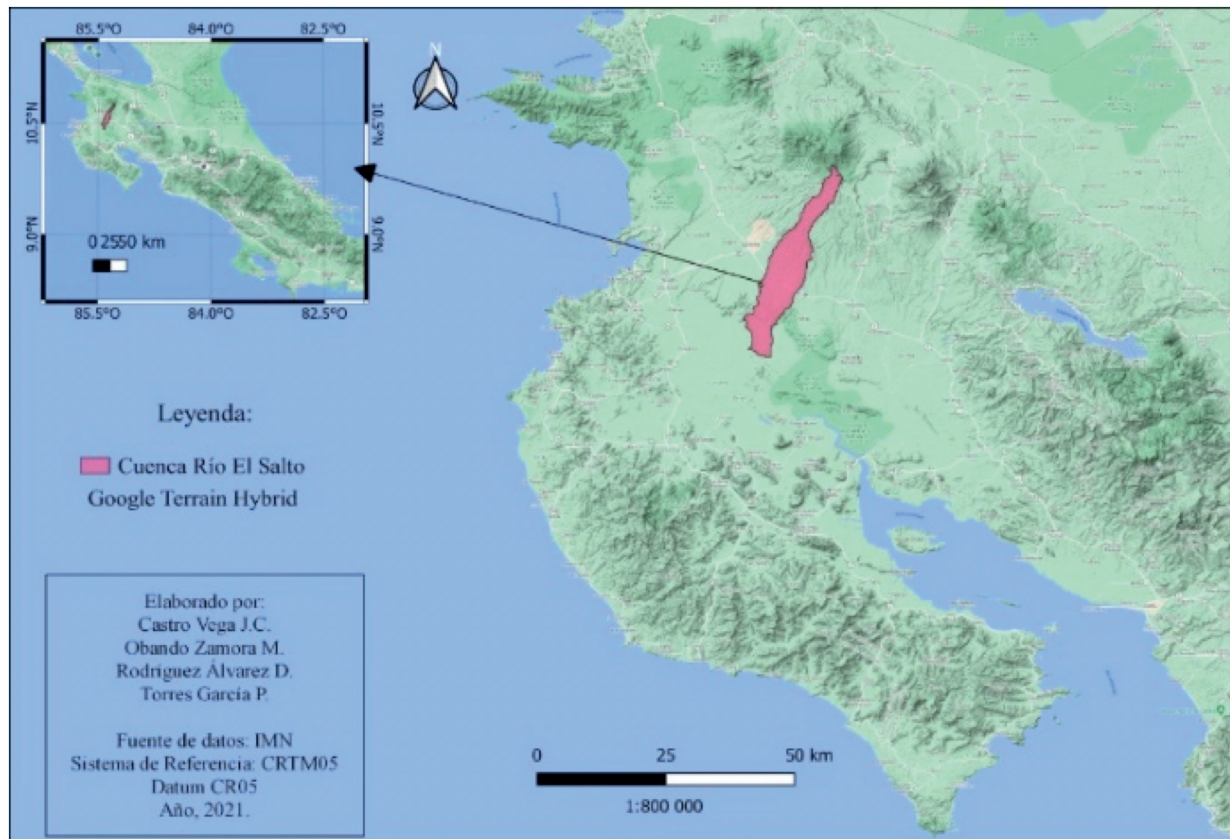
Área de estudio

La presente investigación se realizó en la subcuenca de El Salto, Guanacaste, en la subregión central del Pacífico Norte de Costa Rica (figura 1). De acuerdo con sus características edafoclimáticas posee un clima tropical seco, la temperatura máxima es de 35°C y la mínima de 24°C, con una precipitación media mensual que oscila entre 0mm y 13mm para los meses de marzo-abril; sin embargo, los meses que van desde mayo a octubre son los de mayor precipitación (Weather Spark, 2021). Los suelos son de tipo entisol, que se definen como derivados de roca suelta que tienen una formación reciente sobre abanicos aluviales y en llanuras de inundación (Instituto de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, 2015).



Figura 1

Ubicación de la subcuenca del río El Salto, Guanacaste, Costa Rica



Nota. Elaboración propia con base en el Atlas de Cuencas Hidrográficas de Costa Rica 2011, para delimitar la subcuenca.

Metodología

Periodos seleccionados

Se eligió un periodo de diez años (1991-2021), con la intención de abarcar y representar los cambios más característicos presentes en la subcuenca. Además, durante los meses de marzo o abril para cada año, ya que tienen la ventaja de presentar el rango de cobertura nubosa baja, lo que facilita la realización de los análisis de imágenes teledetectadas.

Análisis de imágenes teledetectadas

Las imágenes teledetectadas son generadas a partir de la energía que es reflejada por la

superficie de la Tierra, sin embargo, la energía depende de su procedencia (Frank, 2017); A su vez, Frank (2017) menciona que existen dos tipos de teledetección, la activa y la pasiva, siendo la última la utilizada en la investigación, y se presenta cuando la fuente de energía proviene del sol, por ejemplo, en las imágenes satelitales.

Además, es importante conocer las bandas del espectro electromagnético, cuyo uso es frecuente en la teledetección. Según Chuvieco (1990), las bandas son: el espectro visible, el infrarrojo próximo, el infrarrojo medio y las subbandas. Es a partir de las bandas que surge el concepto de firma espectral que se define

como el comportamiento de la reflectancia de los objetos espaciales con respecto a las bandas del espectro electromagnético.

Recolección de datos utilizando el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS)

El Servicio Geológico de Estados Unidos es una fuente principal de datos de sistemas de información geográfica (GIS). Los datos e información se presentan de forma espacial y geográfica, incluyendo The National Map, Earth Explorer, Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), Global Visualization Viewer, LandsatLook (USGS, 2021). Las imágenes satelitales de la zona de estudio fueron tomadas de la plataforma Earth Explorer, generadas por los satélites Landsat 5, 7 y 8. El tamaño aproximado de las imágenes es de 170 km escena de norte a sur por 183 km de este a oeste (Bravo, 2017), características óptimas para realizar los análisis de la vegetación planteados.

Análisis de cobertura vegetal

La cobertura vegetal es un parámetro importante para la evaluación y el monitoreo de los recursos claves, por tanto debe ser tomada en cuenta a la hora de hacer estudios hidrológicos. Para la investigación, se debe conocer el comportamiento espectral de la vegetación. La clorofila absorbe la luz roja y la azul por lo que refleja principalmente la luz verde; sin embargo, la clorofila refleja aún más el infrarrojo cercano (Frank, 2017).

A partir del contraste, surge el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés), el cual según Ali y Jassem (2015) es un cálculo, basado en varias bandas espectrales (la banda roja y la banda

infrarroja cercana), de la salida fotosintética de píxel en imágenes satelitales. Con el fin de realizar un análisis más completo, es necesario determinar el área por cada valor obtenido (figura 2) a lo largo de la zona de estudio, de esta manera se puede determinar el área exacta de las zonas de la subcuenca que se encuentra con vegetación insalubre o, por el contrario, saludable. Se realizó un cálculo de áreas en hectáreas (ha) según el valor de NDVI, que va desde 0 hasta 0,9, para los años 1991, 2001, 2011 y 2021.

Recopilación de información sobre planes de reforestación en el área de estudio

Mediante los informes realizados por el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), se elaboró un cuadro con las hectáreas cubiertas por el programa de pago de servicios especiales (PSA), con el fin de validar los resultados obtenidos.

Resultados

Composición de mapa con NDVI como referencia

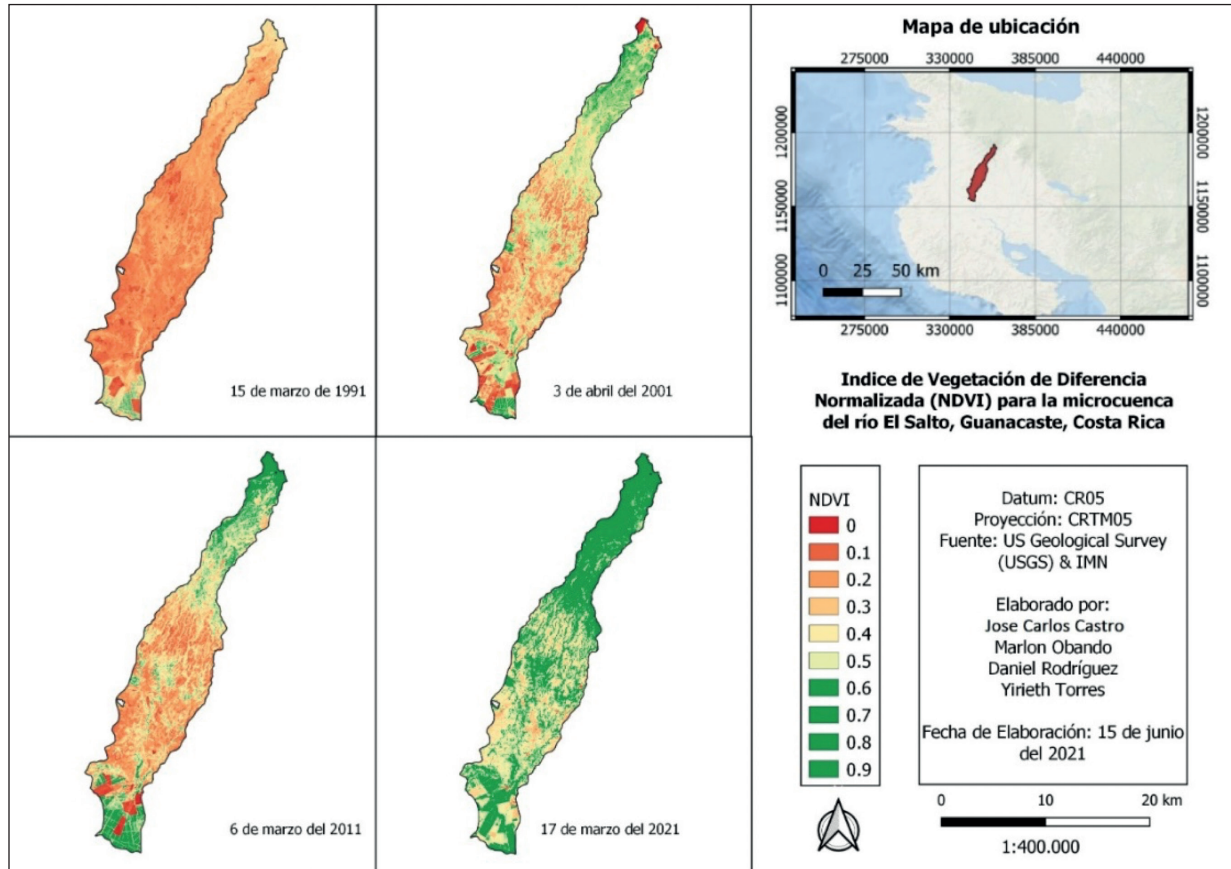
En el NDVI realizado puede observarse que los valores van desde 0,1 hasta 0,9. Cabe resaltar que los valores de 0,5 en adelante representan una calidad sana en la vegetación, por ende, presentan la misma tonalidad de verde en su representación en el mapa (figura 2).

Determinación de área por valor de NDVI

De acuerdo con el cálculo de áreas en hectáreas (ha), realizado según el valor NDVI, se observa el cambio en la cantidad de las áreas conforme pasa el tiempo, determinando que

Figura 2

Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para la subcuenca del río El Salto, Guanacaste, Costa Rica



Nota. Elaboración propia con base en el Atlas de Cuencas Hidrográficas de Costa Rica 2011, para delimitar la subcuenca. Donde los colores rojos a amarillo representan vegetación no saludable y los colores verdes representan vegetación saludable.

el año 1991 fue cuando la subcuenca presentó su peor estado en la vegetación, ya que la mayor parte de hectáreas se mantuvo en valores de NDVI de 0 y 0,5, caso contrario el del año 2021, donde la mayor concentración de hectáreas oscila entre valores de NDVI de 0,5 y 0,9 (cuadro 1). Es decir, la vegetación en el 2021 tiene mejores condiciones que la vegetación presente en el año 1991.

Así mismo, se hizo una comparación entre los cuatro años. El año 1991, es el periodo

con mayor área cubierta de vegetación con valores de NDVI menores a 0,5. Además, se observa que para 2001 y 2011 la vegetación presenta una mejor distribución por valor de NDVI, incrementando el valor máximo a 0,7 y 0,8, respectivamente.

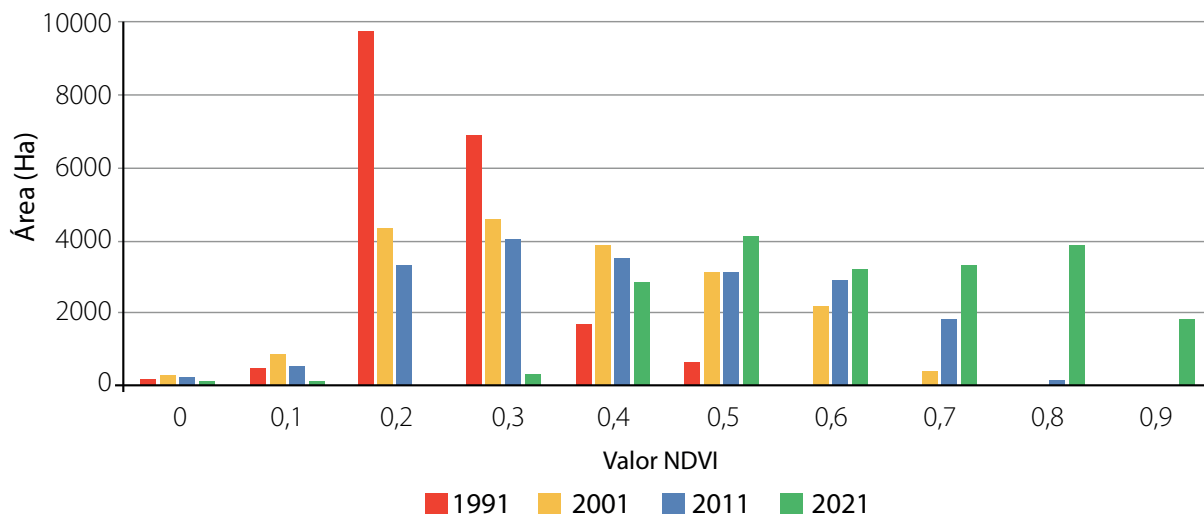
Por lo tanto, se distingue un incremento de la vegetación con valores mayores a 0,5 para los siguientes años, siendo el año 2021 el que presenta mayor cantidad de hectáreas con vegetación sana (figura 3).

Cuadro 1
Determinación de las áreas (ha) por año de acuerdo con el valor de NDVI obtenido

Valor NDVI	Área (ha) para el año 1991	Área (ha) para el año 2001	Área (ha) para el año 2011	Área (ha) para el año 2021
0	176,94	272,77	221,99	90,72
0,1	464,63	858,00	535,02	113,04
0,2	9 798,23	4 363,28	3 317,73	45,27
0,3	6 934,00	4 595,65	4 014,71	318,06
0,4	1 692,69	3 851,65	3 511,63	2 823,99
0,5	614,67	3 121,54	3 157,48	4 083,57
0,6	0	2 193,56	2 920,94	3 233,09
0,7	0	423,92	1 850,67	3 296,08
0,8	0	0	150,12	3 846,79
0,9	0	0	0	1 841,17
Total	19 681,15	19 680,36	19 680,28	19 691,78

Nota. Elaboración propia con base en los resultados obtenidos en la aplicación del NDVI a la subcuenca.

Figura 3
Observación de las áreas por año y valor de NDVI



Nota. Elaboración propia con base en los resultados obtenidos en la aplicación del NDVI a la subcuenca.

A su vez, las áreas por pagos de servicios ambientales por parte del FONAFIFO en la región Chorotega se incrementaron en 40%

desde el año 2015 al 2019, lo cual mejoró la cantidad de cobertura vegetal en la subcuenca en estudio (cuadro 2).

Cuadro 2
Determinación de las hectáreas cubiertas por PSA en la región Chorotega

Años	Hectáreas cubiertas (ha)
2015	41 392
2017	47 963
2018	58 034
2019	57 826

Nota. Adaptación de los Informes Plan Anual Operativo de FONAFIFO para los años 2015, 2017, 2018, 2019.

Discusión

Tomando en cuenta que Frank (2017) indica que los valores asociados a la vegetación en la clasificación NDVI son aquellos mayores a cero y menor o igual que uno, se eliminaron todos los que fueran negativos con el objetivo de realizar el estudio únicamente a la vegetación. Por otra parte, es importante mencionar las características y propiedades de los suelos de orden entisol, tipo de suelo que presenta una fertilidad baja ya que son suelos minerales débiles y se encuentran generalmente en lugares semiáridos (Instituto de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, 2015). Estas características se aprecian en la parte media de la subcuenca, donde se encuentra la mayor concentración de vegetación no saludable (valores menores a 0,5), según el NDVI.

Leiva *et al.* (2009) mencionan que en los suelos de Liberi y Bagaces existe un paisaje de Bosques tropicales Secos (BTS) que alternan con repastos ganaderos, sitios abandonados, y áreas cultivadas. Los BTS en la época seca pierden alrededor de 25% a 75% de las hojas, mientras que para la época de lluvia mantienen una apariencia de selvas verdes (Reyes, 2018). Adicionalmente, el NDVI permite explorar la relación entre los patrones de lluvia,

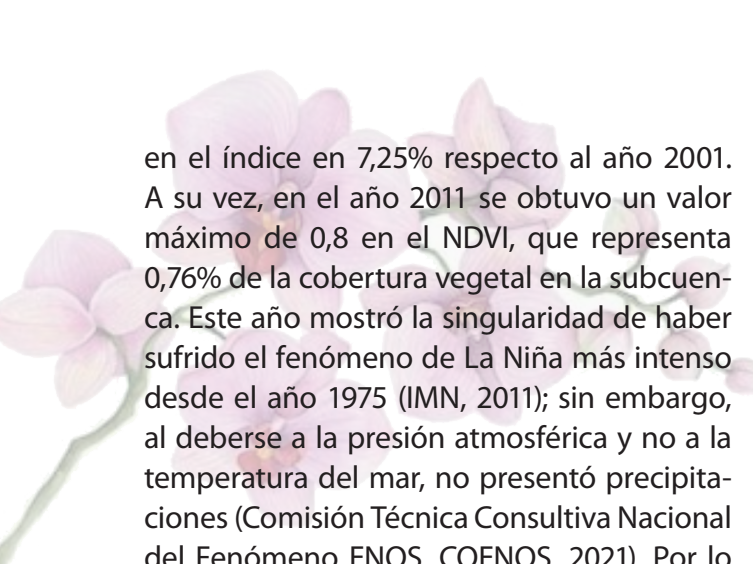
la cobertura vegetal relacionada y la productividad relacionada con el fenómeno de El Niño (Petorelli *et al.*, 2011). Por esta razón, se buscaron patrones de los eventos extremos ocurridos en la zona desde el año 1991 hasta el año 2021, para relacionarlo con los valores obtenidos al aplicarse el NDVI en la vegetación de la subcuenca.

Al obtener el valor total de cada cobertura según el año correspondiente, se pueden observar cambios dramáticos en el estado de la vegetación. Para el año 1991, 49,77% de la vegetación era no saludable con un valor de 0,2 en el NDVI, lo cual indica que aproximadamente la mitad de la vegetación en la subcuenca se encontraba en un mal estado; en cambio, solo 3,12% de la vegetación tuvo un valor de 0,5 en el NDVI; sin embargo, cabe mencionar que este valor aún no se considera como vegetación saludable, según Frank (2017). Las grandes cantidades de vegetación no saludable se pueden asociar a la sequía producida por el evento El Niño 1990-1994 (Retana *et al.*, s.f.).

A pesar de que durante el año 2001 se presentó una sequía en toda la región centroamericana y Costa Rica resintió las lluvias, sobre todo en la depresión del Tempisque, Liberia y Carrillo incluidos (Retana *et al.*, s.f.), se puede observar que la vegetación muestra una mejor distribución en su cobertura, llegando hasta valores de 0,7 en el NDVI, que indica vegetación saludable; sin embargo, este valor sólo representa 2,15% de la cobertura total. Es posible que la mejoría en la vegetación se deba a que en el año 1997 se aprueba la Ley Forestal 7575.

Durante el año 2011, se obtuvieron valores más altos en el NDVI que indican una mejoría en la vegetación, aumentando el valor de 0,7





en el índice en 7,25% respecto al año 2001. A su vez, en el año 2011 se obtuvo un valor máximo de 0,8 en el NDVI, que representa 0,76% de la cobertura vegetal en la subcuenca. Este año mostró la singularidad de haber sufrido el fenómeno de La Niña más intenso desde el año 1975 (IMN, 2011); sin embargo, al deberse a la presión atmosférica y no a la temperatura del mar, no presentó precipitaciones (Comisión Técnica Consultiva Nacional del Fenómeno ENOS, COENOS, 2021). Por lo que la mejoría se puede deber a los esfuerzos realizados durante los 14 años desde la aprobación de la Ley Forestal 7575.

Finalmente, para el año 2021, la cantidad de vegetación saludable en la subcuenca aumentó hasta representar 62,04% de la cobertura total, recalcando que en el NDVI los valores de vegetación saludable son aquellos que van de 0,6 hasta 1. Para este año, los datos climatológicos recopilados por el IMN en los boletines N°138 y N°139 señalan que, para los meses de enero a abril del año 2021, se presentó el fenómeno de La Niña, aunque la precipitación en los meses elegidos para realizar el estudio (2021) fue escasa. No obstante, la tendencia de mejoría en la cobertura vegetal que se presentó en los años 2001 y 2011, se mantuvo para el 2021.

Conclusiones

La cantidad de vegetación saludable ha ido aumentando en la subcuenca El Salto a lo largo de las décadas. Para el año 1991, el mapa

estaba cubierto en 49,77% por vegetación insalubre con valores de 0,2 y 0,3; y un valor máximo de 0,5 en el NDVI, lo cual cambió en los siguientes años, evolucionando hasta llegar al 0,9 para el año 2021. Lo anterior evidencia que ha existido una recuperación de la cobertura vegetal en la subcuenca El Salto.

El NDVI presenta desventajas y una de ellas es que no diferencia entre tipos de vegetación, por ejemplo, bosque-cultivo, ya que el NDVI considera solamente la clorofila presente en la hoja, por lo que habría que realizar un análisis más exhaustivo para conocer cuánta de la vegetación sana mostrada en los resultados pertenece a cultivos. Esto debido a que los cultivos no indican una recuperación de la subcuenca.

Los esfuerzos institucionales y comunitarios poseen un importante papel respecto a la recuperación de la cobertura vegetal. Al considerar lo reportado por FONAFIFO, los avances legales como la Ley 7575 y los esfuerzos institucionales privados y comunales han aumentado la concientización sobre la reforestación, la protección, la conservación, la regeneración y el manejo de bosques. Por tanto, es importante realizar nuevamente estudios similares en años venideros, con el fin de valorar los cambios generados en la cobertura vegetal, ya que esta recuperación sólo se puede lograr a través de la información científica y un trabajo conjunto entre la comunidad y las instituciones relacionadas con el tema.



Referencias

- Ali, S. & Jassem, D. (2015). *Monitoring Vegetation Areas by using Remote Sensing Techniques*. University of Baghdad: 6. DOI: 10.13140/RG.2.1.2927.9206.
- Bravo, N. (2017). *Teledetección Espacial LandSat, Sentinel 2, Aster LIT y MODIS*. Primera edición. Geomática Ambiental S.R.L
- Camacho, J., Pérez, J., Pineda, N., Cadena, E., Bravo, L. & Sánchez, M. (2015). Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción de la Zona de Transición Mexicana de montaña. *Madera y Bosques*, 21(1): 93-112.
- Chuvieco, E. (1990). *Fundamentos de la Teledetección Espacial*. Primera edición. Ediciones Rialp: 26-27, 48-50.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2012). *Programa de restauración forestal de cuencas hidrográficas prioritarias*. Primera edición. Zapopan, Jalisco, México: 9. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/20/4790Programa%20de%20restauraci%C3%B3n%20de%20cuencas%20hidrogr%C3%A1ficas%20prioritarias.pdf>
- Comisión Técnica Consultiva Nacional del Fenómeno ENOS (COENOS). (2011). *Boletín del ENOS N°41: 2*. <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/28152/%23%2041>
- Frank, N. (2017). *Teoría-Teledetección Espacial Landsat, Sentinel-2, Aster LIT y MODIS*. Primera edición. Geomática Ambiental S.R.L. Huánuco, Perú: 7-9, 70-77.
- Gaspari, F., Rodríguez, A., Senisterra, G., Delgado, M., Besteiro, M. (2013). *Elementos Metodológicos para el Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Primera edición. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales Universidad Nacional de La Plata: 157. <https://core.ac.uk/download/pdf/15784528.pdf>
- Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (IMN). (2011). *Resumen Meteorológico Marzo del 2011: 5*. <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/14633/MARZO>
- Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (IMN). (2021). *Boletín del ENOS N°138: 1*. <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/502711/%23138+%28enero%29>
- Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (IMN). (2021). *Boletín del ENOS N°139: 1*. <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/502711/%23139+%28abril%29>
- Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). (2015). *Suelos de Costa Rica: Orden Entisol*. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Av-1822.PDF>
- Leiva, J., Rocha, O., Mata, R., & Gutiérrez, M. (2009). Cronología de la regeneración del bosque tropical seco en Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica: II. La vegetación en relación con el suelo. *Revista de Biología Tropical*, 57(3), 817-836. Retrieved September 15, 2021, from http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442009000300029&lng=en&tlng=es.
- Liberia Climate, Weather by Month, Average Temperature (Liberia, Costa Rica)-Weather Spark. (2021). <https://es.weatherspark.com/y/14907/Clima-promedio-en-Liberia-Costa-Rica-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Mattey, D., Navarro, J., Obando, P., Fonseca, A., & Núñez, C. (2017). Caracterización de la cobertura vegetal dentro de la franja de protección del río Copey, Jacó, Puntarenas, Costa Rica. *Revista Geográfica De América Central*, 1(58), 275-294. <https://doi.org/10.15359/rgac.58-1.11>
- Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). (2015). *Informe del Plan Anual Operativo: 2015. Fondo Nacional de Financiamiento Forestal*. <https://www.fonafifo.go.cr/es/documentos/informes/>
- Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). (2017). *Informe del Plan Anual Operativo: 2017. Fondo Nacional de Financiamiento Forestal*. <https://www.fonafifo.go.cr/es/documentos/informes/>
- Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). (2018). *Informe del Plan Anual Operativo: 2018. Fondo Nacional de Financiamiento Forestal*. <https://www.fonafifo.go.cr/es/documentos/informes/>
- Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). (2019). *Informe del Plan Anual Operativo: 2019. Fondo Nacional de Financiamiento Forestal*. <https://www.fonafifo.go.cr/es/documentos/informes/>
- Ministerio de ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET). (2011). *Plan Nacional de Desarrollo Forestal (PNDF) 2011-2020 Costa Rica*. Primera edición. San José, Costa Rica: 10. <https://www.sirefor.go.cr/pdfs/publicaciones/plannacionafinalweb.pdf>

Ordoñez, J. (2011). *Contribuyendo al desarrollo de una Cultura de agua y la Gestión Integral del recurso hídrico*. Primera edición. Lima, Perú: Sociedad Geográfica de Lima: 6.

Pettorelli, N., Ryan, S., Mueller, T., Bunnefeld, N., Jedrzejewska, B., Lima, M., & Kausrud, K. (2011). The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): Unforeseen successes in animal ecology. *Climate Research*, 46(1), 15-27. <https://doi.org/10.3354/cr00936>

Retana, J., Calvo, M., Sanabria, N., Córdoba, J., Calderón J., Cordero, K. (s.f). *Análisis de riesgo ante eventos hidrometeorológicos extremos en Costa Rica. Casos de estudio: Liberia, Carrillo, Matina y Talamanca*. Proyecto Apoyo al Programa Nacional de Cambio Climático en Costa Rica. Mejora de la capacidad de mitigación y adaptación. MINAE-AECID-MIDEPLAN. Departamento de Climatología e Investigaciones Aplicadas. Instituto Meteorológico Nacional: 117.

Reyes, G. (2018). *Estimación de la biomasa epigea en bosques tropicales secos de la península Yucatán combinando datos LiDAR e imágenes multiespectrales de muy alta resolución*. Mérida, Yucatán, México: Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C: 8. https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/1179/1/PCB_RN_M_Tesis_2018_Reyes_Gabriela.pdf

Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). (2021). Servicio Geológico de Estados Unidos: <https://www.usgs.gov/>

Uribe, E. (2015). *El Cambio Climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina*. Primera edición. Santiago, Chile: CEPAL: 23.

Villón, M. (2015). *Hidrología*. Segunda edición, pág. 29. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

