



Evaluación de cambios en la cobertura vegetal en Isla Guadalupe mediante índices de vegetación

Evaluation of changes in vegetation cover on Guadalupe Island with vegetation indices

Martha Lizeth Ceceña-Sánchez^{1*}, Ricardo Eaton-González², Aurora Breceda Solís-Cámara¹, José Delgadillo-Rodríguez³, Luciana Luna-Mendoza⁴ y Alfredo Ortega-Rubio¹

¹ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Baja California Sur, México. abreceda@cibnor.mx, aortega@cibnor.mx.

³ Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias, Herbario BC MEX, Ensenada, Baja California, México. jdelga@uabc.edu.mx

⁴ Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C. Ensenada, Baja California, México. luciana.luna@islas.org.mx

² Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias. Ensenada, Baja California, México. reaton@uabc.edu.mx.

* Autor de correspondencia. mceceña@pg.cibnor.mx

RESUMEN

La detección de los cambios espaciales y temporales en la cobertura vegetal son esenciales para el mejor entendimiento del estado y abundancia de los recursos en una región. Este estudio se centra en la evaluación de los cambios y la recuperación de la cobertura de la vegetación de Isla Guadalupe, afectada por la presencia de cabras asilvestradas, erradicadas en 2007. El análisis de cambio basó en el cálculo de los índices de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) y de vegetación ajustado al suelo (SAVI, por sus siglas en inglés), utilizando imágenes satelitales multiespectrales de alta resolución de los satélites QuickBird y WorldView-2, en 2004 y 2013, correspondientes a la etapa previa y posterior a la erradicación de las cabras, respectivamente. Se evaluó el cambio en la superficie y la tasa de cambio en la cobertura de las comunidades vegetales. De acuerdo con los resultados obtenidos, se identificaron fácilmente las coberturas de bosque de ciprés, pino y palmar, con un incremento en biomasa para 2013. De manera similar, se detectó que el pastizal duplicó su cobertura en superficie, y hubo disminución del suelo desnudo para 2013. Sin embargo, el NDVI tuvo limitaciones en la determinación de cambios en la cobertura del matorral debido a la baja y mediana densidad de la vegetación para ambos años; por lo que se profundizó en el análisis de la cobertura con SAVI, con mejores resultados y un incremento sostenido de los valores posteriores a la erradicación. Los cambios indican una recuperación para casi todas las comunidades para el 2013.

PALABRAS CLAVE: conservación, erradicación, imágenes satelitales, sucesión ecológica, tipos de vegetación.

ABSTRACT

Detection of spatial and temporal changes in vegetation cover are essential for a better understanding of the state and abundance of resources in a region. This study focuses on the evaluation of the changes and the recovery of the vegetation cover of Guadalupe Island, affected by the presence of feral goats, eradicated in 2007. The change analysis was based on the calculation of the normalized difference vegetation index (NDVI) and soil adjusted vegetation index (SAVI), using high-resolution multispectral satellite images of the QuickBird and WorldView-2 satellites, from 2004 and 2013, corresponding to the stage before and after the eradication of goats, respectively. The change in the surface and the rate of change in the coverage of the plant communities were evaluated. According to the results obtained, the cypress, pine and palm forest cover were easily identified, with an increase in biomass for 2013. Similarly, it was found that the grassland doubled its surface coverage, and there was a decrease in bare soil for 2013. However, the NDVI had limitations in determining changes in scrub cover due to the low and medium density of vegetation for both years; therefore, the analysis of SAVI coverage was deepened, with better results and a sustained increase in post-eradication values. The changes indicate a recovery for almost all communities by 2013.

KEYWORDS: conservation, eradication, satellite images, ecological succession, plant communities.

INTRODUCCIÓN

La detección de los cambios temporales y espaciales en la cobertura vegetal es un indicador importante de la dinámica de los ecosistemas (Gonzaga-Aguilar, 2015); además, es esencial para el mejor entendimiento del estado y el monitoreo de las variaciones en el vigor vegetativo, abundancia y distribución de la cobertura vegetal de una región determinada (Oliveros, 2015). Isla Guadalupe es una remota isla oceánica, localizada frente a las costas de la Península de Baja California, México. Florísticamente es considerada parte de la Provincia Florística Californiana (Axelrod, 1978; Moran, 1996), ya que destaca por su riqueza biológica terrestre particularmente notable en plantas vasculares (Moran, 1996; León de la Luz, Rebman y Oberbauer, 2003), con 39 *taxa* endémicos y 16 *taxa* endémicos insulares compartidos con las Islas del Canal de California, EE.UU. (Junak, 2005; Rebman *et al.*, 2002). Rzedowski (1978) la clasifica como única y exclusiva de este cuerpo insular y la nombró Provincia Florística de Isla Guadalupe. Sin embargo, la diversidad biológica de la isla se vio amenazada por la llegada de especies exóticas de flora y fauna (Moran, 1996), así el paisaje vegetal fue severamente impactado por la introducción de la cabra asilvestrada (*Capra hircus*) a mediados del siglo XIX. Este herbívoro fue introducido en al menos 397 islas del mundo, por balleneros y pescadores, cuyo propósito fue proveer de alimento fresco para las futuras visitas a la isla (Campbell y Donlan, 2005; Coblenz, 1978). A partir de este evento se generaron una serie de procesos negativos como la fragmentación y pérdida de hábitats naturales y, como consecuencia, una significativa reducción de la cobertura vegetal.

El primer paso para la conservación y restauración de la biodiversidad nativa de la Isla Guadalupe fue la erradicación del herbívoro exótico mencionado, la cual culminó en el año 2007. Esto desencadenó la regeneración natural de la vegetación; especies consideradas extintas o extirpadas han sido redescubiertas y se han realizado nuevos registros. Sin embargo, pocos son los estudios que documentan la respuesta de las comunidades vegetales a

esta acción de manejo, principalmente por la lejanía respecto al continente y el gran esfuerzo para documentarlo (Klinger, Schuyler y Sterner, 2002; Cole y Litton, 2014; Ortiz-Alcaraz, 2016). De manera que, una forma de contribuir a la documentación de dichas acciones es el empleo de herramientas de percepción remota y técnicas que permitan el uso de datos satelitales multiespectrales, que generan productos como los índices de vegetación (Ramírez-Serrato, 2014). Estos se calculan a partir de medidas de reflectancia, con base en las interacciones entre las plantas y la energía electromagnética de las bandas del espectro rojo e infrarrojo (Chuvieco, 2010). Eso permite identificar la presencia de vegetación y analizar los cambios en las coberturas, atenuar la respuesta espectral del suelo y de las condiciones de iluminación y de la atmósfera (Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2000), en continente (Gilbert, González y García, 1997; MuñozAguayo, 2013; Torres *et al.*, 2014; Oliveros, 2015; Peña y Ulloa, 2017) y particularmente en sitios de difícil acceso, como las islas (Rodríguez-Malagón, 2006; Ramírez-Serrato, 2014; Ortiz-Alcaraz, 2016; Gillespie *et al.*, 2018).

Estos índices de vegetación se han utilizado como una herramienta útil de evaluación y mapeo del estado de la vegetación, que permiten identificar y representar espacialmente áreas más susceptibles a cambiar (Camacho-Sanabria *et al.*, 2015). Por lo tanto, se presentan como un instrumento para planificar la toma de decisiones y la conservación de los recursos naturales (Lizzi, Garbulsky, Golluscio y Deregibus, 2007; Torres *et al.*, 2014). Estudios previos en la isla (Rodríguez-Malagón, Hinojosa-Corona y Aguirre-Muñoz, 2004; Ramírez-Serrato, 2014) han comprobado la utilidad de estos índices para estimar cambios en la cobertura del bosque de ciprés (*Hesperocyparis guadalupensis*) causados por la cabra asilvestrada y el efecto del incendio forestal ocurrido en 2008 (Oberbauer *et al.*, 2009; Villanueva-Díaz *et al.*, 2015).

En esta investigación se aporta información sobre el análisis espectral de las principales coberturas vegetales y la estimación de la tasa de cambio anual de 2004 y 2013. La hipótesis de este trabajo se basa en el cambio en la abundancia y cobertura vegetal a partir de la erradicación de



la cabra asilvestrada. Esta hipótesis sin duda contribuye al desarrollo de nuevo conocimiento relativo al monitoreo de las trayectorias sucesionales de la vegetación como un referente para medir el éxito de las acciones de manejo. Para ello se utilizaron dos imágenes satelitales multispectrales de alta resolución de los satélites QuickBird y WorldView 2, así como el cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y del Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI). Además, se generó una base de datos y un Sistema de Información Geográfica con el que desarrolló cartografía temática sobre la cobertura actual de las distintas comunidades vegetales en la isla.

OBJETIVOS

En el presente trabajo se planteó analizar el estado de recuperación de las principales comunidades vegetales en Isla Guadalupe, además de cuantificar el porcentaje de cambio en la superficie de las coberturas a partir del uso de índices espectrales de 2004 y 2013.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

Isla Guadalupe, México es una isla oceánico-volcánica, con una edad estimada entre 8 y 10 millones de años y con una topografía muy abrupta que alcanza una elevación de 1300 metros sobre el nivel del mar (García-Gutiérrez *et al.*, 2005). La isla se localiza en el Océano Pacífico Oriental a 260 km de las costas de la Península de Baja California, en las coordenadas UTM Zona 11 360355 O y 3243204 N (Fig. 1); es la última frontera de México en su extremo más occidental y septentrional. La isla principal y sus islotes (Morro Prieto, Toro y Zapato) fueron declarados Reserva de la Biosfera en 2005 (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [Conanp], 2013).

Debido a su ubicación, Isla Guadalupe está influenciada por la corriente fría de California que genera niebla, vientos fríos y precipitaciones en invierno. El clima es tipo Seco BS con subtipo mediterráneo templado BSKs, similar al de la costa occidental de Baja California (Aguirre-

Muñoz *et al.*, 2003; García, 2004) con temporada de lluvias en invierno (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [Conanp], 2013). La precipitación promedio anual es de 120 mm y la temperatura media mensual oscila en el intervalo de 17 °C a 19 °C (León de la Luz *et al.*, 2003). En el extremo sur la precipitación es menor, contrastando con el norte, donde se incrementa debido al aumento de la elevación (Moran, 1996), en parte debido a la influencia de la niebla (Garcillán, Vega y Martorell, 2012; Luna-Mendoza, 2014). Los vientos dominantes son controlados por el centro de Alta Presión del Pacífico Norte (Castro, Mascarenhas, Sánchez-Barba, Durazo y Gil-Silva, 2005) provenientes del noroeste con un régimen de niebla frecuente y nubes bajas muy densas, que propician un tipo de lluvia débil, situación que favorece a la vegetación en tiempos de sequía. Los suelos derivan de rocas volcánicas; en su mayoría son someros (Delgado-Argote, García-Abdeslem y Mendoza, 1993), y de acuerdo con Meling-López (1985) son del tipo andosol, vertisol y litosol.

La vegetación de Isla Guadalupe consta de comunidades caracterizadas por la dominancia de especies endémicas entre las que se incluyen el bosque de pino (*Pinus radiata* var. *binata*), bosque de ciprés (*Hesperocyparis guadalupensis*), palmar (*Brabea edulis*), encinares de *Quercus tomentella* en cañadas, y un pequeño remanente de junípero (*Juniperus californica*) (Luna-Mendoza *et al.*, 2019). El matorral es de porte arbustivo bajo tipo xerófilo costero; se distribuye en forma discontinua y actualmente es el tipo de vegetación más dominante con los siguientes subtipos secundarios: matorral norte con la asociación de *Sphaeralcea sulphurea* y *Perityle incana*, matorral desértico marítimo con las asociaciones de *Atriplex barclayana* y *Ambrosia camphorata*, y matorral de la mesa de Guadalupe e islotes, caracterizado por la asociación de *Lycium californicum*, *Sphaeralcea palmeri* y *Deinandra greeneana* subsp. *greeneana* (Ceceña-Sánchez, Aguirre-Muñoz y Delgadillo-Rodríguez, 2018). Otro tipo de cobertura es el pastizal, este se encuentra muy diseminado en toda la isla y se caracteriza por la abundancia de pastos y herbáceas, en su mayoría exóticos (Oberbauer, 2006; Luna-Mendoza, 2019).



FIGURA 1. Ubicación de Isla Guadalupe, México y puntos de verificación de coberturas de vegetación.

Adquisición y procesamiento de imágenes multispectrales

Se utilizaron dos imágenes multispectrales de alta resolución de los sensores QuickBird y WorldView-2, con una resolución espectral de 2.4 m y 2 m, correspondientes a las fechas 4 de abril de 2004 y 13 de mayo de 2013, respectivamente. Las fechas de ambas se consideraron de la misma temporada, por lo tanto, corresponden a épocas en las que la vegetación es fenológicamente compatible y corresponde con el término de la temporada de lluvias. Las imágenes fueron corregidas geométricamente y alineadas en el software QGIS 2.18.14 (QGIS, 2016) mediante puntos

de control obtenidos a partir de dos ortofotos de 2.5 cm de resolución del bosque de ciprés, las cuales fueron producto de fotogrametría obtenida del dron eBee Sense Fly®, procesadas en el software Pix4D Mapper (Pix4D, 2017).

Cobertura vegetal antes de la erradicación de la cabra

Se tomó como referencia la clasificación de coberturas de vegetación propuesta por Oberbauer (2005) para los tipos de cobertura vegetal, evaluados y caracterizados en el periodo 2000-2003, el cual sirvió como referencia del estado de la vegetación antes de la erradicación de la cabra



(Fig. 2). Esta clasificación se digitalizó, se transformó a archivos vectoriales y se georreferenció mediante puntos de control en cada imagen satelital QuickBird y WorldView-2. Los archivos vectoriales se utilizaron como máscara y

fueron superpuestos a las imágenes con el fin de extraer la información estadística contenida en los píxeles delimitados por cada polígono.

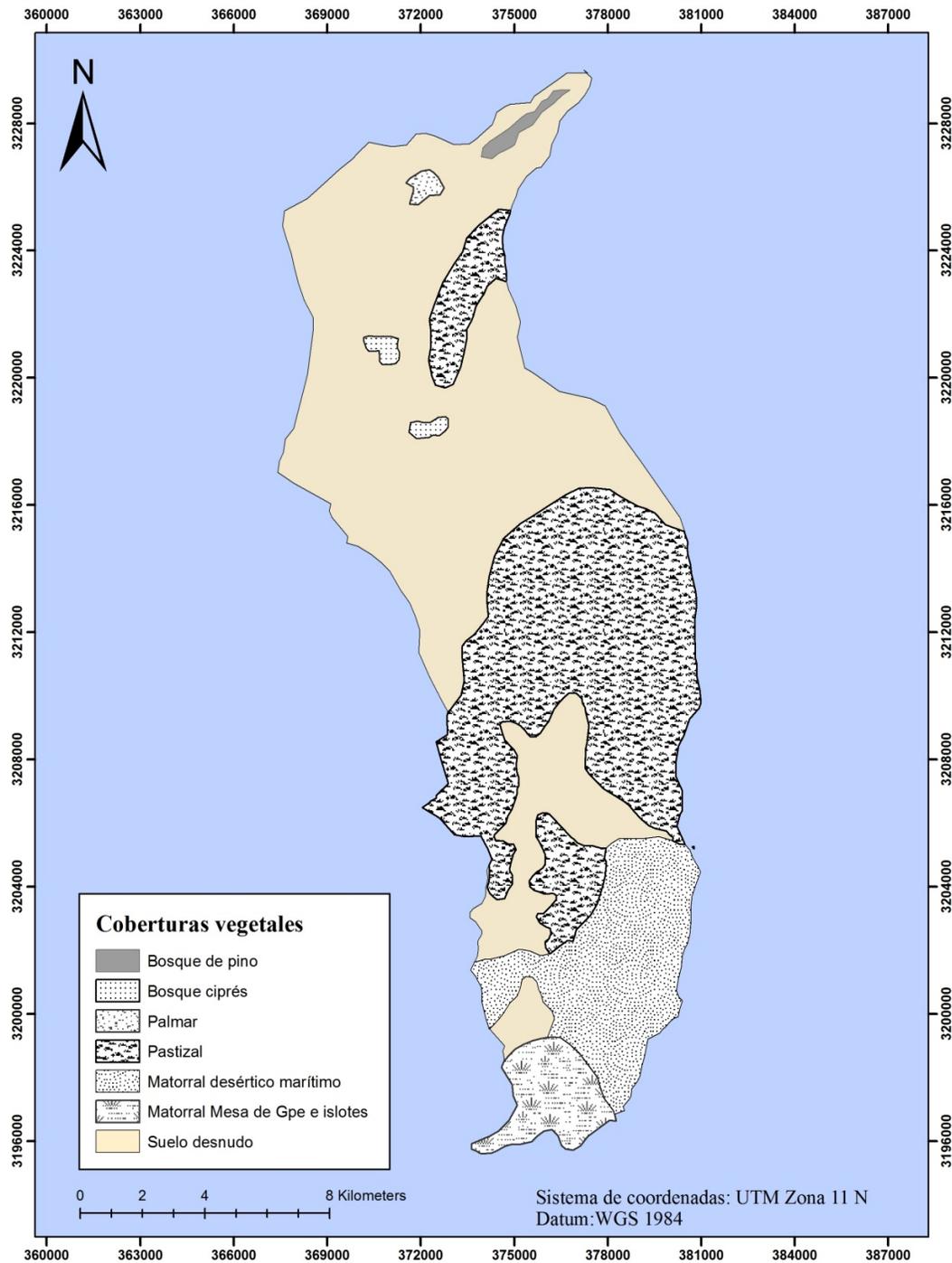


FIGURA 2. Distribución de las principales coberturas vegetales de Isla Guadalupe, México, en 2003. Mapa base de análisis modificado de Oberbauer (2005).

Verificación de puntos en campo

La verificación de la información consistió en realizar recorridos directos en campo durante las primaveras de 2016 a 2019, para validar el mapa de los tipos de cobertura vegetales (Fig. 2) aquí analizados, corroborar en el campo la presencia de lo interpretado, así como las especies dominantes, distribución y cambios en la cobertura de la vegetación. Los sitios de verificación de coberturas vegetales fueron seleccionados con base en la delimitación de las coberturas descritas por Oberbauer (2005). Se seleccionaron píxeles directamente en la imagen, se acudió al sitio y, en 75 puntos de verificación, se hizo el levantamiento, mediante parcelas de 20 m × 30 m y considerando que la vegetación debía ser perenne, continua, homogénea y representativa del tipo de cobertura. Sin embargo, se registraron también todas las demás especies presentes en cada sitio. En cada parcela se realizó un inventario en donde se registró el porcentaje de cobertura de cada especie, de acuerdo con la escala combinada del índice de cobertura-abundancia de Braun-Blanquet (1932). Además, se recopilaron los datos de cobertura vegetal total (%), número de especies, forma de vida, elevación, pendiente en grados, coordenadas UTM, fotografías hacia cada punto cardinal (N, E, S, O), observaciones del sitio y un listado florístico de los sitios. El procedimiento para elaborar el listado florístico consistió en realizar un inventario de todas las especies, tanto perennes como herbáceas presentes, a cada especie se le asignó un valor de la escala del índice de Braun-Blanquet, con la finalidad de identificar las más abundantes y dominantes. Al final se analizó la información de los inventarios y se obtuvo el listado. La identificación del material se basó en Moran (1996) y en el conocimiento previo de la flora de la isla. Se realizaron colectas de las especies no registradas o con duda en su identificación y el material fue depositado en el herbario BC MEX de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Baja California. La información recopilada se transfirió a una base de datos en Excel® para ser sintetizados, analizados y posteriormente transformados a archivos vectoriales.

Índices de vegetación

La cobertura vegetal se definió con base en la densidad y vigor vegetal. Una primera aproximación a la detección de cambios temporales en la cobertura de la vegetación fue el cálculo de los índices de vegetación NDVI y SAVI utilizando las bandas roja (banda 3) e infrarrojo cercano (banda 4) de las imágenes de los sensores QuickBird 2004 y WorldView 2 2013. Para lo anterior se utilizó el software ERDAS Imagine 2014 (ERDAS, 2014); posteriormente, en el software QGIS 2.18.14 (QGIS, 2016) se cuantificó el porcentaje y la diferencia en la superficie cubierta en 2004 (previo a la erradicación de la cabra) y 2013 (posterior a la erradicación). Con base en los valores obtenidos de cada índice para el periodo analizado, se realizó la prueba estadística no paramétrica de Wilcoxon (1945) para establecer si existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores de los índices para cada comunidad vegetal, así como la estimación de la tasa de cambio en estas coberturas de 2004 a 2013.

Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

Descrito por primera vez por Rouse, Haas, Schell, Deering y Harían (1974), el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) es el más utilizado debido a la sencillez en su cálculo y a su intervalo de variación fijo (Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2000). Este intervalo oscila entre -1 y +1; valores cercanos a +1 representan mayor porcentaje de cobertura vegetal y, por ende, sitios con coberturas más saludables (Torres *et al.*, 2014).

El índice se calcula mediante la diferencia normalizada de las bandas rojo e infrarrojo cercano de una imagen con la ecuación 1.

$$NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+R} \quad (1)$$

Donde:

NIR = reflectancia de la región del infrarrojo cercano (banda 4)



R = reflectancia de la región del rojo (banda 3) en los sensores QuickBird y WorldView-2

El NDVI tiene el inconveniente de ser sensible a la reflectancia del suelo donde crece la vegetación (Gilbert, González y García, 1997), una condición que limita su potencial de diferenciación, particularmente en zonas áridas y semiáridas en donde la densidad de la vegetación es menor a 50% (MuñozAguayo, 2013). Con base en los resultados preliminares y no consistentes con este índice, se optó por el índice SAVI para la comparación de los cambios en la cobertura vegetal en el periodo 2004 y 2013.

Índice de vegetación ajustado al Suelo (SAVI)

Descrito por Huete (1988), el índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI) tiene la particularidad de reducir el efecto de la reflectancia del suelo, permitiendo separar las reflectancias específicas en casos donde los píxeles contienen una mezcla de vegetación y suelo. El SAVI está basado en el uso de una variable denominada línea del suelo, que se genera ajustando una regresión lineal entre las bandas roja e infrarroja a partir de muestra de píxeles representativa de la cobertura del suelo desnudo. Todos aquellos píxeles desconocidos que tienen la misma relación en los valores de reflectancia de las bandas roja e infrarroja son categorizados como suelo desnudo (Gilbert *et al.*, 1997). Así, en la medida en que los valores se alejan de la línea de suelo, se categorizan como vegetación. Además, el índice añade una constante L, que puede tomar valores entre 0 y 1, dependiendo de la densidad de la vegetación. L = 1 para densidades bajas, L = 0.5 para valores de densidad intermedios y L = 0.25 para densidades altas (Gilbert *et al.*, 1997). Para mantener el mismo intervalo de variación que el NDVI, el resultado debe multiplicarse por 1 + L. (Huete, 1988). Este se calculó con la ecuación 2.

$$SAVI = \left[\frac{NIR-R}{NIR+R+L} \right] * (1 + L) \quad (2)$$

Donde:

NIR = reflectancia de la región del infrarrojo cercano (banda 4)

R = reflectancia de la región del rojo (banda 3) en los sensores QuickBird y WorldView-2

Para el cálculo de SAVI se consideró el valor de L = 0.5 ya que es el valor predeterminado por el software ERDAS Imagine 2014.

Superficie y tasa de cambio de las comunidades vegetales en el periodo 2004-2013

Una vez calculados los índices se procedió a realizar una reclasificación de los píxeles para eliminar los valores menores a cero (Boone, Lockett, Galvin, Ojima y Tucker III, 2007). Cualquier valor negativo entre -1 y 0 fue clasificado como cero, lo que significa ausencia de cobertura vegetal (Rouse *et al.*, 1974; Ruiz-Durán, Orozco-Hernández, Granados-Ramírez y Álvarez-Arteaga, 2017). De tal manera que, se utilizó el algoritmo *Reclassify values* de QGIS 2.18.14 (QGIS, 2016) (Menke, Smith, Pirelli y Van Hoesen, 2016) para mostrar solo aquellos valores relacionados con la cobertura vegetal. Los valores superiores a 0.07 para NDVI y de 0.1 para SAVI corresponden al umbral mínimo para vegetación.

El análisis espacial y el cálculo del porcentaje de superficie ocupada por cada tipo de cobertura vegetal se realizaron para identificar y cuantificar el número de píxeles pertenecientes a cada una de ellas y poder estimar la tasa de cambio entre 2004 y 2013. Los valores medios para los píxeles calculados a partir de los índices de vegetación contienen información de varios tipos de cobertura en un mismo píxel. En este caso solo se indicó la presencia o ausencia de cobertura vegetal, pero sin diferenciarla. Para hacer una diferenciación entre distintos tipos de comunidades se analizaron las estadísticas de zona que permiten calcular los valores de los píxeles de una imagen (ráster) utilizando como delimitador espacial una capa

vectorial (máscara vectorial). Las capas vectoriales fueron los polígonos de las coberturas por comunidad propuestos por Oberbauer (2005) (Fig. 2). Se realizó la delimitación y extracción de información mediante cortes en cada imagen utilizando la herramienta *Clip raster by mask layer* de QGIS 2.18.14 (QGIS, 2016), dando como resultado un nuevo ráster reclasificado para cada tipo de cobertura. Posteriormente se cuantificó el porcentaje de superficie ocupada por tipo de cobertura vegetal mediante el uso del complemento *Raster Pixel Count by Class Break* de QGIS 2.18.14 (QGIS, 2016; Muñoz-Reja, 2018) para ambos años. Esto permitió extraer el número de píxeles de un ráster utilizando polígonos y determinar sus estadísticas en función de un intervalo asignado, en este caso 0 y 1. El cálculo se hizo a partir de la obtención del número total de píxeles diferenciados por valores clasificados (en este caso de cobertura) y multiplicados por el tamaño de los píxeles de cada imagen, con la siguiente ecuación:

$$\text{Área} = (\text{Pixel X} * \text{Tamaño Pixel Y} * \text{Count}) \quad (3)$$

Donde:

Pixel X = Tamaño de Pixel X

Pixel Y = Tamaño Pixel Y

Count = número total de píxeles diferenciados

La tasa de cambio se calculó para el periodo entre 2004 y 2013 utilizando la ecuación propuesta por Trejo y Dirzo (2000):

$$r = 1 - \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_1}\right)^{1/t} \quad (4)$$

Donde:

r = tasa anual de cambio

A₁ = superficie al inicio del periodo

A₂ = superficie al final del período

t = diferencia de años entre las dos fechas.

Análisis estadístico

Para evaluar diferencias significativas en la cobertura de cada comunidad vegetal entre 2004 y 2013 y con base en la información del índice SAVI, se utilizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon (1945) para muestras pareadas en el software STATISTICA 12 (StatSoft Inc., 2014). El parámetro utilizado fue la mediana de la diferencias, apropiado para grupos de datos que no cumplen con los supuestos básicos de las pruebas paramétricas o cuando la muestra es pequeña (Badii *et al.*, 2012). Se utilizó nivel de confianza de 90% y un valor de significancia $\alpha = 0.10$.

RESULTADOS

Insumos satelitales

Con base en las imágenes satelitales corregidas se obtuvo como producto un mapa de las principales comunidades vegetales (Fig. 2). Este producto cartográfico digital fue modificado de Oberbauer (2005), digitalizado y georreferido al sistema de coordenadas de referencia (UTM Zona 11). El resultado fue el mapa base de análisis que incluye siete polígonos (vectores) correspondientes a los tipos de cobertura vegetal, que se utilizaron como base para el análisis espacial mediante los índices de vegetación (Fig. 3) y del porcentaje de cambio de la superficie cubierta por vegetación en 2004 y 2013.

Evaluación de sitios de verificación

La evaluación de los polígonos de coberturas de vegetación del mapa base de análisis se verificaron en campo y todos los sitios de verificación coincidieron con las comunidades vegetales del mapa del año 2003 (Oberbauer, 2005) (Fig. 2), se evaluó la cobertura y composición florística, con la finalidad de conocer la distribución actual de la vegetación. Se identificaron un total de 74 taxa, 58 géneros, 35 taxa nativos, 18 endémicos y 21 exóticos (Apéndice 1), correspondientes a 28 familias, son Asteraceae (16), Boraginaceae (6), Fabaceae (6) las mejor representadas en las parcelas muestreadas.

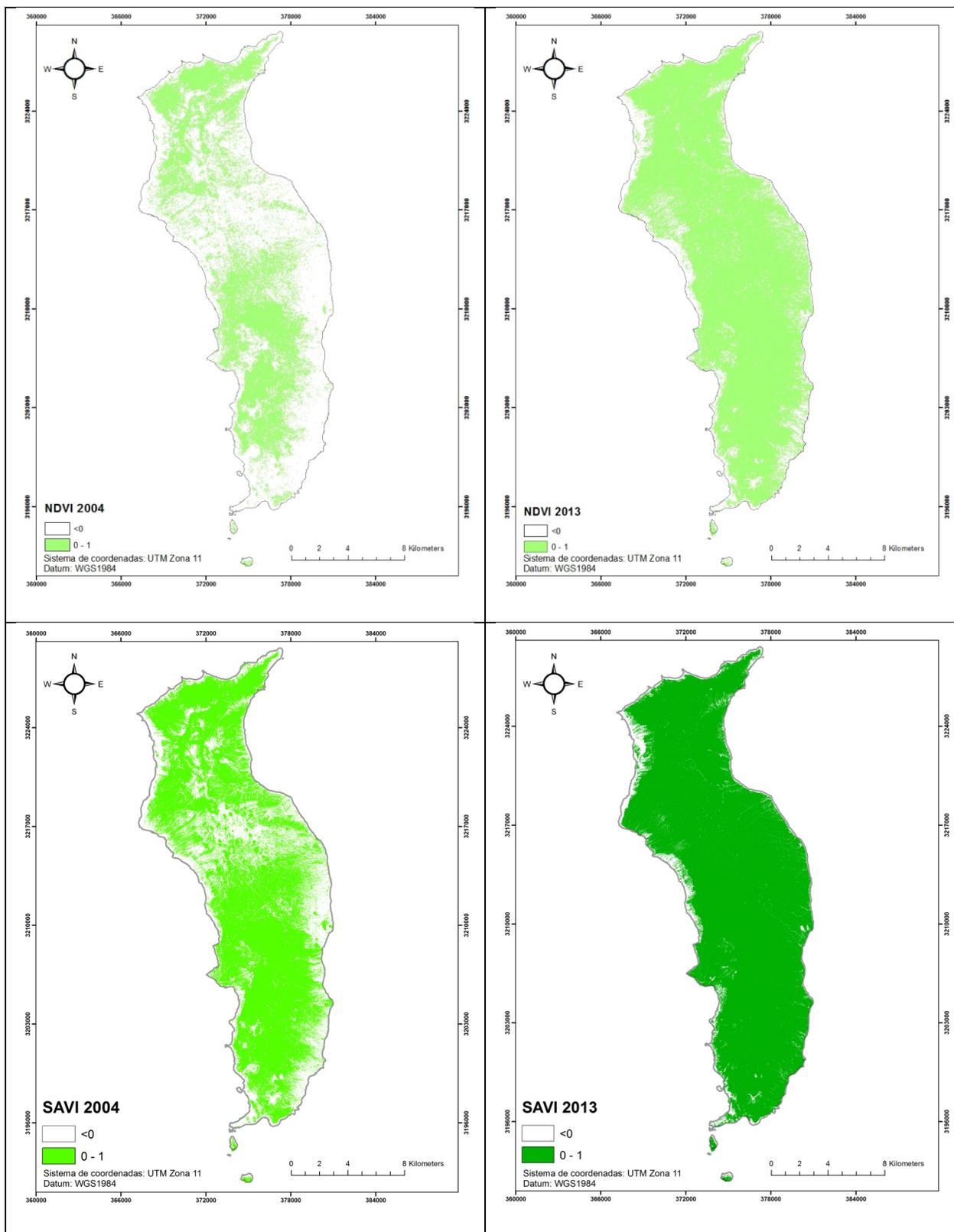


FIGURA 3. Superficie cubierta por vegetación de Isla Guadalupe, México, en 2004 y 2013, con datos del índice NDVI y del índice SAVI.

Fuente: elaboración propia.

Los pinares son rodales casi homogéneos de *Pinus radiata* var. *binata*, dentro de ellos se encontraron especies como *Polypodium scolulteri*, *Triodanis biflora* y *Dipterostemon capitatus*. En la periferia es común observar a *Ceanothus arboreus*, *Lupinus niveus*, *Pseudognaphalium* sp., y *Deinandra frutescens*, esta última domina el extremo norteño de la cordillera.

En el bosque de ciprés dominan *Hesperocyparis guadalupensis* y *Ceanothus* cf. *greggii* var. *perplexans* con porcentajes de cobertura entre 30% y 80%, al menos 10 especies se encuentran acompañando a esta comunidad. Cabe resaltar que se registró la presencia de un solo individuo adulto de *Arctostaphylos* sp., especie registrada por primera y única vez en la isla en 1885 por Greene, la cual se consideraba extinta a partir de la introducción de la cabra (Moran, 1996). Actualmente, en el herbario BC MEX de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Baja California. Plantel Ensenada, BC. se encuentra resguardada una muestra con más de tres duplicados para su descripción taxonómica.

Los palmares, se encuentran representados por la palma de Guadalupe (*Brahea edulis*), *Perityle incana* y *Sphaeralcea sulphurea* son las especies con distribución más amplia en las comunidades (mayor frecuencia y presencia) dando estructura al matorral y zona de palmar, al norte de la isla.

En los pastizales fueron registradas cinco especies de pastos, todos exóticos. *Avena barbata* y *Bromus rubens* fueron los más abundantes. Otra especie muy abundante en el extremo norte de la isla es *Calystegia macrostegia* subsp. *macrostegia*, especie de viña nativa que se distribuye principalmente entre 550 m s.n.m. y 1148 m s.n.m. con coberturas que oscilan entre 5% y 75%. Esta especie en zona de palmar se localiza sobre rocas y zonas con poco arbusto y en la periferia del bosque de ciprés, particularmente en la zona quemada, cubre grandes extensiones. En los matorrales sureños predominan *Dipterostemon capitatus*, *Lycium californicum*, *Atriplex barclayana*, *Ambrosia camphorata* y *Deinandra greeneana* subsp. *greeneana*.

Índices de vegetación y análisis de la cobertura de las comunidades vegetales

Con base en los insumos satelitales corregidos se aplicaron los algoritmos para la obtención de los índices de vegetación y la posterior reclasificación para obtener valores significativos de la presencia y cobertura de la vegetación (Fig. 3). De acuerdo con las imágenes resultantes de los índices de vegetación, se encontró que los valores fueron más bajos en 2004 con respecto a 2013, lo que en general indica una menor cobertura de vegetación. En 2004 el índice NDVI logró diferenciar adecuadamente la vigorosidad fotosintética en casi todas las coberturas (Tabla 1); no obstante, es más notable en los bosques, pues son parches con coberturas más densas y vigorosidad fotosintética por encima de 0.6. El índice SAVI mostró buena sensibilidad y mayor detalle en cuanto a las condiciones del sitio y las coberturas vegetales, todas las coberturas mostraron un incremento de acuerdo con los valores obtenidos para 2004 (Fig. 3) (Tabla 2).

La superficie de cobertura vegetal en los polígonos evaluados para toda la isla (Tabla 3) fue de 12 385.58 ha para 2004 y 12 402.78 ha en 2013, con una diferencia de 17.2 ha. Esta superficie corresponde a 50.6% de la superficie total de la isla (Fig. 4) (Tabla 4). Este resultado indica que las comunidades han mantenido su área de cobertura y distribución; sin embargo, los valores de los índices muestran que estas coberturas se han densificado.

En lo que respecta a la cuantificación de la cobertura de cada comunidad vegetal (Tabla 3) y la tasa del cambio entre 2004 y 2013 (Tabla 4), se observó un cambio significativo con una tasa positiva y ganancia de superficie en todas las comunidades (Fig. 4). A continuación, se presenta el resultado para cada una de las coberturas consideradas y analizadas.

Bosque de pino. Los valores promedio de NDVI presentaron un incremento de 0.75 en 2004 a 0.97 en 2013; en cuanto a SAVI, se registraron valores de 0.86 y 0.99 con 47% de superficie cubierta en 2013.



TABLA 1. Valores estadísticos resultado del índice NDVI sin reclasificar y reclasificado para cada tipo de comunidad vegetal de Isla Guadalupe, México, en 2004 y 2013.

Comunidad vegetal	NDVI sin reclasificar				NDVI reclasificado			
	2004		2013		2004		2013	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
Bosque de pino	0.12	0.07	0.22	0.1	0.75	0.44	0.97	0.16
Palmar	0.24	0.08	0.24	0.13	0.94	0.24	0.99	0.1
Bosque de ciprés	0.16	0.12	0.29	0.16	0.6	0.49	0.97	0.16
Pastizal	0.1	0.05	0.14	0.04	0.44	0.5	0.89	0.31
Matorral Mesa de Guadalupe e islotes	0.06	0.05	0.12	0.06	0.14	0.35	0.68	0.47
Matorral desértico marítimo	0.08	0.04	0.13	0.05	0.28	0.45	0.80	0.40
Suelo desnudo	0.1	0.08	0.15	0.09	0.36	0.48	0.28	0.80

TABLA 2. Valores estadísticos resultado del índice SAVI sin reclasificar y reclasificado para cada tipo de comunidad vegetal de Isla Guadalupe, México, en 2004 y 2013.

Comunidad vegetal	SAVI sin reclasificar				SAVI reclasificado			
	2004		2013		2004		2013	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
Bosque de pino	0.19	0.11	0.33	0.15	0.86	0.34	0.99	0.11
Palmar	0.35	0.12	0.36	0.19	0.97	0.16	1.00	0.02
Bosque de ciprés	0.23	0.18	0.44	0.24	0.82	0.38	1.00	0.04
Pastizal	0.15	0.08	0.21	0.07	1.00	0.45	1.00	0.18
Matorral Mesa de Guadalupe e islotes	0.09	0.07	0.18	0.10	0.54	0.50	0.81	0.39
Matorral desértico marítimo	0.12	0.06	0.19	0.07	0.67	0.47	0.96	0.19
Suelo desnudo	0.15	0.12	0.22	0.13	0.33	0.47	0.09	0.29

TABLA 3. Porcentaje de superficie cubierta y las diferencias (cambio) por las distintas comunidades vegetales de Isla Guadalupe, México, en 2004 y 2013.

<i>Comunidad vegetal</i>	<i>2004</i>	<i>2013</i>	<i>Diferencia</i>
Bosque de Pino	0.41	0.47	0.059
Bosque de Ciprés	0.45	0.55	0.097
Palmar	0.32	0.33	0.009
Pastizal	22.26	30.13	7.87
Matorral desértico marítimo	7.89	11.35	3.46
Matorral de Mesa de Guadalupe e Islotes	2.04	3.08	1.04
Suelo Desnudo	17.29	4.83	-12.46

TABLA 4. Comparación de la superficie de las principales coberturas vegetales de referencia de Isla Guadalupe, México, estimadas por Oberbauer (2005) con las estimadas en este estudio a partir de las imágenes QuickBird en 2004 y WorldView 2 en 2013.

<i>Tipo de cobertura</i>	<i>2000</i>		<i>2004</i>		<i>2013</i>		<i>Tasa de cambio anual (2004-2013)</i>
	<i>(ha)</i>	<i>%</i>	<i>(ha)</i>	<i>%</i>	<i>(ha)</i>	<i>%</i>	
Bosque de pino	5	< 0.1	99.5	0.41	113.91	0.47	10.93
Bosque de ciprés	140	0.5	110.32	0.45	134.12	0.55	12.12
Palmar	80	0.3	77.88	0.32	79.98	0.33	8.54
Pastizal	12 850	50.2	5 443.12	22.26	7 366.44	30.13	604.64
Matorral desértico marítimo	1 200	4.7	1 928.21	7.89	2 774.95	11.35	214.09
Matorral de la mesa de Guadalupe e islotes	800	3.1	498.51	2.04	751.78	3.08	55.22
Suelo desnudo	10 500	41	4 228.04	17.29	1 181.6	4.83	-469.75

*En las tablas 3 y 4 se consideraron solamente los valores reclasificados, aquellos con valores de cobertura.

Bosque de ciprés. Los valores de NDVI mostraron incremento de 0.6 a 0.9, con SAVI se registraron valores de 0.82 a 1 para dicha cobertura y un cambio en superficie cubierta de 45% a 55%.

Palmar. Este tipo de cobertura presentó valores promedio del índice NDVI de 0.9 a 1, resultado ser similares para ambos índices y en ambos años. El cambio en superficie cubierta fue mínimo, de 32% a 33%.

Pastizal. En este tipo de vegetación se registró un aumento para los valores de NDVI de 0.4 a 0.8. El SAVI estimó

valores de 1 para ambos años, con un cambio mínimo de superficie de cobertura de 7.3 ha entre 2004 y 2013.

Matorrales. Son el tipo de vegetación más dominante; sin embargo, con NDVI los resultados obtenidos no fueron muy claros. Los valores promedio del índice se manifestaron bajos con 0.1 para el matorral de la mesa de Guadalupe y de 0.2 para matorral desértico marítimo en 2004. Resultados poco favorables para la identificación la vegetación con densidad baja a intermedia, lo que posiblemente se atribuya a la muy escasa vegetación en



2004, consecuencia del intenso efecto del sobrepastoreo. Así mismo estos tipos de cobertura presentan un incremento en los valores del NDVI de 0.68 y 0.8 en 2013. En cuanto a los valores promedio del índice SAVI estuvieron entre 0.5 y 0.9, lo que denota una mejor aproximación del índice para el tipo de vegetación de la zona sur de la isla. De acuerdo con el análisis, el matorral desértico marítimo presentó un cambio en porcentaje de superficie cubierta de 7.8% a 11.3% y el matorral de la mesa de Guadalupe experimento cambio de 2% a 3% de la superficie de la isla entre 2004 y 2013.

Suelo desnudo. Se observó con NDVI un decremento en la cobertura de suelo desnudo de 0.3 a 0.2. Del mismo modo con SAVI, se observó un decremento considerable en la cobertura de suelo desnudo; es decir, hay un aumento en la cobertura vegetal para 2013, observándose un aumento general en la cobertura para todas las comunidades vegetales. De acuerdo con el análisis, 35% de la superficie de la isla era suelo desnudo en 2004 y para 2013 los resultados indican una disminución de 12.46% (Tabla 3).

Análisis estadístico

Con base en los resultados antes referidos, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la cobertura vegetal estimada ($n = 7$; $Z = 1.69$; $P = 0.091$), aunque los valores se encuentran en el límite de la región de aceptación crítica a un nivel de significancia de $\alpha = 0.10$ para un nivel de confianza de 90%. Lo que indica que sí existe cambio en la cobertura de la vegetación entre 2004 y 2013.

DISCUSIÓN

Índices de vegetación

Con base en el estudio del cálculo de los índices de vegetación, fue posible identificar la presencia de vegetación verde y vigorosa, y caracterizar su distribución espacial, así como la evolución de su estado en el tiempo. Durante 2004, el comportamiento espectral del NDVI presentó valores bajos y la diferencia entre bandas fue menor a la que se encontró con SAVI, para el que los

valores de diferencia entre bandas presentaron mejor contraste y permitieron la identificación de los tipos de vegetación de la isla.

Los valores de NDVI bajos indican una menor abundancia de vegetación en casi todas las coberturas, inclusive aquellas densas como los bosques, en las cuales el NDVI generalmente identifica correctamente (Ramírez-Serrato, 2014), en el caso de este estudio indican zonas con rocas, suelo desnudo o pobres en vegetación. Sin embargo, dichos valores al ser reclasificados, proceso que consiste en eliminar los valores negativos para mostrar solo aquellos valores relacionados con la cobertura vegetal (> 0.1), el índice brinda valores más cercanos a lo observado en campo, ya que en estos sitios se registraron coberturas promedio mayores a 56%.

En el caso de las coberturas de los matorrales, los valores bajos de NDVI persisten en 2004. De acuerdo con el índice se interpretaría como áreas pobres en arbustos, lo que puede ser atribuido al estado crítico de la vegetación antes de la erradicación de la cabra, y que según Oberbauer (2005) en ese tiempo las rocas descubiertas, el suelo expuesto, además de suelos considerablemente erosionados por el pastoreo era la condición de la cubierta del suelo general en la isla. Por otro lado, en la zona sur y sureste de la isla la vegetación no es fácilmente fotointerpretada a partir de las imágenes de satélite, a pesar de la alta resolución. Las comunidades vegetales se encuentran representadas por elementos florísticos de porte bajo y con una importante presencia de líquenes creciendo sobre rocas, suelo y plantas (Ceceña-Sánchez *et al.*, 2018). Además, las comunidades vegetales constan de una mezcla de especies perennes y caducifolias, estas últimas reducen sus hojas o las pierden en condiciones de aridez o estrés como las siguientes: *Sphaeralcea palmeri*, *Lycium californicum*, *Deinandra palmeri* y *Deinandra greeneana* subsp. *greeneana*. Aunando a la coloración grisácea de las hojas, tallo y características propias de algunas especies de las comunidades del matorral como *Perityle incana*, *Senecio palmeri*, *Ambrosia camphorata* y *Atriplex barclayana*, solo por mencionar las de mayor distribución (Ceceña-Sánchez, 2014).

Otro factor importante que indica la baja respuesta del índice es el albedo del suelo, el cual afectó el potencial de diferenciación del NDVI. Cabe destacar que en una isla semiárida como Isla Guadalupe, la fracción del suelo desempeña un papel muy importante en la caracterización de vegetación con cobertura escasa (Numata *et al.*, 2007). Esto provoca que la reflectancia de los píxeles en las bandas roja e infrarroja representen principalmente la reflectancia del suelo, con una pequeña variación debida a la presencia de vegetación. De modo que el índice SAVI es el más adecuado. De acuerdo con estudios similares (Alencar da Silva, Parodi-D'ávila, Silva-Nóbrega y Opazo Albarran, 2019), SAVI entrega mayor detalle en la cobertura vegetal de baja y mediana densidad, como los matorrales. Al considerar un ajuste por el brillo del suelo y posteriormente al ser reclasificados los valores, la respuesta espectral de los matorrales es de mayor calidad y de clara diferenciación. El índice SAVI resultó ser una herramienta que proporciona datos concretos para evaluar los cambios en la respuesta fotosintéticamente activa de la cobertura, particularmente la subarborescente en una zona árida o semiárida, eliminando la influencia del brillo del suelo. Probablemente se hubieran alcanzado resultados más robustos si se contara con una serie de imágenes multispectrales de diferentes años y temporadas, además de correlacionar esta información con datos anuales de precipitación y temperaturas del área de estudio.

Cambios de cobertura y superficie y tasa de cambio 2004-2013

La cuantificación de las coberturas muestra una dinámica de cambio favorecedor. El incremento de la superficie de la cobertura de las comunidades vegetales calculada fue considerable. Los cambios positivos en las coberturas vegetales se observan con un consecuente y progresivo incremento natural de miles de plántulas de ciprés, pino, palma y arbustos (Junak, 2005; Ceceña-Sánchez, 2014; Luna-Mendoza *et al.*, 2019). Durante un periodo de casi 10 años, se ha documentado y medido la recuperación de especies y comunidades (Garcillán *et al.*, 2009; Ceceña-

Sánchez *et al.*, 2018; Luna-Mendoza *et al.*, 2019) al poco tiempo de iniciado el proceso de erradicación de la cabra asilvestrada (Junak, 2005). Casos similares se han documentado en otras islas de México (Ortiz-Alcaraz, 2016) y en el extranjero, en donde se ha observado que dentro de los primeros años después de la erradicación es que comienzan a surgir las especies nativas más comunes (Cole y Litton, 2014). Si bien la perturbación ocasionada por la cabra en la Isla Guadalupe puede no ser reversible en su totalidad o la regeneración puede ser variable entre comunidades, los remanentes de vegetación en la isla guardan elementos dominantes de las comunidades originales (Ceceña-Sánchez, 2014). Estos han facilitado la dispersión de semillas y propagación de las especies vegetales, lo que se puede atribuir a la cercanía de la vegetación secundaria a la madura, favoreciendo así el establecimiento de las plantas en las etapas tempranas de la sucesión y a las especies que se comparten entre las comunidades (López-Jiménez, Durán-García y Dupuy-Rada, 2019).

Bosque de pino. Previamente a la erradicación, esta cobertura contaba con un área muy reducida, delimitada por cercos excluidores para evitar la herbivoría por parte de la cabra. Para esta cobertura se calculó un aumento de 99 ha en 2004 al iniciarse la erradicación y hasta 113.9 ha para 2013.

Bosque de ciprés. Como dato de comparación para el estado de la cubierta del suelo antes de la erradicación, en el estudio de Oberbauer (2005) el bosque de ciprés fue analizado con base en dos polígonos (centro y sur) (Fig. 2), para los cuales se observó disminución en esta cobertura de 2000 a 2004. Por otro lado, Rodríguez-Malagón (2006) estimó, mediante percepción remota, el número de árboles adultos remanentes para 2004, calculando una superficie total de bosque de 160 ha en los tres parches, norte, centro y sur. Según Ramírez-Serrato (2014), si se considera únicamente la suma de las superficies del dosel arbóreo, la superficie total estimada del bosque es de solo 70.31 ha, para la imagen del 2004. Igualmente Ramírez-Serrato (2014) refiere que el bosque de ciprés durante los años 2004 y 2008 alcanzó su mayor extensión; sin embargo, se redujo para



2009 debido a un incendio ocurrido en 2008 que consumió 60% del bosque, siendo el parche norte el más afectado al quemarse 100% de su superficie. No obstante, a partir de este evento y de las acciones de manejo y conservación, esta superficie del bosque se encuentra en proceso de recuperación de sus comunidades, dando paso al reclutamiento de plántulas de ciprés, de especies de subarbustos y arbustos como el *Ceanothus arboreus* y *C. cf. greggi* subsp. *perplexans* (Junak, 2005; Garcillán *et al.*, 2009). Asimismo el redescubrimiento de *Arctostaphylos* sp. —que no se había observado desde 1885 y que según Moran (1996) estaba considerada indudablemente extinta tras el incendio y la remoción de la cabra—, fue registrada y colectada en 2016 dentro del bosque de ciprés. Lo anterior refuerza la importancia de dar seguimiento al proceso de sucesión en la vegetación de la isla. La recuperación del ciprés de Guadalupe, se encuentra relacionada, entre otros factores, con el potencial de germinación de sus semillas (Garcillán *et al.*, 2009), su adaptación al fuego, su tolerancia a condiciones xéricas y climáticas (Villanueva-Díaz *et al.*, 2015), a la posibilidad de prosperar en suelos poco profundos y a la de habitar en zonas ventosas. Con base en estos criterios y condiciones es indudable que el ciprés recolonizará prontamente las zonas quemadas (Gobbi y Sancholuz, 1992). No solo las especies arbóreas han respondido favorablemente a dichas condiciones. *Arctostaphylos* y *Ceanothus* son géneros cuyos bancos de semillas fueron activados por el fuego. Conjuntamente algunas especies de arbustos que se han beneficiado de la erradicación de la cabra son *Senecio palmeri*, *Phacelia phyllomanica*, *Hazardia cana* y *Deinandra frutescens*, que se encuentran colonizando los bosques de ciprés y pino. Además el pino, el encino y la palma son favorecidos por la precipitación proveniente de la niebla (Luna-Mendoza, 2014), que es uno de los factores más relevantes para la presencia de la vegetación y es el recurso limitante para la colonización y permanencia de las especies (Valencia, Trujillo y Vargas, 2012) en la isla.

Palmar. Con respecto al polígono de palmar analizado y teniendo como referencia lo estimado entre 2000 (Oberbauer, 2005) y 2004, se observa que la cobertura

disminuyó mínimamente (Fig. 2). En el presente análisis este tipo de cobertura se muestra también con poco cambio en la superficie para 2013, por lo que es posible que la variación en la respuesta espectral se deba a las especies que crecen debajo de las palmas, *Senecio palmeri*, *Perityle incana* y *Calystegia macrostegia* subsp. *macrostegia*, las cuales en 2004 eran escasas. Sin embargo, la presencia de los individuos adultos aparentemente se mantuvo. Otro punto para considerar es que la distribución del palmar en la isla es más extensa a lo delimitado previamente por, Oberbauer (2005). En su mapa (Fig. 2), dicho autor proyecta solamente un pequeño polígono en la población del noroeste, la cual está integrada por miles de individuos y es considerada la más importante, por lo que un análisis con la delimitación más amplia habría dado resultados más concretos del estado de las coberturas

Pastizal. Las áreas cubiertas por pastizal coinciden con las de Oberbauer (2005) (Fig. 2), los valores coinciden con la respuesta espectral de zonas con presencia de pastos y pobres en vegetación arbustiva, en las cuales se indica un aumento en cobertura y abundancia. Los valores de SAVI altos, cercanos 1, en las coberturas de pastizal, infieren una mayor densidad de las hierbas y los pastos debido a que las imágenes corresponden a la temporada de primavera, cuando son frecuentes para esta cobertura.

Matorral. El matorral desértico marítimo indica un aumento constante y sostenido, sin embargo, es el tipo de vegetación más estable en la isla (Ceceña-Sánchez *et al.*, 2018). Aparentemente las cabras ejercieron menor presión en esta comunidad debido a las condiciones de aridez y bajo nivel de condensación y humedad. Por otro lado, el matorral de la mesa de Guadalupe e islotes muestran aumento para 2013, aproximándose al área estimada por Oberbauer (2005) para el periodo de 2000-2003.

CONCLUSIONES

Por primera vez se presenta un análisis de la recuperación de la cobertura vegetal después de la erradicación de la cabra asilvestrada (*Capra hircus*), en Isla Guadalupe, a partir del uso de índices espectrales, aplicado a las principales coberturas del suelo y tipos de vegetación en isla. Estudios

previos hacen referencia al bosque de ciprés, dando resultados consistentes de percepción para esa comunidad. Ahora bien, el presente estudio incluyó el cálculo de los índices NDVI y SAVI, pero se concluye que el índice SAVI es el que mostró mayor robustez para discernir entre tipos de vegetación y su condición. Con estos datos fue posible cuantificar el cambio en el porcentaje de cobertura de la vegetación, y se pudieron diferenciar apropiadamente los tipos de vegetación en la isla. Además, se reflejó un comportamiento espectral con resultados ajustados y concretos, lo que da sustento a estudios previos en donde el SAVI se comporta mejor en zonas áridas y semiáridas. Por el contrario, NDVI solamente respondió concretamente a tres coberturas vegetales de las siete analizadas.

En apoyo de la hipótesis, la prueba estadística de Wilcoxon determinó diferencias estadísticamente significativas en la cobertura y abundancia de la vegetación, lo que significa que existe relación entre el aumento de la biomasa y el tiempo directamente relacionados con la erradicación de la cabra asilvestrada. Conjuntamente, a partir de los puntos de verificación en campo, fue posible comprobar el aumento de la abundancia y cobertura de la vegetación, así como la heterogeneidad existente, la combinación de coberturas de pastos y herbáceas con otras comunidades, lo que explica la confusión, o en algunos casos el bajo poder de diferenciación entre clases de cobertura al usar los valores de los índices.

La mayor respuesta a la recuperación de la cobertura de vegetación se presentó en las comunidades del norte de la isla, con valores altos en coberturas densas y fotosintéticamente vigorosas (por encima de 50%), como los bosques. Así mismo en el análisis espacial se observó que el pastizal y el suelo desnudo son las coberturas que presentaron las mayores tasas anuales de cambio entre 2004 y 2013. Sin embargo, la isla presenta aún los impactos del sobrepastoreo de las cabras, aunque la tendencia está dirigida hacia el exitoso establecimiento de especies endémicas y nativas como *Arctostaphylos* sp., *Atriplex barclayana*, *Ambrosia camphorata*, *Callitropsis guadalupensis*, *Ceanothus* cf. *greggi perplexans*, *C. arboreous*, *D. frutescens*,

Hazardia cana, *Phacelia phyllomanica*, *Perityle incana*, *Sphaeralcea sulphurea*, *S. palmeri*.

Se valida y se recomienda el uso de los índices de vegetación del grupo de SAVI para estudios posteriores en la isla, ya que estos índices contrastan el brillo de la vegetación con el del suelo, pudiendo brindar valores más objetivos de la condición de la cobertura de vegetación, además son los más apropiados para zonas áridas y semiáridas. El presente trabajo constituye un referente para estudios posteriores que tengan como fin dar seguimiento al estado de recuperación de la vegetación en la isla y cuantificar las coberturas que han presentado mayor porcentaje de recuperación, el cual puede ser actualizado periódicamente, mismo que se espera sea de utilidad para futuros planes de manejo o estrategias de conservación y restauración de biodiversidad de la isla.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR), a la Secretaría de Marina-Armada de México, a la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp), al Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C., al Dr. Julio César Hernández Montoya y al Dr. Alfonso Aguirre Muñoz por todas las facilidades otorgadas para el posible desarrollo de esta investigación en Isla Guadalupe.

REFERENCIAS

- Aguirre-Muñoz, A., Bezaury, J., Carranza, J., Enkerlin, E., García, C., Keitt, B., Luna-Mendoza, L., Sanchez, J., & Tershy, B. (2003). *Propuesta para el establecimiento del Área Natural Protegida "Reserva de la Biosfera de la Isla Guadalupe" Estudio Técnico Justificativo*. Ensenada, Baja California, México: Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C. Recuperado de https://iefectividad.conanp.gob.mx/iefectividad/PBCPN/RB%20Isla%20Guadalupe/Componente%20de%20Contexto%20y%20Planeaci%C3%B3n/RBIG_ICCP_1_a/EPJ%20RBIG.pdf
- Alencar da Silva, K., Parodi-D'ávila, M., Silva-Nóbrega, R., & Opazo Albarran, D. (2019). Variabilidad espacial y temporal de la cobertura vegetal de los años 1984 a 2011 en la cuenca hidrográfica del Río Moxotó, Pernambuco, Brasil. *Diálogo Andino*, 58, 139-150. doi: 10.4067/S0719-26812019000100139



- Axelrod, D. (1978). The origin of coastal sage vegetation, Alta and Baja California. *American Journal of Botany*, 65(10), 1117–1131. doi:10.2307/2442330
- Badii, M. H., Guillen, A., Araiza, L. A., Cerna, E., Valenzuela, J., & Landeros, J. (2012). Métodos no-paramétricos de uso común (Non Parametric Methods of Common Usage). *Daena: International Journal of Good Conscience*, 7(1), 132-155.
- Boone, B., Lockett, J. M., Galvin, K. A., Ojima, D. S., & Tucker, C. (2007). Links and broken chains: evidence of human-caused changes in land cover in remotely sensed images. *Environmental Science & Policy*, 10(2), 135-149. doi: 10.1016/j.envsci.2006.09.006
- Braun-Blanquet, J. (1932). Plant Sociology: the study of Plant Communities. 5ta ed. Fuller, G. & Conard H, editor. Vol. 132. New York y London: McGraw-Hill; 1932. 1-472 p.
- Camacho-Sanabria, J. M., Juan Pérez, J. I., Pineda Jaimes, N., B., Cadena Vargas, E., G., Bravo Peña, L. C., & Sánchez López, 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. doi: 10.21829/myb.2015.211435
- Campbell, K., & Donlan, J. (2005). Feral goat eradications on islands. *Conservation Biology*, 19(5), 1362–1374. doi: 10.1111/j.1523-1739.2005.00228.x
- Castro, R., Mascarenhas, A. Sánchez-Barba, A. Durazo, R., & Gil-Silva, E. (2005). Condiciones meteorológicas en el sur de Isla Guadalupe. En K. Santos del Prado, & E. Peters (Eds.), *Isla Guadalupe: restauración y conservación* (pp. 219-229). D.F., México: Instituto Nacional de Ecología —Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Ceceña-Sánchez, M. (2014). *Estudio fitosociológico de los matorrales de Isla Guadalupe, México*. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California.
- Ceceña-Sánchez, M. L., Aguirre-Muñoz, A., & Delgadillo-Rodríguez, J. (2018). Asociaciones vegetales de los matorrales de Isla Guadalupe, México. *Polibotánica*, 46, 28-49. doi: 10.18387/polibotanica.46.3
- Coblentz, B. (1978). The effects of feral goats (*Capra hircus*) on island ecosystems. *Biological Conservation*, 13(4), 279–286. doi: 10.1016/0006-3207(78)90038-1
- Cole, R. J., & Litton, C. M. (2014). Vegetation response to removal of non-native feral pigs from Hawaiian tropical montane wet forest. *Biological Invasions*, 16(1), 125-140. doi: 10.1007/s10530-013-0508-x
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [Conanp]. (2013). *Programa de Manejo: Reserva de la Biosfera Isla Guadalupe, México*. México: Conanp.
- Chuvieco, E. (2010). Measuring changes in landscape pattern from satellite images: short-term effects of fire on spatial diversity. *International Journal of Remote Sensing*, 20(12), 2331-2346. doi: 10.1080/014311699212056
- Delgado-Argote, L., García-Abdeslem, J., & Mendoza, R. (1993). Correlación geológica entre la batimetría y los rasgos estructurales del oriente de la Isla Guadalupe. En L. Delgado-Argote, & Martín. A. (Eds.), *Contribuciones a la Tectónica de México, Monografía No.1*. (pp. 1-11). México: Unión Geofísica Mexicana.
- ERDAS (2014). ERDAS Imagine 2014. Hexagon Geospatial, Peachtree Corners Circle Norcross.
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (5a ed.). México, DF: Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.
- García-Gutiérrez, C., Hinojosa-Corona, A., Franco-Viazcaíno, E., Riggan, P., Bocco, G., Luna-Mendoza, L., Aguirre-Muñoz, A., Maytorena-López, J., Keitt, B., Tershy, B., Rodríguez, M., & N. Biavaschi. (2005). Cartografía base para la conservación de Isla Guadalupe. Avances, perspectivas y necesidades. En K. Santos del Prado, & E. Peters (Eds.), *Isla Guadalupe: restauración y conservación*. (pp. 19-25). México, DF, México: Instituto Nacional de Ecología-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Garcillán, P., Vega, E., & López-Reyes, E. (2009). Recruitment response of Guadalupe cypress (*Callitropsis guadalupensis*) three years after goat eradication on Guadalupe island. In *Proceedings of the 7th California Islands Symposium*. (pp. 177-183). Arcata, California: Instituto for Wildlife Studies
- Garcillán, P., Vega, E., & Martorell, C. (2012). The *Brabea edulis* palm forest in Guadalupe Island: A North American fog oasis? *Revista chilena de historia natural*, 85(1), 137–145. doi: 10.4067/S0716-078X201200010001
- Gilbert, M., González, J., & García, J. (1997). Acerca de los índices de vegetación. *Revista de Teledetección*, 8, 1-10.
- Gillespie, T. W., Ostermann-Kelm, S., Dong, C., Willis, K. S., Okin, G. S., & Macdonald, G. M. (2018). Monitoring changes of NDVI in protected areas of southern California. *Ecological Indicators*, 88, 485-494. doi: 10.1016/j.ecolind.2018.01.031
- Gobbi, M., & Sancholuz, L. (1992). Regeneración post-incendio del ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*) en los primeros años. *Bosque*, 13(2), 25-32. doi: 10.4206/bosque.1992.v13n2-04
- Gonzaga-Aguilar, C. (2015). Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales para análisis de coberturas vegetales en la provincia de Loja, Ecuador. *CEDAMAZ*, 5(1), 30–41.

- Huete, A. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295-309. doi: 10.1016/0034-4257(88)90106-X
- Junak, S. (2005). Esfuerzos recientes de conservación y apuntes sobre el estado actual de la flora de Isla Guadalupe. En K. Santos del Prado, & E. Peters (Eds.), *Isla Guadalupe: restauración y conservación*. (pp. 83-90). México, DF. INE-SEMARNAT.
- Klinger, R., Schuyler, P., & Sterner, J. (2002). The response of herbaceous vegetation and endemic plant species to the removal of feral sheep from Santa Cruz Island, California. In Veitch, C., & Clout, M. (Eds.), *Turning the tide: the eradication of invasive species*. (pp. 141-154). Gland, Switzerland y Cambridge, UK: IUCN SSC Invasive Specialist Group.
- León de la Luz, J. L., Rebman, J. P., & Oberbauer, T. (2003). On the urgency of conservation on Guadalupe Island, Mexico: is it a lost paradise? *Biodiversity Conservation*, 12, 1073-1082. doi: 10.1023/A:1022854211166
- Lizzi, J., Garbulsky, M., Golluscio, R., & Deregibus, A. (2007). Mapeo indirecto de la vegetación de Sierra de la Ventana, Provincia de Buenos Aires. *Ecología Austral*, 17, 217-230.
- López-Jiménez, L. N., Durán-García, R., & Dupuy-Rada, J. M., (2019). Recuperación de la estructura, diversidad y composición de una selva mediana subperennifolia en Yucatán, México. *Madera y Bosques*, 25(1), e2511587. doi: 10.21829/myb.2019.2511587
- Luna-Mendoza, L. (2014). *Consumer-resource interactions: seed, mice and cats on Guadalupe Island, Mexico*. University of Auckland. Auckland, New Zealand.
- Luna-Mendoza, L., Aguirre-Muñoz, A., Hernández-Montoya, J., Torres-Aguilar, M., García-Carreón, J., Puebla, O., Luvianos, S., Cárdenas, A., & Mendez, F. (2019). Ten years after feral goat eradication: the active restoration of plant communities on Guadalupe Island, Mexico. En C. Veitch, A. Martín, J. Russell, & C. West, C. (Eds.), *Island invasives: scaling up to meet the challenge*. (pp. 571-575). Gland, Switzerland: IUCN.
- Meling-López, A. (1985). *Situación actual de la vegetación de Isla Guadalupe, B.C. México*. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California, México.
- Menke, K., Smith, R., Pirelli, L., & Van Hoesen, J. (2016). *Mastering QGIS* (2a ed.). Birmingham, UK: Packt, Publishing, Ltd.
- Moran, R. (1996). *The Flora of Guadalupe Island, Mexico*. (p. 190). San Francisco, California: Memoirs of the California Academy of Sciences.
- Muñoz Aguayo, P. (2013). Apuntes de Teledetección: Índices de vegetación. Chile: Centro de información de Recursos Naturales. Recuperado de [http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/26389/Tema Indices de vegetación%20 Pedro Muñoz A.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/26389/Tema%20Indices%20de%20vegetación%20Pedro%20Muñoz%20A.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Muñoz-Reja, L. (2018). *Elaboración de un modelo predictivo de distribución potencial del cultivo Chenopodium quinoa willd. Basado en necesidades edafoclimáticas con objeto de determinar las zonas de correcta adaptación en Extremadura*. Tesis de maestría, Universidad de Extremadura, España.
- Numata, I., Roberts, D. A., Chadwick, O. A., Schimel, J., Sampaio, F. R., Leonidas, F. C., & Soares, J. V. (2007). Characterization of pasture biophysical properties and the impact of grazing intensity using remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 109(3), 314-327. doi: 10.1016/j.rse.2007.01.013
- Oberbauer, T. (2005). A comparison of estimated historic and current vegetation community structure on Guadalupe Island, Mexico. En D. Garcelon, & C. Schwemm (Eds.), *Proceedings of the Sixth California Islands Symposium* (pp. 143-153). Ventura, California: Arcata: National Park Service Technical Publication CHIS-05-01.
- Oberbauer, T. (2006). La vegetación de Isla Guadalupe. Entonces y ahora. *Gaceta Ecológica*, 81, 47-58.
- Oberbauer, T., Luna-Mendoza, L., Olivares, N., Barbosa D., Granillo, I., & Morrison, S. (2009). Fire in Guadalupe Island reveals some old wounds, and new opportunity. *Fremontia*, 37, 3-11.
- Oliveros, A. (2015). *Análisis del comportamiento temporal de la cobertura vegetal en el área protegida de recursos manejados Península de Zapata*. Tesis de maestría, Universidad de La Habana, La Habana, Cuba.
- Ortiz-Alcaraz, A. (2016). *Isla Socorro, Archipiélago de Revillagigedo: recuperación de los ecosistemas en un Área Natural Protegida estratégica para México*. Tesis de doctorado, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
- Peña, M. A., & Ulloa, J. (2017). Mapeo de la recuperación de la vegetación quemada mediante la clasificación de índices espectrales pre- y post-incendio. *Revista de Teledetección*, 50, 37-48. doi: 10.4995/raet.2017.7931
- Pix4D. (2017). Pix4Dmapper. Recuperado de <https://pix4d.com>
- QGIS Development Team (2016). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Recuperado de <http://qgis.osgeo.org>
- Ramírez-Serrato, N. (2014). *Índices de vegetación: una herramienta para el monitoreo de esfuerzos de conservación. El caso del Bosque de Ciprés de la Isla Guadalupe*. Tesis de maestría, Centro de Investigación y Educación Superior de Ensenada, Ensenada, Baja California, México.
- Rodríguez-Malagón, M. (2006). *Diagnóstico del bosque de ciprés de Isla Guadalupe a través de imágenes de satélite de alta resolución*. Tesina de



licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California, México.

Rodríguez-Malagón, M. A., Hinojosa-Corona, A., Aguirre-Muñoz, A. & García-Gutiérrez, C. (2006). *The Guadalupe Island Cypress Forest: On the Recovery track*. In ESRI Proceedings. Ensenada, Baja California.

Rouse, J., Haas, R., Schell, J., Deering, D., & Harían, J. (1974). *Monitoring the vernal advancement andretrogadation (Greenwave effect) of natural vegetation*. Greenbelt, MD. USA: NASA/GSFCT.

Ruiz-Durán, E., Orozco-Hernández, M., Granados-Ramírez, R., & Alvarez-Arteaga, G. (2017). Cambio de uso de suelo e índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), subcuenca del Río Salado, Mexico. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*, 9, 39-50.

Sánchez-Rodríguez, E., Torres-Crespo, M., Fernández Palacios-Carmona, A., Aguilar-Alba, A., Pino-Serrato, I., & Granado-Ruiz, L. (2000). Comparación del NDVI con el PVI y el SAVI como indicadores para la asignación de modelos de combustible para la estimación del riesgo de incendios en Andalucía. En Departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá (Eds.), *Tecnologías Geográficas para el Desarrollo Sostenible*. (p. 11). Alcalá de Henares, Madrid, España: IX Congreso del Grupo de Métodos Cuantitativos, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. Recuperado de http://tig.age-geografia.es//docs/IX_2/Sanchez_Esperanza.PDF

StatSoft Inc. (2014). STATISTICA version 12. Recuperado de www.statsoft.com

Torres, E., Linares, G., Tenorio, M., Peña, R., & Castelán, R. (2014). Índices de vegetación y Uso de Suelo en la Región Terrestre Prioritaria 105: Cuetzalan, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 1(3), 101-112.

Trejo, I., & Dirzo, R. (2000). Deforestation of seasonally dry tropical forest: A national and local analysis in Mexico. *Biology Conservation*, 94, 133-142. doi: 10.1016/S0006-3207(99)00188-3

Valencia, J., Trujillo, L., & Vargas, O. (2012). Dinámica de la vegetación en un enclave semiárido del río Chicamocha, Colombia. *Biota Colombiana*, 13(2), 1-27.

Villanueva-Díaz, J., Cerano Paredes, J., Olivares-Bañuelos, N. C., Valles-Pérez, M., Stahle, D. W. & Cervantes Martínez, R. (2015). Respuesta climática del ciprés (*Hesperocyparis guadalupensis*) en Isla Guadalupe, Baja California, México. *Madera y Bosques*, 21(3), 149-160. doi: 10.21829/myb.2015.213464

Wilcoxon, F. (1945). Some Uses of Statistics in Plant Pathology. *Biometrics Bulletin*, 4, 41-45. doi:10.2307/3002011

Manuscrito recibido el 13 de agosto de 2019
 Aceptado el 23 de junio de 2020
 Publicado el 11 de agosto de 2021

Este documento se debe citar como:
 Ceceña-Sánchez, M. L., Eaton-González, R., Solís-Cámara, A B., Delgadillo-Rodríguez, J., Luna-Mendoza, L., & Ortega-Rubio, A. (2021). Evaluación de cambios en la cobertura vegetal en Isla Guadalupe mediante índices de vegetación. *Madera y Bosques*, 27(1), e2712018. doi: 10.21829/myb.2021.2712018



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercialCompartirIgual 4.0 Internacional.

APÉNDICE I. Listado de florístico de la Isla Guadalupe, México, en los 75 sitios evaluados. Forma de vida: A = Arbusto, Ar= Árbol, G = Geófito, HA = Herbácea anual, HP = Herbácea perenne, P = Parásita, Sf =Sufrutice. Fuente: Elaboración propia.

Familia	Nombre	Forma de vida	Estatus
Aizoaceae	<i>Mesembryantum nodiflorum</i> L.	Ha	Exótica
	<i>M. crystallinum</i> L.	Ha	Exótica
	<i>Atriplex barclayana</i> (Benth.) D. Dietr.	Suf	Nativa
Amaranthaceae	<i>A. semibaccata</i> R.Br.	Suf	Exótica
	<i>A. suberecta</i> Verd.	Suf	Exótica
Arecaceae	<i>Brahea edulis</i> H. Wendl. ex S. Watson	Ar	Endémica

Familia	Nombre	Forma de vida	Estatus
Asparagaceae	<i>Triteleia guadalupensis</i> L.W. Lenz	Ge	Endémica
	<i>Amblyopappus pusillus</i> Hook. & Arn.	Ha	Nativa
	<i>Ambrosia camphorata</i> (Greene) W.W. Payne	Suf	Nativa
	<i>Centaurea melitensis</i> L.	Ha	Exótica
	<i>Deinandra frutescens</i> (A. Gray) B.G. Baldwin	Suf	Endémica
	<i>D. greeneana</i> (Rose) subsp. <i>greeneana</i> B.G. Baldwin	Suf	Endémica
	<i>D. palmeri</i> (Rose) B.G. Baldwin	Suf	Endémica
	<i>Hazardia cana</i> (A. Gray) Greene	Arb	Nativa
	<i>Hypochaeris glabra</i> L.	Ha	Nativa
Asteraceae	<i>Lactuca serriola</i> L.	Ha	Exótica
	<i>Logfia filaginoides</i> (Hook. & Arn.) Morefield	Ha	Nativa
	<i>Pseudognaphalium</i> sp.	Hp	Nativa/*
	<i>P. bioletti</i> Anderb.	Ha	Nativa
	<i>P. stramineum</i> (Kunth) Anderb.	Ha	Exótica
	<i>Perityle emoryi</i> A. Gray	Ha	Nativa
	<i>P. incana</i> A. Gray	Suf	Endémica
	<i>Senecio palmeri</i> A. Gray	Suf	Endémica
	<i>Stephanomeria guadalupensis</i> Brandegees	Suf	Endémica
	<i>Cryptantha maritima</i> (E. Greene) E. Greene	Ha	Nativa
	<i>C. foliosa</i> (Greene) Greene	Ha	Nativa
	<i>Emmenanthe penduliflora</i> Benth.	Ha	Nativa
Boraginaceae	<i>Pectocarya linearis</i> (Ruiz & Pav.) DC.	Ha	Nativa
	<i>Phacelia phyllomanica</i> A. Gray	Suf	Endémica
	<i>Phacelia floribunda</i> Greene	Ha	Endémica
	<i>Pholistoma racemosum</i> (Nutt. ex A. Gray) Constance	Ha	Nativa
Brassicaceae	<i>Lepidium oblongum</i> Small	Ha	Exótica
Cactaceae	<i>Cylindropuntia prolifera</i> (Engelm.) F.M. Knuth	Suf	Nativa
	<i>Mammillaria blossfeldiana</i> var. <i>shurliana</i> Wiggins	Suf	Nativa
Campanulaceae	<i>Githopsis diffusa</i> var. <i>guadalupensis</i> (Morin) Lammers	Ha	Endémica
	<i>Triodanis biflora</i> (Ruiz & Pav.) Greene	Ha	Nativa
Caryophyllaceae	<i>Herniaria hirsuta</i> ssp. <i>cinerea</i> (DC.) Cout.	Ha	Exótica
	<i>Silene gallica</i> L.	Ha	Exótica
Convolvulaceae	<i>Calystegia macrostegia</i> (Greene) Brummitt subsp. <i>macrostegia</i>	Hp	Nativa
Cupressaceae	<i>Hesperocyparis guadalupensis</i> (S. Watson) D.P. Little	Ar	Endémica
Ericaceae	<i>Arctostaphylos</i> sp.	Arb	Nativa/*



Familia	Nombre	Forma de vida	Estatus
Fabaceae	<i>Acmispon argophyllum</i> var. <i>argenteus</i> (Dunkle) Brouillet	Suf	Nativa
	<i>A. grandiflora</i> (Dunkle) Brouillet	Suf	Nativa
	<i>Lupinus bicolor</i> Lindl.	Ha	Nativa
	<i>L. niveus</i> S. Wats	Hp	Endémica
	<i>Trifolium microcephalum</i> Pursh	Ha	Nativa
	<i>T. palmeri</i> S. Watson	Ha	Endémica
Fagaceae	<i>Quercus tomentella</i> Engelm.	Ar	Nativa
Geraniaceae	<i>Erodium cicutarium</i> (L.) L'Hér.	Ha	Exótica
Malvaceae	<i>Malva occidentalis</i> (S. Watson) M.F. Ray	Suf	Nativa
	<i>Sphaeralcea sulphurea</i> S. Watson	Suf	Endémica
	<i>S. palmeri</i> Rose	Suf	Endémica
Pinaceae	<i>Pinus radiata</i> var. <i>binata</i> Engelm.	Ar	Endémica
Plantaginaceae	<i>Antirrhinum nuttallianum</i> subsp. <i>subsessile</i> (A. Gray) Jeps.	Ha	Nativa
	<i>Gambelia speciosa</i> (Nutt.)	Arb	Nativa
	<i>Plantago ovata</i> Forsskal	Ha	Exótica
Poaceae	<i>Avena barbata</i> Pott ex Link	Ha	Exótica
	<i>Bromus diandrus</i> Roth	Ha	Exótica
	<i>B. rubens</i> L.	Ha	Exótica
	<i>Lamarckia aurea</i> (L.) Moench	Ha	Exótica
	<i>Vulpia myuros</i> (L.) C.C. Gmel.	Ha	Exótica
Polemoniaceae	<i>Gilia nevinii</i> A. Gray ex Lyon	Ha	Nativa
Poligonaceae	<i>Pterostegia drymarioides</i> Fisch. & C.A. Mey	Ha	Nativa
Portulacaceae	<i>Claytonia perfoliata</i> Douglas ex Hook.	Ha	Nativa
Resedaceae	<i>Oligomeris linifolia</i> (Val.) J.F. Macabr.	Ha	Exótica
Rhamnaceae	<i>Ceanothus arboreus</i> Greene	Arb	Nativa
	<i>C. cf. greggii</i> var. <i>perplexans</i>	Arb	Nativa
	<i>Rhamnus pirifolia</i> Greene	Arb	Nativa
Rubiaceae	<i>Galium aparine</i> L.	Ha	Exótica
Solanaceae	<i>Lycium californicum</i> A. Gray	Suf	Nativa
	<i>Nicotiana glauca</i> Graham	Arb	Exótica
	<i>Solanum clokeyi</i> Munz (~ <i>S. wallacei</i> v. c.)	Arb	Endémica
	<i>Solanum americanum</i> Mill.	Ha	Exótica
Themidaceae	<i>Dipterostemon capitatus</i> (Benth.) Rydb.	Ge	Nativa

*Posible endémica