



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

ANÁLISIS DE CAMBIOS DE LAS COMUNIDADES VEGETALES
DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA ISLA GUADALUPE, MÉXICO
DESPUÉS DE LA ERRADICACIÓN DE LA CABRA ASILVESTrada

Capra hircus.

T E S I S

Que para obtener el grado de

Doctora en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales
(Orientación en Ecología)

P r e s e n t a

Martha Lizeth Ceceña Sánchez

La Paz, Baja California Sur, noviembre de 2021.

ACTA DE LIBERACIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 14 horas del día 01 del Mes de octubre del 2021, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

"ANÁLISIS DE CAMBIOS DE LAS COMUNIDADES VEGETALES DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA ISLA GUADALUPE, MÉXICO DESPUÉS DE LA ERRADICACIÓN DE LA CABRA ASILVESTRADE *CAPRA HIRCUS*"

Presentada por el alumno:

Martha Lizeth Ceceña Sánchez

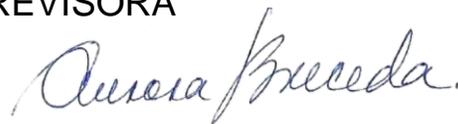
Aspirante al Grado de DOCTOR EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACIÓN EN **Ecología**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

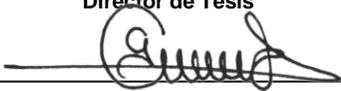
LA COMISIÓN REVISORA



Dr. Alfredo Ortega Rubio
Director de Tesis



Dra. Aurora Breceda Solís-Cámara
Co-Tutora



Dr. Gustavo Alberto Arnaud Franco
Co-Tutor



Dra. Sara Cecilia Díaz Castro
Co-Tutora



Dr. José Delgadillo Rodríguez
Co-Tutor



Dra. Gracia Alicia Gómez Anduro
Directora de Estudios de Posgrado y
Formación de Recursos Humanos

La Paz, Baja California Sur, a 14 de octubre de 2021.

Los miembros del comité de tesis de la estudiante MARTHA LIZETH CECEÑA SÁNCHEZ del Programa de Doctorado en el Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales (Orientación en Ecología) revisamos el contenido de la tesis y otorgamos el Vo. Bo. dado que la tesis no representa un plagio de otro documento como lo muestra el reporte de similitud realizado:

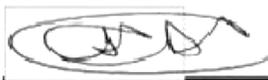
- Herramienta antiplagio: **ithenticate**
- Filtros utilizados:
 - Citas excluidas**
 - Bibliografía excluida**
 - Resumen**
 - Excluir coincidencias inferiores a 15 palabras**
- Porcentajes de similitud: **5%**

SERVA DE LA		Citas excluidas	5%
		Bibliografía excluida	SIMILAR
Resumen de Coincidencias			
1	Internet 164 palabras Copiado el 21-Abr-2021 www.scielo.org.mx		1%
2	Internet 153 palabras Copiado el 18-Ago-2021 www.sciencegate.app		1%
3	Internet 84 palabras Copiado el 04-Jun-2021 docplayer.es		<1%
4	Internet 75 palabras Copiado el 26-Ago-2021 dspaoc.cibnor.mx:8080		<1%
5	Internet 47 palabras Copiado el 10-Oct-2017 www.oikos.unam.mx		<1%
6	Internet 45 palabras Copiado el 09-Dic-2019 www.crim.unam.mx		<1%
7	Internet 43 palabras Copiado el 12-Sep-2008 web.ujat.mx		<1%

Firmas del comité



Dr. Alfredo Ortega Rubio
Director de Tesis



Dra. Sara Cecilia Díaz Castro
Co-Tutora



Dra. Aurora Margarita Breceda Solís Cámara
Co-Tutora



Dr. Gustavo Alberto Arnaud Franco
Co-Tutor



Dr. José Delgadillo Rodríguez
Co-Tutor

Conformación de Comités

Comité Tutorial

Dr. Alfredo Ortega Rubio
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
Director de Tesis

Dra. Aurora Margarita Breceda Solís Cámara
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
Co-Tutora de Tesis

Dr. Gustavo Alberto Arnaud Franco
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
Co-Tutor de Tesis

Dr. José Delgadillo Rodríguez
Universidad Autónoma de Baja California
Co-Tutor de Tesis

Dra. Sara Cecilia Díaz Castro
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
Co-Tutora de Tesis

Comité Revisor de Tesis

Dr. Alfredo Ortega Rubio
Dra. Aurora Margarita Breceda Solís Cámara
Dr. Gustavo Alberto Arnaud Franco
Dr. José Delgadillo Rodríguez
Dra. Sara Cecilia Díaz Castro

Jurado de Examen

Dr. Alfredo Ortega Rubio
Dra. Aurora Margarita Breceda Solís Cámara
Dr. Gustavo Alberto Arnaud Franco
Dr. José Delgadillo Rodríguez
Dra. Sara Cecilia Díaz Castro

Suplentes

Dra. Patricia Galina Tessaro
Dr. José Alfredo Arreola Lizárraga

Resumen

Isla Guadalupe es una estratégica isla oceánica que destaca por su diversidad biológica terrestre, con 225 taxa, 39 endémicos y 16 taxa endémicos insulares compartidas con las Islas del Canal de California, EE.UU. (Junak, 2005; Rebman *et al.*, 2002). El paisaje vegetal de Isla Guadalupe fue impactado severamente por la introducción de la cabra (*Capra hircus*), provocando la escasez significativa de las coberturas vegetales, en el año 2007, la cabra fue erradicada de la isla. El estudio se centra en la evaluación de los cambios y la recuperación de la cobertura de la vegetación, después de casi una década de la erradicación. Se utilizó la sinergia de métodos y técnicas de clasificación e interpretación de imágenes multiespectrales de alta resolución de los satélites QuickBird y WorldView 2, de los años 2004 y 2013, correspondientes a la etapa previa y posterior a la erradicación de las cabras respectivamente. Se realizó la clasificación supervisada de una imagen WorldView 2 del 2013 mediante la aplicación del algoritmo *Máxima verosimilitud* e interpretación visual basada en conocimiento experto, para la cual se definieron 18 clases de cobertura para producir un nuevo mapa de coberturas de vegetación. La precisión del mapa resultante se evaluó mediante la matriz de confusión y los datos de campo, se obtuvo la precisión total de 93.74% y el coeficiente de Kappa (K') de 0.93% lo que indicó una clasificación casi perfecta (Landis y Koch, 1977). El mapa resultante es una aproximación confiable de la cobertura vegetal real. Las coberturas con mayor área ocupada fueron *pastizal inducido* con el 30.9%, seguida de *matorral desértico marítimo (Ambrosia-Atriplex)* con el 13.69% y *pastizal inducido con subarbustos* con el 11.87%. Conjuntamente, se evaluó el cambio en la superficie y la tasa de cambio en la cobertura de las comunidades mediante el cálculo de los Índices de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI). De acuerdo con los resultados obtenidos, se identificó fácilmente las coberturas de bosque de ciprés, pino y palmar, con un incremento en su biomasa. El pastizal duplicó su cobertura en superficie y disminuyó el suelo desnudo para el 2013. El NDVI tuvo limitaciones en la determinación de cambios en la cobertura de matorrales para ambos años, no obstante, el análisis de la cobertura con SAVI presentó valores más concisos con un incremento sostenido de los valores posteriores a la erradicación. De acuerdo con la prueba de Wilcoxon, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la cobertura vegetal estimada ($n= 7$; $Z= 1.69$; $P= 0.091$) a un nivel de significancia de $\alpha= 0.10$ y de confianza de 90% lo que indica que sí existe cambio en la cobertura de la vegetación entre 2004 y 2013. Los resultados de estas investigaciones permiten elaborar recomendaciones específicas para el manejo y la conservación de los ecosistemas prioritarios de esta estratégica Área Natural Protegida.

Palabras clave: Conservación, erradicación, imágenes satelitales, sucesión ecológica, índices de vegetación.

ORCID: 0000-0003-3596-833X

Vo. Bo. Director de Tesis



Dr. Alfredo Ortega Rubio

Summary

Guadalupe Island is a strategic oceanic island that stands out for its terrestrial biological diversity with 225 taxa, 39 endemics and 16 are insular endemics shared with the Channel Islands of California, USA (Junak, 2005; Rebman *et al.*, 2002). The landscape of Isla Guadalupe was severely impacted by the introduction of goats (*Capra hircus*), causing significant scarcity of vegetation cover. In 2007, the eradication was completed. The study focuses on the evaluation of the changes and the recovery of the vegetation cover of Guadalupe Island, Mexico, after almost a decade of eradication. The synergy of methods and techniques for classifying and interpreting high-resolution multispectral images from the QuickBird and WorldView 2 satellites, from the years 2004 and 2013, corresponding to the stage before and after the eradication of goats, respectively, was applied. The supervised classification of a WorldView 2 image from 2013 was carried out by applying the Maximum Likelihood algorithm and visual interpretation based on expert knowledge, for which 18 cover classes were defined to produce a new vegetation cover map. The precision of the map was evaluated by contrasting the confusion matrix and the field data, from which the overall accuracy of the classification was 93.74% and the Kappa coefficient (k') of 0.93% which indicated an almost perfect classification according to (Landis and Koch, 1977). The resulting cover map is a reliable approximation of the actual vegetation cover. The covers with the largest occupied area were grassland with 30.9%, followed by maritime desert scrub (*Ambrosia-Atriplex*) with 13.69% and grassland with subshrubs with 11.87%. Together, the change in the surface and the rate of change in the cover of the plant communities were evaluated by calculating the Normalized Difference Vegetation Indices (NDVI) and Soil Adjusted Vegetation Indices (SAVI). According to the results obtained, the cypress, pine and palm forest covers were easily identified, with an increase in their biomass. The change in the surface and the rate of change in the cover of the plant communities were evaluated by calculating the Normalized Difference Vegetation Indices (NDVI) and Soil Adjusted Vegetation Indices (SAVI). According to the results obtained, the cypress, pine and palm forest covers were easily identified, with an increase in biomass. Similarly, the grassland doubled its surface cover, and there was a decrease in bare soil for 2013. The NDVI had limitations in determining changes in scrub cover for both years, however the coverage analysis with SAVI showed values more concise with a sustained increase in post-eradication values. According to the Wilcoxon test, statistically significant differences were found in the estimated vegetation cover ($n = 7$; $Z = 1.69$; $P = 0.091$) at a significance level of $\alpha = 0.10$ for a confidence level of 90%. This indicates that there is a change in vegetation cover between 2004 and 2013. The results of these investigations allow the elaboration of specific recommendations for the management and conservation of the priority ecosystems of this strategic Protected Natural Area.

Key words: Conservation, ecological succession, eradication, plant communities, satellite images.

ORCID: 0000-0003-3596-833X

Vo. Bo. Director de Tesis


Dr. Alfredo Ortega Rubio

Dedicatoria

A mi papá y a la vida misma

Agradecimientos

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., por permitirme ser parte de su comunidad como estudiante.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada (CVU369054) durante la realización de mis estudios de Doctorado. A la Red Temática de Áreas Naturales Protegidas (RENANP-CONACyT) y con el apoyo económico del Proyecto 251919 de Ciencia Básica de CONACyT.

A Mi Director de Tesis, por siempre tener la mejor disposición, despejar mis dudas y por su entero compromiso. Agradezco sus palabras siempre alentadoras, empáticas y amables. Por su tiempo y por llevarme hacia el cumplimiento de esta meta.

A mi Comité Tutorial por sus comentarios siempre atinados, siempre encauzando esta investigación y por estar presentes, mi admiración para cada uno de Ustedes: Dr. Alfredo Ortega, Dra. Aurora Breceda, Dra. Sara Díaz, Dr. Gustavo Arnaud y a mi Profe Dr. Delgadillo, gracias por su acompañamiento y amistad en todos estos años.

A la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos y a su personal, Tania Verónica Núñez Valdez, Lic. Osvelia Ibarra Morales, Lic. Leticia González, Ing. Horacio Sandoval Gómez, por su disposición y amabilidad a cada cuestionamiento o duda de mi parte. Al personal de Biblioteca, en especial a Ana María Talamantes y a Susana Luna por su calidez y hospitalidad. A Gil Ceseña del Laboratorio de SIG y a los choferes que nos llevan y traen.

Al Grupo de Ecología de Conservación de Islas, A.C. al Dr. Alfonso Aguirre, por confiar en mí, por apoyarme con todas las facilidades en el campo, Luciana, Fede por permitirme conocer otras islas. Para mi toda una experiencia por más gratificante el trabajar en conjunto por La Lupita y sus plantas. Espero continuemos aportando conocimiento y devolviéndole un poco de lo mucho que nos da. Al equipo GECl de La Paz, Tony, muchas gracias por recibirme como parte de ustedes.

Al M.C. Carlos Salinas, agradezco tu disposición para cada una de las millones de dudas, quejas, frustraciones, los tutoriales y consejos. Te agradezco cada enseñanza, no olvides que tienes ese don. Al Dr. Ricardo Eaton por las asesorías y colaboración.

A Victoria y Sofía, mi segundo hogar en La Paz, estoy infinitamente agradecida por hacer mis estancias siempre divertidas, y que junto con Fanny no me sentí sola en una ciudad que no es la mía.

A mis amigas, mi apoyo en los días pesados: Ana Ivette, Susana, Claudia, a cada uno de mis amigos, que directa o indirectamente se involucraron conmigo en esta etapa.

A mi familia, a mi mamá que es mi ideal, trabajadora y generosa, a mis hermanos Iván y Daniel, a Ivanna y Moisés. Por su apoyo incondicional en cada aventura.

A mi esposo, Julio, por tu apoyo en cada proyecto, ser mi centro y quien me devuelve a este mundo. Gracias por hacerme ver lo hermosa que es la vida, lo que estamos construyendo juntos y por ser mi compañero en ella. ¡GRACIAS!

Contenido	
Resumen	i
Summary	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Contenido	vi
Lista de figuras	ix
Lista de tablas	xi
Abreviaturas	xii
1. INTRODUCCIÓN	13
2. ANTECEDENTES	16
2.1 Marco Teórico.....	16
2.1.1 La cabra asilvestrada en islas.....	16
2.1.2 Efectos en la vegetación de la cabra en Isla Guadalupe.....	16
2.1.3 Erradicación en Isla Guadalupe	18
2.1.4 Respuesta de las comunidades vegetales	18
2.1.5 Sucesión ecológica (secundaria)	19
2.1.6 Uso de la percepción remota para identificar cambios en la vegetación	20
3. JUSTIFICACIÓN	22
4. HIPÓTESIS	24
5. OBJETIVOS	25
5.1 Objetivo general	25
5.2 Objetivos particulares.....	25
6. MATERIAL Y MÉTODOS	26
6.1 Sitio de estudio	26
6.1.1 Clima	26
6.1.2 Suelo.....	27
6.1.3 Comunidades vegetales.....	27
6.2 Adquisición y procesamiento de imágenes multiespectrales	29
6.3 Cobertura vegetal antes de la erradicación.....	30
6.4 Clasificación de la cobertura.....	30
6.4.1 Clasificación Supervisada	31
6.4.2 Evaluación de la clasificación (Matriz de confusión)	32
6.4.3 Índice de Kappa.....	33
6.5 Verificación en campo (estructura y composición florística)	34
6.6 Índices de vegetación	36
6.6.1 Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)	36
6.6.2 Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI).....	36
6.7 Superficie cubierta y tasa de cambio de las comunidades vegetales en el periodo 2004-2013 con base en los índices de vegetación	37
6.8 Análisis estadístico.....	38
7. RESULTADOS	39
7.1 Fuentes de información y procesamiento.....	39
7.1.1 Mapa base de análisis y la cobertura vegetal antes y después de la erradicación ..	39

7.1.2 Cobertura vegetal en 2004	39
7.1.3 Cobertura vegetal en 2013	39
7.1.4 Cobertura vegetal recuperada.....	42
7.2 Clasificación de coberturas.....	44
7.2.1 Clasificación supervisada	44
7.3 Evaluación de la clasificación (Matriz de confusión)	45
7.4 Evaluación de sitios de verificación	51
7.4.1 Estructura y composición florística de las comunidades vegetales	51
7.5 Descripción de la cobertura vegetal	52
7.5.1 Bosques.....	52
7.5.1.1 Bosque de ciprés	52
7.5.1.2 Bosque de pino.....	58
7.5.1.3 Palmar.....	62
7.5.1.4 Matorral norte.....	65
7.5.1.4.1 Deinandra frutescens.....	65
7.5.1.4.2 Sphaeralcea sulphurea.....	65
7.5.1.5 Pastizal inducido con subarbustos	73
7.5.1.6 Matorral desértico marítimo (Ambrosia-Atriplex)	75
7.5.1.7 Matorral de Atriplex-Sphaeralcea	77
7.5.1.8 Matorral de Mesa de Guadalupe e islotes	79
7.5.1.9 Pastizal inducido	82
7.5.1.10 Comunidades de acantilados	84
7.5.1.11 Áreas sin vegetación aparente	86
7.5.1.12 Áreas con vegetación escasa.....	86
7.5.1.13 Roca	89
7.5.1.14 Asentamientos humanos.....	89
7.6. Índices de vegetación y análisis de la cobertura de las comunidades vegetales	90
7.6.1 Bosque de pino	91
7.6.2 Bosque de ciprés.....	91
7.6.3 Palmar	91
7.6.4 Pastizal	91
7.6.5 Matorrales.....	91
7.6.6 Suelo desnudo.....	92
7.7. Análisis estadístico.....	92
8. DISCUSIÓN.....	97
8.1. Mapa base de análisis, la cobertura vegetal antes y después de la erradicación.....	97
8. 2. Clasificación de coberturas.....	98
8.2.1. Coberturas vegetales	101
8.3. Índices de vegetación	103
8.4. Cambios de cobertura y superficie y tasa de cambio 2004-2013.....	104
8.4.1 Bosque de pino	105
8.4.2 Bosque de ciprés.....	105
8.4.3 Palmar	106
8.4.4 Pastizal	107

8.4.5 Matorral	107
9. CONCLUSIONES	108
9.1 Clasificación de coberturas.....	108
9.1.1 Índices de vegetación y análisis de la superficie de cobertura de las comunidades vegetales	108
9.2 Recomendaciones.....	110
9.2.1 Bosques.....	111
9.2.2 Palmar	111
9.2.3 Matorral	112
9.2.4 Pastizal	112
10. LITERATURA CITADA	113
11. ANEXOS	120
Anexo A. Listado de florístico de los matorrales y forma de crecimiento. A=Arbusto, G= Geófito, HA= Herbácea anual, HP= Herbácea perenne, P= Parásita, Sf=Sufrútice, Su=Suculenta.....	120
Anexo B. Especies perennes compartidas en los tipos de coberturas vegetales. BOCI: Bosque de ciprés, BOPI: Bosque de pino, PALM: Palmar, MANO: Matorral norte, MDM: Matorral desértico marítimo (Ambrosia-Atriplex), MAS: Matorral Atriplex-Sphaeralcea, MGI: Matorral Mesa de Guadalupe e islotes, PAST: Pastizal inducido.	124
Anexo C. Artículo Publicado.-Asociaciones de los Matorrales de Isla Guadalupe, México.	126
Anexo D. Artículo Publicado.-Evaluación de Cambios en la Cobertura Vegetal en Isla Guadalupe Mediante índices de Vegetación.....	154

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación de la Isla Guadalupe, México.....	28
Figura 2. Sitios de verificación de coberturas vegetales.....	35
Figura 3. Mapa base de análisis. Distribución de las principales coberturas vegetales y suelo de Isla Guadalupe antes de la erradicación en el año 2004.	40
Figura 4. Cobertura vegetal y suelo de Isla Guadalupe después de la erradicación en el año 2013.	41
Figura 5. Cobertura vegetal recuperada y suelo después de la erradicación (2013).	43
Figura 6. Mapa de cobertura de la vegetación y suelo en Isla Guadalupe, México.	50
Figura 7. Vista real del bosque de ciprés sur.....	54
Figura 8. Parche de bosque de ciprés centro.....	55
Figura 9. Parche sur de bosque de ciprés, es apreciable la erosión causada por la falta de cobertura durante la permanencia de la cabra. Composición 4, 3, 2 (IR, R, G), escala (1: 5000).....	56
Figura 10. Parche de bosque de ciprés centro. Composición 4, 3, 2 (IR, R, G), escala (1: 5000).....	57
Figura 11. Bosque de pino (<i>Pinus radiata</i>).	58
Figura 12. Parche denso de bosque, composición 4, 3, 2 (IR, R, G) escala (1: 5000).....	59
Figura 13. Comunidades de pino con algunos encinos. Composición 4, 3, 2 (IR, R, G), escala (1: 5000).....	59
Figura 14. Comunidad de pino al noroeste de Isla Guadalupe.	60
Figura 15. Vista de las comunidad de pino al noroeste de la isla.	61
Figura 16. a) Palmar norte de <i>Brahes edulis</i> . (izq.) y b) palmar sur (derecha).	63
Figura 17. (1) Distribución del palmar norte, (2) recuperación de subarbustos y (3) parches de herbáceas, con abundancia de <i>Calystegia macrostegia</i> subsp. <i>macrostegia</i> . Composición 4, 3, 2 (IR, R, G), escala (1: 5000).	64
Figura 18. a). Comunidades del matorral norteño colonizando entre parches de bosque (<i>Hazardia canna</i> , <i>Senecio palmeri</i> , <i>Sphaeralcea sulphurea</i>). b) Comunidades del matorral norte en composición 4, 3, 2 (IR, R, G), escala (1: 5000).....	66
Figura 19. <i>Deinandra frutescens</i> dominante en la punta norte.	67
Figura 20. Cobertura de <i>Deinandra frutescens</i> en la punta norte. Composición 4, 3, 2 (IR, R, G), escala (1: 5000).	68
Figura 21. Comunidades de <i>Perityle incana</i> , zona de El Cráter.	69
Figura 22. Comunidades de <i>Lupinus niveus</i> y <i>P. incana</i> , ladera este de Monte Augusta.	69
Figura 23. Comunidades de <i>Sphaeralcea sulphurea</i> y <i>Lupinus niveus</i>	70
Figura 24. Cobertura del matorral norte con la presencia de comunidades de <i>Sphaeralcea sulphurea</i> , <i>Perityle incana</i> y <i>Lupinus niveus</i> . Composición en falso color 4, 3, 2 (IR, R, G), escala 1: 5000.	71
Figura 25. <i>Calystegia macrostegia</i> subsp. <i>macrostegia</i> . Composición 4, 3, 2 (IR, R, G), escala (1: 5000).....	72
Figura 26. <i>Calystegia macrostegia</i> subsp. <i>macrostegia</i> herbácea nativa más abundante en la isla.	72
Figura 27. Comunidad de <i>Sphaeralcea sulphurea</i> y <i>S. palmeri</i>	73

Figura 28. El género <i>Sphaeralcea</i> en el centro de la isla formando la asociación. Composición 4, 3, 2 (IR, R, G), escala (1: 5000).	74
Figura 29. Comunidad vegetal de <i>Ambrosia camphorata</i> y <i>Atriplex barclayan</i> en el sureste de Isla.....	75
Figura 30. De tonalidad blanquesina comunidad vegetal dominada por <i>Ambrosia camphorata</i> y <i>Atriplex barclayana</i> . Composición 4, 3, 2 (IR, R, G), escala (1: 5000).	76
Figura 31. Comunidad de <i>Atriplex barclayana</i> y <i>Sphaeralcea palmeri</i> al suroeste, camino al campo oeste.	77
Figura 32. La especie dominante en el sitio es <i>A. barclayana</i> confiere la tonalidad de grisacea a grisácea-azulosa. Composición 4, 3, 2 (IR, R, G), escala (1: 5000).....	78
Figura 33. Vista aérea de la Mesa sur e islotes.	79
Figura 34. <i>D. greeneana</i> subsp. <i>greeneana</i> y <i>S. palmeri</i> forman una subasociación localizada en el extremo suroeste de la isla e islotes.....	80
Figura 35. Matorral de la mesa de Guadalupe e islotes, una mezcla de herbáceas y perennes de tipo suculentas. Composición 4, 3, 2 (IR, R, G), escala (1: 5000).	81
Figura 36. Dominancia de vegetación herbácea, mayormente pastos exóticos. Composición 4, 3, 2 (IR, R, G), escala (1: 5000).	82
Figura 37. Paisaje de áreas cubiertas por de herbáceas y pastos.....	83
Figura 38. <i>Hazardia cana</i> , <i>Perityle incana</i> y <i>Sphaeralcea sulphurea</i> forman parte de la estructura de esta cobertura vegetal.	84
Figura 39. Comunidades vegetales establecidas en acantilados sobrevivieron a la presión de la cabra. Composición 4, 3, 2 (IR, R, G), escala (1: 5000).	85
Figura 40. Sitios sin vegetación aparente. Composición 4, 3, 2 (IR, R, G), escala (1: 5000). 86	
Figura 41. Zona con escasa cobertura de vegetal al noreste de la isla. Composición 4, 3, 2 (IR, R, G), escala (1: 5000).....	87
Figura 42. Sitios con escasa cobertura vegetal, vista de noreste a sureste.....	88
Figura 43. Arroyo Melpómene en la zona sur de la isla, donde se aprecian formaciones rocosas en distintas tonalidades.	89
Figura 44. Existen tres asentamientos humanos en la isla, a) Estación biológica El bosque del Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C., (GECI) b) Campo pesquero El Tepeyac de la Cooperativa de Abuloneros y Langosteros, y c) Destacamento de la Secretaría de Marina Armada de México. Composición 4, 3, 2 (IR, R, G), escala (1: 5000).	90
Figura 45. a y b: Datos del índice NDVI, c y d: Datos del índice SAVI de la superficie cubierta por vegetación en 2004 y 2013.....	93
Figura 46. Superficie de la cobertura de las comunidades vegetales en 2004 y 2013. El principal cambio fue el incremento de pastizales y matorrales, y la disminución de suelo desnudo.	94

Lista de tablas

Tabla 1. Características de los sensores QuickBird y WorldView 2 y las bandas situadas en distintas zonas del espectro electromagnético (DigitalGlobe, 2018).	29
Tabla 2. Escala de concordancia del índice de Kappa considera un rango de valores de -1.0 a 1.0.	33
Tabla 3. Número de hectáreas de la cobertura vegetal y suelo para Isla Guadalupe en 2004 y la cobertura recuperada para 2013.	42
Tabla 4. Clases de coberturas de vegetación definidas para Isla Guadalupe.	44
Tabla 5. Matriz de confusión para la clasificación supervisada en comparación con los datos de campo para la imagen WorldView 2 (13 de mayo de 2013).	47
Tabla 6. Precisión de clasificación general de cobertura de 93.7%	48
Tabla 7. Índice de Kappa general 0.93% y para cada clase de cobertura se describen a continuación	49
Tabla 8. Valores estadísticos resultado del índice NDVI sin reclasificar y reclasificado (valores igual o menor a cero se consideró como suelo) para cada tipo de comunidad vegetal y suelo en 2004 y 2013.	94
Tabla 9. Valores estadísticos resultado del índice SAVI sin reclasificar y reclasificado para cada tipo de comunidad vegetal y suelo en 2004 y 2013.	95
Tabla 10. Porcentaje de superficie cubierta y las diferencias (cambio) por las distintas comunidades vegetales y suelo en 2004 y 2013.	95
Tabla 11. Comparación de la superficie de las principales coberturas vegetales de referencia estimadas por Oberbauer (2005) con las estimadas en este estudio a partir de las imágenes QuickBird 2004 y WorldView 2 2013.	96

Abreviaturas

AE: Áreas de Entrenamiento

CONABIO: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

CONANP: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas

GECI: Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C.

INE: Instituto Nacional de Ecología

ND: Niveles Digitales

NDVI: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

SAVI: Índice de Vegetación Ajustado al Suelo

SEGOB: Secretaría de Gobernación

SEMAR: Secretaría de Marina-Armada de México

UTM: Proyección Universal Transversa de Mercator

1. INTRODUCCIÓN

Las comunidades vegetales son el centro de un gran número de procesos biofísicos clave en el funcionamiento de los ecosistemas (Terradas, 2001), así que, el estudio de la dinámica, sus cambios temporales y espaciales en la cobertura vegetal, como de composición, se han utilizado como un indicador a nivel de paisaje debido a que es posible localizarla espacialmente, clasificarla y estudiarla (Monedero, 2005; Rosete-Vergés *et al.*, 2008) y cuantificarla. Dichos análisis son esenciales para el mejor entendimiento del estado y el monitoreo de las variaciones en el vigor vegetativo, estructura, abundancia y distribución de la cobertura vegetal de una región (Gonzaga-Aguilar, 2015; Oliveros, 2015). De esta manera, el conocimiento de los cambios se puede relacionar con la persistencia de las comunidades y su vulnerabilidad ante factores de perturbación en sistemas frágiles como las islas (Knapp, 2005; Cohen *et al.*, 2009; Beltran *et al.*, 2014).

Los ecosistemas insulares son críticos para la conservación de la biodiversidad del planeta, representan alrededor de 3.6% de la superficie terrestre y albergan de 15 a 20% de las especies de plantas, reptiles y aves (Myers *et al.*, 2000). Se estima que una de cada seis especies de las plantas del mundo se encuentra en islas oceánicas (Aguirre-Muñoz *et al.*, 2016). Isla Guadalupe es una estratégica y remota isla oceánica, florísticamente es considerada parte de la Provincia Florística Californiana (Axelrod, 1978; Moran, 1996), ya que destaca por su diversidad biológica terrestre, particularmente notable en plantas vasculares (Moran, 1996; León de la Luz *et al.*, 2003), con 225 taxa, 39 endémicos y 16 endémicos insulares compartidas con las Islas del Canal de California, EE.UU. (Junak, 2005; Rebman *et al.*, 2002). No obstante, una amenaza a la diversidad biológica de las islas a nivel mundial es la llegada de especies exóticas de flora y fauna (Moran, 1996), la Isla Guadalupe no quedó exenta de estas amenazas, así el paisaje vegetal fue impactado, ya que a mediados del siglo XIX se introdujo la cabra (*Capra hircus*), desencadenando una serie de procesos como la fragmentación, pérdida de hábitat y poblaciones naturales, así como la escasez significativa de las coberturas vegetales. En el año 2007, culminó el

proceso de erradicación de la cabra de la isla (Luna-Mendoza *et al.*, 2019) lo que propició la regeneración natural de la vegetación, especies consideradas extintas o extirpadas han sido redescubiertas o de nuevos registros (Ceceña-Sánchez, 2014; Garcillán *et al.*, 2009; Luna-Mendoza *et al.*, 2019). En sistemas insulares después de una erradicación, la vegetación generalmente presenta una recuperación rápida y positiva, sin importar el tiempo que permaneció el herbívoro en el sitio (Cole y Litton, 2014; Chynoweth *et al.*, 2013; Hamann, 1993). Aunque a veces la recuperación puede ser limitada o no es tal como se esperaba, tomando largos periodos de tiempo después de la eliminación del disturbio. Asimismo intervienen factores de tipo biogeográficos, como la distancia a la fuente colonizadora, el manejo del área y la propia naturaleza del ecosistema afectado (Beltran *et al.*, 2014). Sin embargo, pocos son los estudios que documentan la respuesta de las comunidades a esta acción de manejo (Beltran *et al.*, 2014; Cole y Litton, 2014; Klinger *et al.*, 2002; Ortiz-Alcaraz, 2016), principalmente por la lejanía y el gran esfuerzo, así como los costos.

Dada la erradicación, el siguiente paso para apoyar la toma de decisiones de manejo y conservación en la isla, es la identificación de los cambios subsecuentes, donde el principal indicador será la vegetación. Por lo tanto, la presente investigación se centra en el análisis de los cambios en la estructura (cobertura) y la descripción de la cobertura vegetal, a partir del uso de técnicas de percepción remota, que constan del procesamiento y clasificación de imágenes multiespectrales de alta resolución de los sensores QuickBird y WorldView 2 de los años 2004 y 2013. Las imágenes corresponden a la etapa previa y posterior a la erradicación respectivamente.

En principio se tomó un análisis histórico y sus cambios con base en un primer mapa de la cobertura de vegetación propuesta por Oberbauer (2005), este como referencia para evaluar la vegetación del año 2004. Además, utilizando las mismas clases caracterizadas previamente, se realizó la comparación de las coberturas en el 2013, para expresar en los respectivos mapas temáticos la distribución espacial del cambio de la vegetación.

A partir de la clasificación e interpretación visual de la imagen WorldView 2 de 2013 se elaboró un nuevo mapa de la cobertura vegetal y se validó su precisión mediante una matriz de confusión. Al mismo tiempo, se realizó la evaluación de las comunidades en campo, apoyado en la realización de inventarios florísticos (Braun-Blanquet, 1932). Cabe mencionar que éste es un estudio de largo alcance para el cual se cuenta con información de inventarios recopilados desde el año 2013, los cuales fueron utilizados para contrastar la clasificación y como referencia de los sitios verificados.

Conjuntamente se realizaron análisis en donde se evaluó el cambio en la superficie y la tasa de cambio en la cobertura de la vegetación mediante el cálculo de los Índices de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI) para los mismos años. La información recopilada y se integró en un Sistema de Información Geográfica en cual se elaboraron mapas temáticos actualizados a precisión y detalle.

En la presente investigación se evaluó el estado y los cambios de la vegetación con la cual se aporta información que contribuye al desarrollo de nuevo conocimiento relativo al monitoreo de los cambios en la cobertura, resultado de la erradicación. Constituye un referente para estudios posteriores que tengan como fin dar seguimiento al estado de recuperación, mismo que se espera sea de utilidad para la toma de decisiones y generar recomendaciones que aporten al manejo, restauración y la conservación de la biodiversidad de la isla.

2. ANTECEDENTES

2.1 Marco Teórico

2.1.1 La cabra asilvestrada en islas

Los ecosistemas insulares, particularmente sus comunidades vegetales, se han visto afectados severamente por la introducción de herbívoros exóticos, tal es el caso de la cabra (*C. hircus*), es considerada como el herbívoro introducido más destructivo en islas, ya que consume todo tipo de órganos vegetales excepto raíces, pero el ramoneo reiterado afecta la aptitud vegetativa y reproductiva de los vegetales (León de la Luz y Domínguez-Cadena, 2006), lo que lleva a tener efectos en la reducción de cobertura vegetal y modificación en la composición florística, y en algunos casos han causado la extinción de especies endémicas en islas de todo el mundo (Coblentz, 1978; Van Vuren, 1987; Aguirre-Muñoz *et al.*, 2010).

La introducción de esta especie ha sido registrada en al menos 397 islas en el mundo, por balleneros y pescadores del siglo XVII y XVIII, cuyo propósito fue proveer de alimento fresco para las futuras visitas a la isla (Campbell y Donlan, 2005; Coblentz, 1978). En México se han introducido cabras en al menos 12 islas (Aguirre Muñoz *et al.*, 2016), en donde formaron grandes poblaciones debido a la falta de un depredador natural, con graves consecuencias sobre la biota insular, en particular sobre las plantas nativas que al evolucionar sin la presencia de un depredador, carecen de defensas contra estos herbívoros (Bowen y Van Vuren, 1997; Campbell y Donlan, 2005; Carlquist, 1974; Chynoweth *et al.*, 2013; Ortiz, 2016).

2.1.2 Efectos en la vegetación de la cabra en Isla Guadalupe

La cabra ha tenido severos efectos sobre la vegetación en Isla Guadalupe, ya que por al menos 150 años ejercieron extrema presión afectando severamente la cobertura vegetal, además promoviendo la pérdida de hábitat, favoreciendo la fragmentación y desaparición de las comunidades vegetales naturales (Moran, 1996). tal es el caso del matorral de *Artemisia*, la cual habría sido una de las comunidades más diseminadas en la isla,

actualmente se puede considerar extinto, al igual que el chaparral (Oberbauer, 2006). Asimismo, el bosque de juníferos ha quedado restringido a unos cuantos individuos en los cañones del centro de la isla (Luna-Mendoza *et al.*, 2019). Moran (1996) describe que previo a la introducción de la cabra, este fue un uno de los tipos de vegetación predominante en el centro y sur de la isla, como cañadas y valles, con un decremento de su cobertura de 3,850 a 85 hectáreas (Rodríguez-Malagón, 2004).

En la parte sureste el matorral desértico marítimo quedó reducido de 10,550 a 800 hectáreas, mientras en mesa sur esta vegetación parece una comunidad relativamente intacta (Ceceña-Sánchez, 2014; Meling, 1985), al observarse menor actividad de pastoreo.

En los islotes (Morro prieto, Zapato y Toro), donde las cabras no estuvieron presentes (Oberbauer, 2005), la vegetación se encuentra lo suficientemente prístina o conservada y nos brinda información sobre el estado original del matorral costero suculento (GECI, 2016) o del matorral de la mesa de Guadalupe e islotes.

Actualmente se considera que 26 especies de plantas nativas se encuentran extirpadas y tres endemismos insulares de la isla, incluyendo un género endémico monoespecífico, *Hesperelaea palmeri* (Oleaceae), *Castilleja guadalupensis* (Orobanchaceae) y *Popogyne tenuiflora* (Lamiaceae) (Guilliams *et al.*, 2017, Moran, 1996, Rebman, 2002). Cabe decir, que su flora ha sido registrada de manera periódica por medio de recolecciones y observaciones de campo (León de la Luz *et al.*, 2005) desde Palmer en 1875, quien ya observaba un acelerado decremento de la vegetación por causa de la cabra, hasta Moran, quien por más de 40 años registró información sobre la flora y vegetación aportando la mayor contribución y al mismo tiempo, documentando los efectos de las cabras sobre la vegetación en Isla Guadalupe (Moran, 1996).

2.1.3 Erradicación en Isla Guadalupe

Con una población estimada en un poco más de 10,000 animales, y como una medida urgente y esencial de restauración ecológica de este ecosistema insular y eliminar así la mayor amenaza directa a las comunidades vegetales de la isla, el Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C. (GECI) y en colaboración de la Secretaría de Marina-Armada de México (SEMAR), Secretaría de Gobernación, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y el Instituto Nacional de Ecología (INE), llevó a cabo la erradicación de la población de cabra asilvestrada durante el periodo de 2003 a 2006, finalizada en el año 2007 (Aguirre-Muñoz *et al.*, 2011).

2.1.4 Respuesta de las comunidades vegetales

A partir de casos similares en los que se han erradicado especies exóticas introducidas se ha observado que las islas son ecosistemas lo suficientemente resilientes para recuperarse mediante restauración pasiva. Tal es el caso de las comunidades vegetales Isla Santa Cruz, EE.UU. (California Channel Islands) que han experimentado y registrado la recuperación sin asistencia desde el cese del pastoreo de ungulados introducidos. Lo que indica que este sistema tenía suficiente resiliencia para recuperar su estructura de la vegetación anterior a lo largo de 20 a 28 años de restauración sin asistencia (Beltran *et al.*, 2014).

Otros casos similares son Isla San Clemente (cabra) e Isla Santa Catalina que también se han registrado los cambios en las comunidades, redescubrimientos de especies (Munson *et al.*, 2017), y se han modelado de nicho ambiental de los distintos tipos de vegetación (conceptualizadas como vegetación natural potencial) como un medio para identificar los lugares donde las medidas de restauración serían más exitosas y para predecir la vegetación natural potencial antes de la perturbación antropogénicas (Longcore *et al.*, 2018), además se han realizado mapas de la vegetación mediante fotointerpretación.

Las comunidades de plantas nativas insulares son particularmente vulnerables a la invasión por plantas no nativas (Wilcove, 1998), las cuales rápidamente ocupan el espacio disponible creado por la cabra al remover la vegetación nativa. Es por ello que, la información más valiosa proviene de la respuesta de las especies vegetales, de su monitoreo y de la documentación del estado actual de la vegetación (Ortiz-Alcaraz, 2016).

En Isla Socorro (Archipiélago de Revillagigedo, México), después de la erradicación de borrego se estimó un aumento del 11 % (1,452 ha) de cobertura vegetal (Ortiz-Alcaraz, 2016). Así mismo, en Isla San Benito, Baja California, al erradicarse el conejo (*Oryctolagus cuniculus*), se registró un incremento en las poblaciones de *Malva pacífica* y *Dudleya linearis* (Donlan *et al.*, 2002, 2003; Ortiz-Alcaraz *et al.*, 2016). En Isla Guadalupe al poco tiempo de iniciado el control de la cabra se identificaron diversos impactos positivos con la aparición de nuevos registros de seis taxa que se creían extintos (Junak, 2005).

2.1.5 Sucesión ecológica (secundaria)

La erradicación de la cabra en la Isla Guadalupe ha generado cambios significativos en el paisaje, así mismo, el potencial de respuesta homeostática positiva o de resiliencia a esta estrategia ha sido evidente (Aguirre-Muñoz *et al.*, 2005). Estos cambios temporales en la estructura, la composición florística y las funciones de un ecosistema que ha sido perturbado, puede entenderse como sucesión ecológica; concepto que se refiere a una tendencia de las comunidades a cambiar progresivamente, con ciertos aspectos de auto organización o maduración, y algunas características de irreversibilidad (Margalef, 1982).

Así mismo, se entiende como un proceso natural por el que se sustituyen las especies de una comunidad vegetal a través del tiempo, la cual inicia con un disturbio (Delgadillo, 2014). La sucesión de tipo progresiva avanza hacia una mayor organización, que culminará en el clímax y óptimo estable (equilibrio dinámico) a la que tiende todo ecosistema vegetal. Ahora bien, si después del disturbio permanece germoplasma vivo (semillas, meristemas en raíces y tallo, y plantas en pie) y suelo fértil, se pueda desarrollar

vegetación en un proceso de sucesión secundaria (Maza-Villalobos, 2012). Por lo tanto, el desarrollo de una comunidad dependerá no solamente del tipo de disturbio inicial, sino también de la vegetación remanente en el sitio y de las características biofísicas (e.g. suelo-topografía) del mismo (Maza-Villalobos, 2012).

2.1.6 Uso de la percepción remota para identificar cambios en la vegetación

Los cambios que sufre el ecosistema en sucesión, así como la velocidad con la que ocurren, deben ser evaluados mediante monitoreos previos y posteriores al disturbio. La mayoría de los estudios sobre sucesión ecológica se han centrado en las comunidades vegetales debido a que componen la mayor parte de la biomasa de los ecosistemas y resultan determinantes para la estructura y el funcionamiento de los mismos (Myster, 2001). Actualmente, la implementación de técnicas de percepción remota, esto se refiere al uso de información obtenida mediante dispositivos alejados del objeto de estudio (e.g. fotografías aéreas, imágenes satelitales multiespectrales, Google Earth) para el análisis de los cambios en la cobertura terrestre, resultan indispensables, especialmente después de erradicaciones de herbívoros exóticos introducidos en sitios lejanos como las islas (Cohen *et al.*, 2009; Knapp, 2005; Ortiz-Alcaraz *et al.*, 2016).

La percepción remota y los sistemas de información geográfica (SIG) permiten evaluar y elaborar mapas sobre la abundancia y distribución de diversos tipos de vegetación, en diferentes escalas espaciales y temporales (Flórez-Yepes *et al.*, 2017). Además de ser herramientas de apoyo para la gestión, planificación y seguimiento de los cambios en los patrones de vegetación, son fundamentales para el manejo y la conservación a largo plazo de la biodiversidad y los procesos ecológicos (Cohen *et al.*, 2009; Lizzi, *et al.*, 2007; Torres *et al.*, 2014).

La vegetación puede ser analizada mediante índices de vegetación, fotointerpretación, clasificación de cobertura vegetal supervisada mediante imágenes de satélite de alta resolución, debido a que presenta patrones específicos de absorción y reflexión de energía en las diferentes regiones del espectro electromagnético, consecuencia de la

actividad fotosintética y la clorofila (Ramírez-Serrato, 2014), a esto se le conoce como firma espectral. De la misma manera, los índices de vegetación se calculan a partir de medidas de reflectancia, con base en las interacciones entre plantas y energía electromagnética en las bandas del espectro rojo e infrarrojo (Chuvienco, 2010; Camacho *et al.* 2015), lo que permite identificar la presencia de vegetación y analizar los cambios en las coberturas, atenuar la respuesta espectral del suelo, de las condiciones de iluminación y de la atmósfera (Gilabert *et al.*, 1997; Muñoz, 2013; Oliveros, 2015; Peña y Ulloa, 2017; Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2000; Torres *et al.*, 2014; Ramírez-Serrato, 2014; Rodríguez-Malagón, 2006; Ortiz-Alcaraz, 2016).

Se han utilizado diferentes técnicas para llevar a cabo el procesamiento digital y el uso de datos de imágenes satelitales multiespectrales con la finalidad de identificar y cuantificar la cobertura vegetal, sus cambios, medición de áreas y su evolución en el tiempo. Los estudios previos en la isla basados en el uso de imágenes satelitales multiespectrales son limitados, sin embargo Rodríguez-Malagón *et al.* (2004) y Ramírez-Serrato (2014) han comprobado la utilidad de los índices de vegetación para estimar cambios causados por la cabra sobre la cobertura del bosque de ciprés (*Hesperocyparis guadalupensis*), así como por los efectos del incendio forestal ocurrido en 2008 (Oberbauer *et al.*, 2009; Villanueva-Díaz *et al.*, 2015).

3. JUSTIFICACIÓN

En México la erradicación de herbívoros introducidos en islas es relativamente reciente y poco se ha documentado acerca de los resultados sobre su restauración en los años posteriores. Esto trae consigo una serie de beneficios de tipo ecosistémicos, socio ambientales, económicos y ecológicos, por mencionar algunos. La recuperación de la cobertura vegetal resalta por su máximo beneficio a la conservación de la biota insular, además de ser el indicador más evidente de la salud del sitio. Considerando lo anterior, nace la necesidad de obtener información sobre respuesta de las comunidades vegetales insulares después de la erradicación de herbívoros exóticos.

Se han realizado estudios de comunidades de manera independiente sobre las comunidades de bosque de ciprés (Ramírez-Serrato, 2014) y matorrales (Ceceña-Sánchez *et al.*, 2018), con objetivos y métodos distintos, sin embargo, no existe un estudio que determine y cuantifique los cambios en la cobertura de las comunidades vegetales después de la erradicación, particularmente mediante el uso de la percepción remota. Debido a lo anterior, es prioritario para la conservación y restauración de la vegetación insular, generar conocimiento básico para la evaluación de los efectos de la erradicación, tanto a nivel de especies como de comunidades.

La presente tesis constituye una herramienta de apoyo para la planificación, manejo y elaboración de estrategias de conservación efectivas, así como para la gestión de los recursos biológicos, humanos y económicos, con base en el conocimiento actualizado y confiable sobre el estado actual de la estructura y procesos de sucesión de la vegetación, aquéllos asociados a los cambios en la cobertura. En este contexto se plantearon las preguntas de investigación ¿Cuánto y cómo ha cambiado la cobertura vegetal posterior a la erradicación de la cabra? ¿Cuál es la comunidad que ha presentado el cambio más notable?

La información generada a partir de los distintos métodos de clasificación, evaluación y mapeo de la vegetación utilizados permitirá identificar, cuantificar y describir los cambios,

que en lo sucesivo contribuirán para la toma de decisiones, así como el establecimiento de monitoreo a largo plazo, mediante el desarrollo de modelos que cuantifiquen, expliquen y proyecten escenarios o posibles tendencias de cambio a futuro. Y a manera de referencia, para evaluar los procesos de degradación o recuperación de la vegetación, así como proponer acciones de manejo pertinentes que conduzcan a la conservación planificada de las comunidades vegetales.

4. HIPÓTESIS

Con base en los planteamientos teóricos respecto de la trayectoria de sucesión secundaria se espera que después de la erradicación de cabras el patrón de la vegetación sea predominante por comunidades vegetales herbáceas como los pastizales, siguiéndole las formas arbustivas y finalmente las arbóreas; asimismo, como parte de la recuperación de la vegetación después de la erradicación, se espera una mayor diversidad específica con la reaparición de especies suprimidas por el ramoneo, es posible que nuevas asociaciones vegetales se establezcan en Isla Guadalupe.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Analizar, evaluar y clasificar los cambios en la estructura de las comunidades vegetales y la dinámica del paisaje de Isla Guadalupe, posterior a la erradicación de la cabra asilvestrada con el fin de generar recomendaciones para su restauración y conservación.

5.2 Objetivos particulares

- Generar un Mapa de Vegetación de Isla Guadalupe antes de la erradicación, utilizando la clasificación de coberturas de vegetación propuesta por Oberbauer (2005) para los tipos de cobertura vegetal, evaluados y caracterizados en el periodo 2000-2003.
- Analizar la cobertura de la vegetación mediante la clasificación de una imagen satelital de alta resolución del año 2013, describiendo el estado de las coberturas.
- Evaluar y cuantificar el porcentaje de cambio en la cobertura de la vegetación mediante el uso de índices espectrales de los años 2004 y 2013.
- Proponer recomendaciones para el monitoreo, restauración y conservación.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 Sitio de estudio

Isla Guadalupe, México, es de tipo oceánica de origen volcánico, con una edad estimada entre 8 y 10 millones de años, y una topografía muy abrupta que alcanza una elevación de 1300 msnm (García-Gutiérrez *et al.*, 2005). 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), siendo la última frontera de México en su extremo más occidental y septentrional. Además, es estratégica para el país, ya que confiere territorio marino, una Zona Económica Exclusiva (ZEE) de ricos mares y de fondo marino, que dan sustento para las comunidades pesqueras locales de las islas (Aguirre-Muñoz *et al.*, 2010).

La isla principal y sus islotes (Morro Prieto, Toro y Zapato) proveen soberanía, recursos naturales y biodiversidad única, por lo que fueron declarados Reserva de la Biosfera en el año 2005 (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [CONANP], 2013).

6.1.1 Clima

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 (CONANP, 2013). La precipitación promedio anual es de 120 mm y la temperatura media mensual oscila en el rango 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 a su mayor elevación (Moran, 1996), así como a la influencia de niebla (Garcillán *et al.*, 2012; Luna-Mendoza, 2014). Los vientos dominantes son controlados por el centro de Alta Presión del Pacífico Norte (Castro *et al.*, 2005) provenientes del noroeste con un régimen de niebla frecuente y nubes bajas muy densas, la condensación de esa humedad que propician un tipo de lluvia débil, situación que favorece a la vegetación en tiempos de sequía.

6.1.2 Suelo

Los suelos derivan de rocas volcánicas, en su mayoría son someros (Delgado-Argote *et al.*, 1993), del tipo andosol, vertisol y litosol (Meling-López, 1985). Los andosoles contienen fragmentos de vidrio volcánico y lava expulsada durante la erupción, se distribuyen principalmente al norte en zonas forestales, este subtipo de suelo comprende una superficie aproximada de 21.84%. Los vertisoles (crómicos), de tonos pardos, se localizan en la parte central con una superficie de casi el 15%. Por último, los litosoles son suelos muy delgados y tienen una profundidad menor a 10 cm, los cuales se encuentran localizados en pendientes, laderas y acantilados, ocupando un área de aproximadamente 44.3% (Ceceña-Sánchez, 2014).

6.1.3 Comunidades vegetales

Las comunidades vegetales de la isla constituyen una variante de la transición mediterráneo-desierto, al contar con un importante carácter mediterráneo determinado por un clima caracterizado por veranos secos y calurosos e inviernos relativamente húmedos y fríos (Peinado *et al.*, 1994). Además de la influencia de una significativa proporción de lluvias de invierno con un determinante efecto de las nieblas costeras potenciado por su elevada topografía (Galán de Mera y Vicente-Orellana, 2007; González *et al.*, 2010).

La vegetación arbórea lo compone el bosque de pino (*Pinus radiata*), bosque de ciprés (*H. guadalupensis*), palmar (*Brahea edulis*), encinares (*Quercus tomentella*) y un pequeño remanente de junípero (huata) (*Juniperus californica*). A nivel de asociaciones las comunidades del matorral de Isla Guadalupe están relacionadas con la región Californiana mediterránea y la zona de transición mediterránea-desértica tropical del norte de Vizcaíno (Ceceña-Sánchez *et al.*, 2018). El matorral, es de porte arbustivo bajo y subarbustivo xerófilo costero (Rzedowski, 1978; Westman, 1983), se distribuye en forma discontinua y actualmente es el tipo de vegetación dominante con variantes: el matorral norte, el matorral desértico marítimo y el matorral de la mesa de Guadalupe e islotes. Otro tipo de

cobertura es el pastizal que se encuentra muy diseminada en la isla, caracterizada por la abundancia de herbáceas, en su mayoría pastos y exóticos.

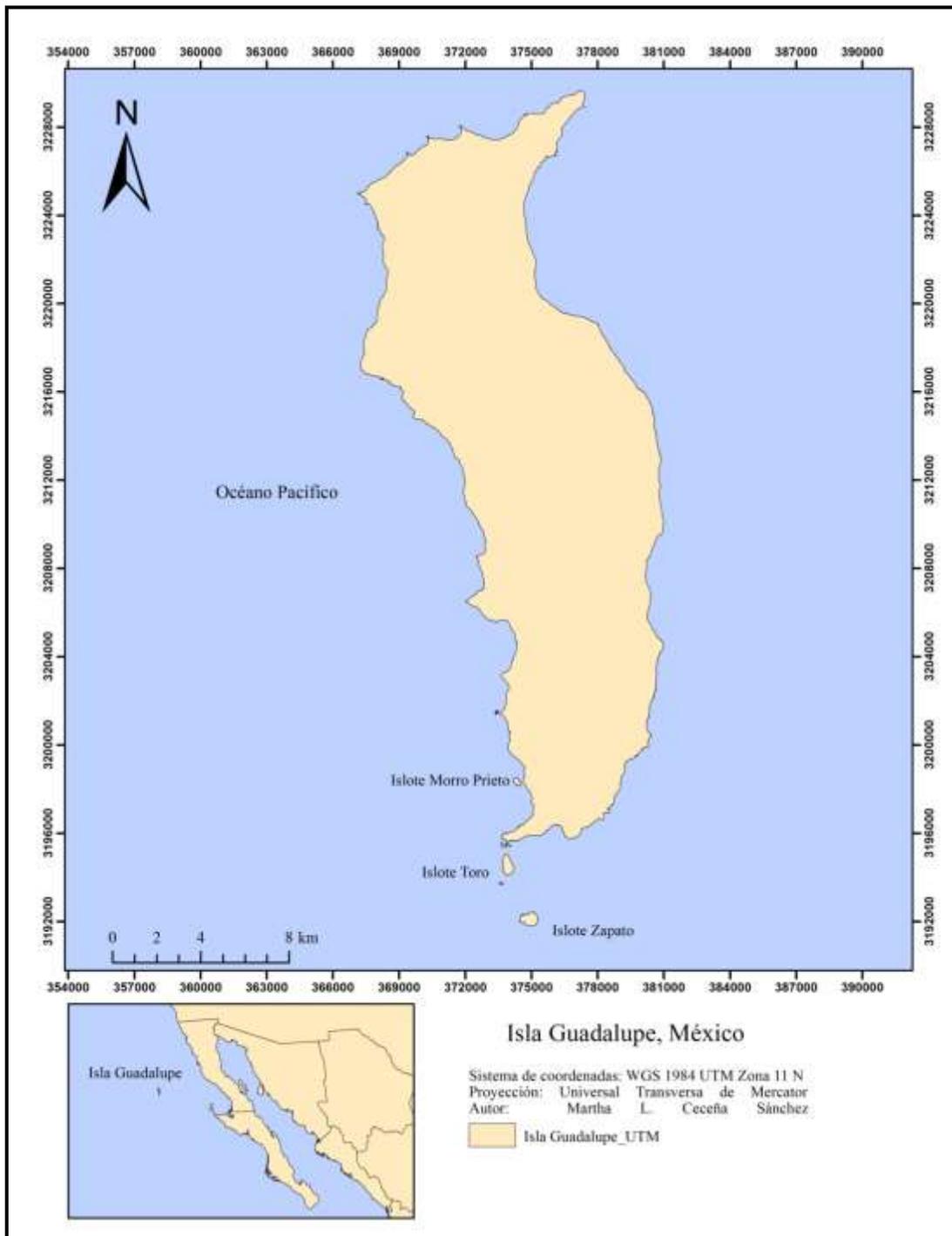


Figura1. Ubicación de la Isla Guadalupe, México.
Elaboración propia.

6.2 Adquisición y procesamiento de imágenes multispectrales

Se utilizaron dos imágenes multispectrales de alta resolución de los sensores satelitales 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 (Tabla 1). Las fechas de ambas imágenes corresponden a épocas en las que la vegetación es fenológicamente compatible y corresponde con el término de la temporada de lluvias.

Cada imagen consta de varias escenas, cuatro escenas del sensor QuickBird y veintisiete de WorldView-2, las cuales fueron sometidas a procesamiento para su corrección geométrica, ya que cuentan con un nivel de procesamiento medio. Se utilizó el sistema de coordenadas de referencia UTM Zona 11, Datum WGS84 y alineadas en el software QGIS 2.18.14 (QGIS. org, 2016) mediante puntos de control y obtenidos de dos ortofotos de 2.5 cm de resolución, las cuales fueron producto de un vuelo del dron eBee Sense Fly[®], procesadas en el software Pix4D Mapper (Pix4D, 2017) y posteriormente, se formaron los mosaicos.

Tabla 1. Características de los sensores QuickBird y WorldView 2 y las bandas situadas en distintas zonas del espectro electromagnético (DigitalGlobe, 2018).

QuickBird	WorldView 2		
Operador del Satélite	Digital Globe		
Fecha de imagen	04 de abril de 2004	13 de mayo de 2013	
Resolución espacial	Pancromática	Pancromática	
	60 cm	50 cm	
	Multiespectral 2.4 m.	Multiespectral 2.0 m.	
Resolución espectral	450-900 μm		
Pancromática			
Multiespectral			
Azul	450-520 μm	Azul	450-510
Verde	520-600 μm	Verde	510-580
Rojo	630-690 μm	Rojo	630-690
Infrarrojo	760-900 μm	NIR	770-895

6.3 Cobertura vegetal antes de la erradicación

Con la finalidad de contar con una clasificación de referencia del estado de la vegetación previo a la erradicación de la cabra y que sirviera para evaluar el año 2004, se tomó la clasificación y descripción de la cobertura vegetal propuesta por Oberbauer (2005), quien distingue seis clases de vegetación y el suelo desnudo: *bosque de pino, bosque de ciprés, palmar, pastizal, matorral desértico marítimo y matorral de la mesa de Guadalupe e islotes.*

El mapa base de referencia fue delimitado por Oberbauer (2005), mediante la información de las comunidades vegetales presentes, evaluados y caracterizados en el periodo 2000-2003. De manera que, a partir de un mapa impreso el cual se convirtió a formato imagen digital, se digitalizaron los segmentos sobre la imagen digital y se georreferenció a la Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum WGS84, Zona 11. Estos fueron transformados a vectores en el software ArcGis 10.3 donde se les asignó la categoría dada por el mencionado autor, así como un identificador (ID) y el área (ha). Posteriormente, se comparó la superficie de clases en los años 2004 y 2013, utilizándose las mismas clases para identificar los cambios en la cobertura de la vegetación posterior a la erradicación.

6.4 Clasificación de la cobertura

El proceso de clasificación con sensores remotos consta en ordenar los píxeles en números de clases basado en sus valores digitales; es decir si un pixel satisface un conjunto de características, morfológicas y estadísticas, este será asignado a una clase (Acosta-Ovalle, 2017) donde otros pixeles tienen características espectrales similares (Chuvieco, 1985). Para el procesamiento de las imágenes se utilizó el programa ERDAS Imagine 2014 (ERDAS, 2014), mediante compuestos de tres bandas en formato RGB en dos arreglos 3, 2 y 1 (RGB) en color natural y el uso del infrarrojo para la mejor identificación de las coberturas vegetales con el arreglo de bandas 4, 3, 2 (IR, R, G).

Con base en las características fisionómicas y biofísicas de las distintas superficies se logró identificar, caracterizar y describir la cobertura vegetal actual. En cuanto al proceso de clasificación de coberturas, se utilizó una combinación de técnicas para datos espaciales en

sistemas de información geográfica, de clasificación supervisada de la imagen WorldView 2 del 2013, y complementada con la interpretación visual, donde se incorporan datos espectrales y diferentes criterios que aparecen en la imagen con elementos y áreas de interés (Anselmo, 2019; Chuvieco, 2002). Estas se delimitaron con base en los criterios de interpretación como lo son, tono, color, textura y forma (Guerra-Peña, 2003).

6.4.1 Clasificación Supervisada

El proceso de clasificación supervisada parte del conocimiento previo de la zona de estudio, adquirido por experiencia de campo, lo que permitió delimitar e identificar por medio de polígonos sobre la imagen, regiones lo suficientemente representativas de cada una de las coberturas o clases que se pretenden generar, denominadas como áreas de entrenamiento (AE). El término indica que tales áreas sirven para entrenar al programa en el reconocimiento de las distintas categorías, a partir de ellas el programa calcula los Niveles Digitales (ND) que definen cada una de las clases, para luego asignar el resto de los píxeles de la imagen a una de esas categorías en función de sus ND (Chuvieco, 1995).

Las áreas se definieron a partir del conocimiento del terreno, información de campo y el mapa de referencia de Oberbauer. Esta fase es importante ya que varios autores han comprobado que los resultados de la clasificación están mucho más influidos por la definición previa de las categorías que por el criterio con el que éstas son posteriormente discriminadas (Chuvieco, 1995). Al respecto, se realizaron varias pruebas o intentos para establecer de manera automática el número de clases (10, 15 y 20 clases) en la imagen. No obstante, se optó por el proceso de clasificación supervisada, para ello se crearon 249 AE, así mismo fueron utilizadas como zonas de verificación, en el entendido de que se conocía con amplia certeza el tipo de vegetación.

El proceso se llevó a cabo con el software ERDAS Imagine 2014 (ERDAS, 2014) mediante la aplicación del algoritmo *Máxima verosimilitud* (Maximum Likelihood), es un método estadístico que asume normalidad en los valores de reflectividad para todas las bandas y clases; además evalúa la probabilidad de que un píxel con una respuesta espectral específica pueda pertenecer

a una clase y lo asigna a la clase con la mayor probabilidad de correspondencia (Chuvieco, 2006).

La clasificación de zonas perturbadas y con vegetación fragmentada representa un procedimiento en ocasiones complejo, a pesar de la alta resolución de la imagen WorldView 2; sin embargo, la sinergia de métodos y técnicas digitales facilitan el aumento en la precisión y confiabilidad de los resultados. Sumado a la interpretación visual, se apoyó de datos campo, conocimiento del terreno y fotografías de los sitios evaluados para obtener referencia espacial de la distribución de la vegetación. Además de considerarse el área mínima cartografiable (400 m) y una escala fija (1:5,000) que permite identificar elementos que definan una unidad de superficie y los criterios de Guerra-Peña (2003).

6.4.2 Evaluación de la clasificación (Matriz de confusión)

El método más frecuente para la evaluación de una clasificación es mediante una matriz de confusión, la cual es un arreglo que expresa el número de unidades de muestra asignados a una clase específica en una clasificación, con relación al número de unidades de muestra asignadas a la misma clase pero en otra clasificación (datos de referencia) (Berlanga y Ruíz, 2006).

La matriz de confusión, que se elaboró a partir de los resultados de la clasificación, se contrastó con un total de 579 puntos generados a partir del conocimiento experto en campo, lo que se apoyó con datos registrados durante 2013 y 2014 (Ceceña-Sánchez *et al.*, 2018). Por consiguiente, se evaluó la precisión del mapa resultante mediante el cálculo del índice de concordancia de Kappa (k), que determina la precisión total de la clasificación con la realidad observada en campo y la coincidencia con base en cada clase (Del Toro *et al.*, 2015; Berlanga y Ruíz, 2006).

La precisión total es estimada dividiendo la suma de los valores de la diagonal mayor de la matriz de confusión, que representan las unidades de muestreo correctamente clasificadas entre el número total de unidades muestreadas (Berlanga y Ruíz, 2006; Congalton y Green, 1999). Del mismo modo, se han calculado los errores de comisión, que se presentan cuando un área es incluida dentro de una clase a la que no pertenece y los errores de omisión, que ocurren

cuando se excluye un área de una clase cuando en realidad pertenecen a ella (Del Toro *et al.*, 2015; Berlanga y Ruíz, 2006); además de los valores de k de usuario y productor para cada clase.

6.4.3 Índice de Kappa

Una vez obtenida la matriz, se procedió a evaluar la precisión global y el índice de Kappa (k), una técnica discreta multivariada que determina estadísticamente si una matriz de confusión es significativamente diferente a otra. El índice de Kappa es una medida de la concordancia o precisión entre los datos de la clasificación y de referencia con relación a la exactitud de una clasificación generada al azar (Escandón-Calderón *et al.*, 2018, Berlanga y Ruíz, 2006, Congalton y Green, 1999). (Ecuación 1).

$$K' = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c} \quad (1)$$

Dónde:

K: es el índice de Kappa,

P_o: proporción de área correctamente clasificada (precisión global)

P_c: precisión resultante del azar

P_o: se obtiene sumando los elementos de la diagonal.

En cuanto a la interpretación del valor de k se considera la propuesta por Landis y Koch (1977), descrita a continuación:

Tabla 2. Escala de concordancia del índice de Kappa considera un rango de valores de -1.0 a 1.0.

Valor K'	Grado de acuerdo
<0.00	Pobre
0.01-0.20	Leve/Insignificante
0.21-0.40	Regular/Mediano
0.41-0.60	Moderado
0.61-0.80	Sustancial
0.81-1.00	Casi perfecto

Fuente: Traducción de Landis y Koch (1977).

6. 5 Verificación en campo (estructura y composición florística)

La verificación de la información consistió en realizar recorridos directos en campo durante las primaveras de 2016 a 2019, para validar en el mapa de referencia (Oberbauer, 2005), la presencia de lo interpretado, asociándolo a una o varias clases del mapa y esperando obtener nuevas clases. Lo anterior a partir del conocimiento de campo y datos registrados durante 2013 y 2014 (Ceceña-Sánchez *et al.*, 2018).

Los sitios fueron seleccionados con base en la delimitación de la cobertura del mapa de referencia, además de la vegetación perenne, homogénea, y representativa. En cada sitio (194) se realizaron inventarios mediante cuadrantes de 20 m x 30 m, donde se registró el porcentaje total 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 en grados, coordenadas UTM, fotografías, observaciones y listado florístico.

La nomenclatura de las especies es de acuerdo con Moran (1996), Rebman *et al.*, (2016), Tropicos.org (2021) y The Plant List (2021). El material botánico recolectado se identificó taxonómicamente y depositó en el Herbario BCMEX de la Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C., México. .

La información recopilada se transfirió a una hoja de cálculo en Excel para ser sintetizados y analizados en la clasificación de cobertura e índices de vegetación. Una vez realizado lo anterior y corroborados los datos en campo, se procedió a elaborar los mapas temáticos, los cuales dieron una perspectiva visual del cambio en el aumento de la cobertura en el tiempo evaluado para la vegetación de la isla.

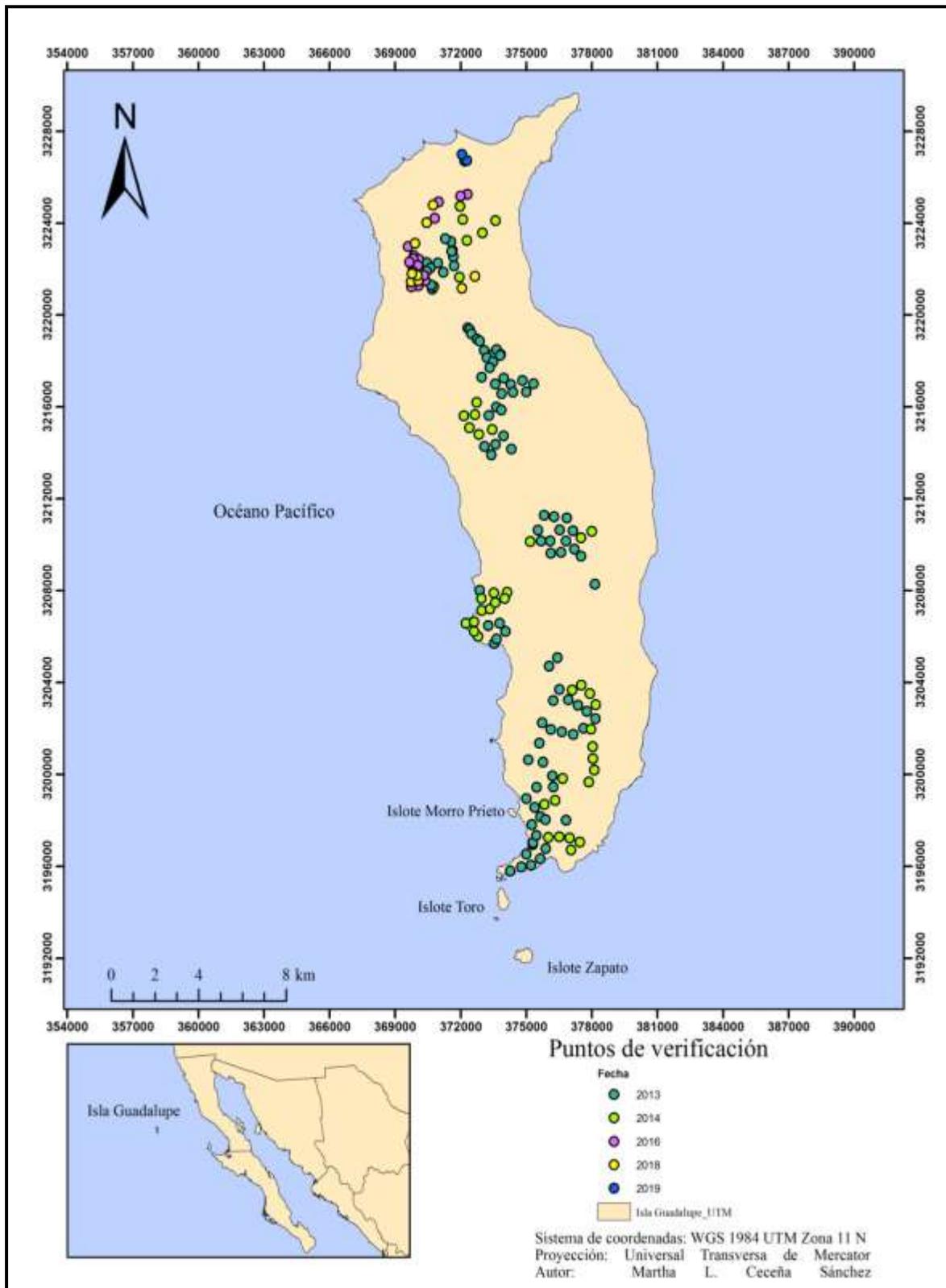


Figura 2. Sitios de verificación de coberturas vegetales.
 Elaboración propia.

6.6 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 banda 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 (2016) se cuantificó el porcentaje y la diferencia en la superficie cubierta por tipo de vegetación en el año 2004 (previo a la erradicación) y 2013 (posterior a la erradicación).

6.6.1 Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

Descrito por primera vez por Rouse *et al.* (1974) es el índice más utilizado debido a la sencillez en el cálculo y el rango de variación fijo (Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2000). Este rango 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 (Ecuación 2).

$$NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+R} \quad (2)$$

Dónde: *NIR*= reflectancia de la región del infrarrojo cercano (banda 4) y *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 (Gilabert *et al.*, 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% (Muñoz-Aguayo, 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 de 2004 y 2013.

6.6.2 Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)

Descrito por Huete (1988), este índice tiene la particularidad de reducir el efecto de la reflectancia del suelo, permitiendo separar las reflectancias específicas en casos donde los

pixeles 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 pixeles representativa de la cobertura del suelo desnudo. Todos aquellos pixeles desconocidos que tienen la misma relación en los valores de reflectancia de las bandas roja e infrarroja son categorizados como suelo desnudo (Gilabert *et al.*, 1997). Así, en la medida 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 (Gilabert *et al.*, 1997). Para mantener el mismo rango de variación que el NDVI, el resultado debe multiplicarse por 1 + *L*. (Huete, 1988). Este se calculó con la ecuación 3:

$$SAVI = \left[\frac{NIR-R}{NIR+R+L} \right] * (1 + L) \quad (3)$$

Dónde: *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.

6.7 Superficie cubierta y tasa de cambio de las comunidades vegetales en el periodo 2004-2013 con base en los índices de vegetación

Una vez calculados los índices, se procedió a realizar una reclasificación de los pixeles para eliminar valores iguales o menores a cero (Boone *et al.*, 2007). Cualquier valor negativo entre -1 y 0 fue clasificado como suelo o ausencia de cobertura vegetal (Rouse *et al.*, 1974; Ruiz-Durán *et al.*, 2017). De tal manera que, se utilizó el algoritmo *Reclassify values* de QGIS 2.18.14 (2016) (Menke *et al.*, 2016) para mostrar solo aquellos valores relacionados con la cobertura vegetal, valores superiores a 0.07 para NDVI y de 0.1 para SAVI corresponden al valor de umbral mínimo para vegetación. El análisis espacial y el cálculo del porcentaje de superficie cubierta por cada comunidad vegetal se realizaron para identificar y cuantificar los pixeles pertenecientes a cada una de ellas y poder estimar la tasa de cambio entre 2004 y 2013. Los valores medios para los pixeles calculados a partir de los índices de vegetación contienen información de varios tipos de coberturas en un mismo pixel. En este caso solo se indicó la presencia o ausencia de cobertura vegetal, pero sin diferenciarla. De manera que, para hacer una diferenciación entre distintos

tipos de comunidades, se calcularon 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 (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 (2016) para ambos años (Muñoz-Reja, 2018). Esto permitió extraer el número de píxeles de un ráster utilizando polígonos y determinar sus estadísticas en función a un valor de límite de rango 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 (Ecuación 4).

$$\text{Área} = (\text{Pixel X} * \text{Tamaño Pixel Y} * \text{Count}) \quad (4)$$

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) (Ecuación 5).

$$r = 1 - \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_1}\right)^{1/t} \quad (5)$$

Dónde: r = tasa anual de cambio; A_1 = superficie al inicio del periodo; A_2 = superficie al final del período y t = diferencia de años entre las dos fechas.

6.8 Análisis estadístico

Para evaluar diferencias significativas en 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 $\alpha = 0.10$.

7. RESULTADOS

7.1 Fuentes de información y procesamiento

7.1.1 Mapa base de análisis y la cobertura vegetal antes y después de la erradicación

Se obtuvo como producto cartográfico digital un mapa de referencia (base) de las principales comunidades vegetales, previo a la erradicación, y modificado de Oberbauer (2005); este mapa (Fig. 3) consta de siete polígonos (vectores) (Fig. 3). La tabla 3, muestra la comparación de las coberturas utilizando las clases de referencia para los años 2004 y 2013 para expresar la distribución espacial del cambio de la vegetación.

7.1.2 Cobertura vegetal en 2004

En mapa de 2004 (Fig. 3) muestra el estado precario de la vegetación ante la presencia de la cabra, siendo el *pastizal* la clase predominante con una superficie de 12,562 ha y con una distribución principal al centro de la isla. La segunda clase, *suelo desnudo* se identificó con la extensión de 7,611 ha. El caso del *bosque de pino*, *ciprés* y el *palmar* se observan como parches remanentes aislados en el norte con superficies reducidas de 115 ha, 134 ha y 80 ha respectivamente. En cambio, los matorrales *desértico marítimo* y *mesa de Guadalupe e islotes*, se presentan como comunidades en el sur de la isla con coberturas homogéneas y continuas, y superficie de 2,000 ha.

7.1.3 Cobertura vegetal en 2013

De acuerdo con el mapa de 2013 (Fig. 4) correspondiente al periodo posterior a la erradicación, se observa al *pastizal* con una superficie de 7,385 ha y una consecuente disminución del *suelo desnudo* a 1,662.04 ha. En cuanto a los bosques, se observa un incremento en la cobertura del *bosque de ciprés* y *palmar* de 55 ha y 61 ha, en contraste con su estimación para 2004, así como 42 ha del *bosque de pino*. En el caso de los matorrales del sur su cobertura se incrementó, en particular el matorral desértico marítimo.

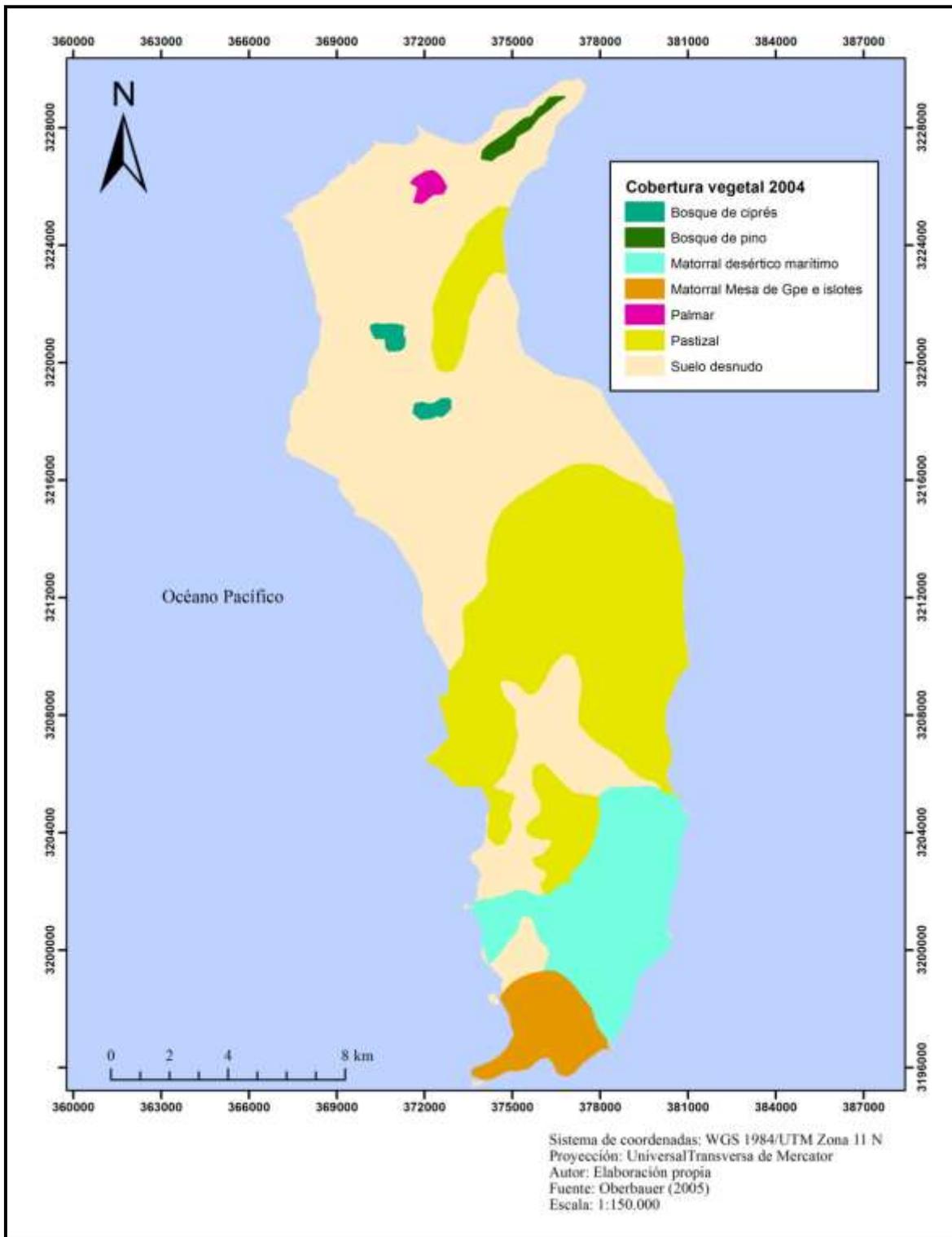


Figura 3. Mapa base de análisis. Distribución de las principales coberturas vegetales y suelo de Isla Guadalupe antes de la erradicación en el año 2004.

Fuente: Elaboración propia. Modificado de Oberbauer (2005).

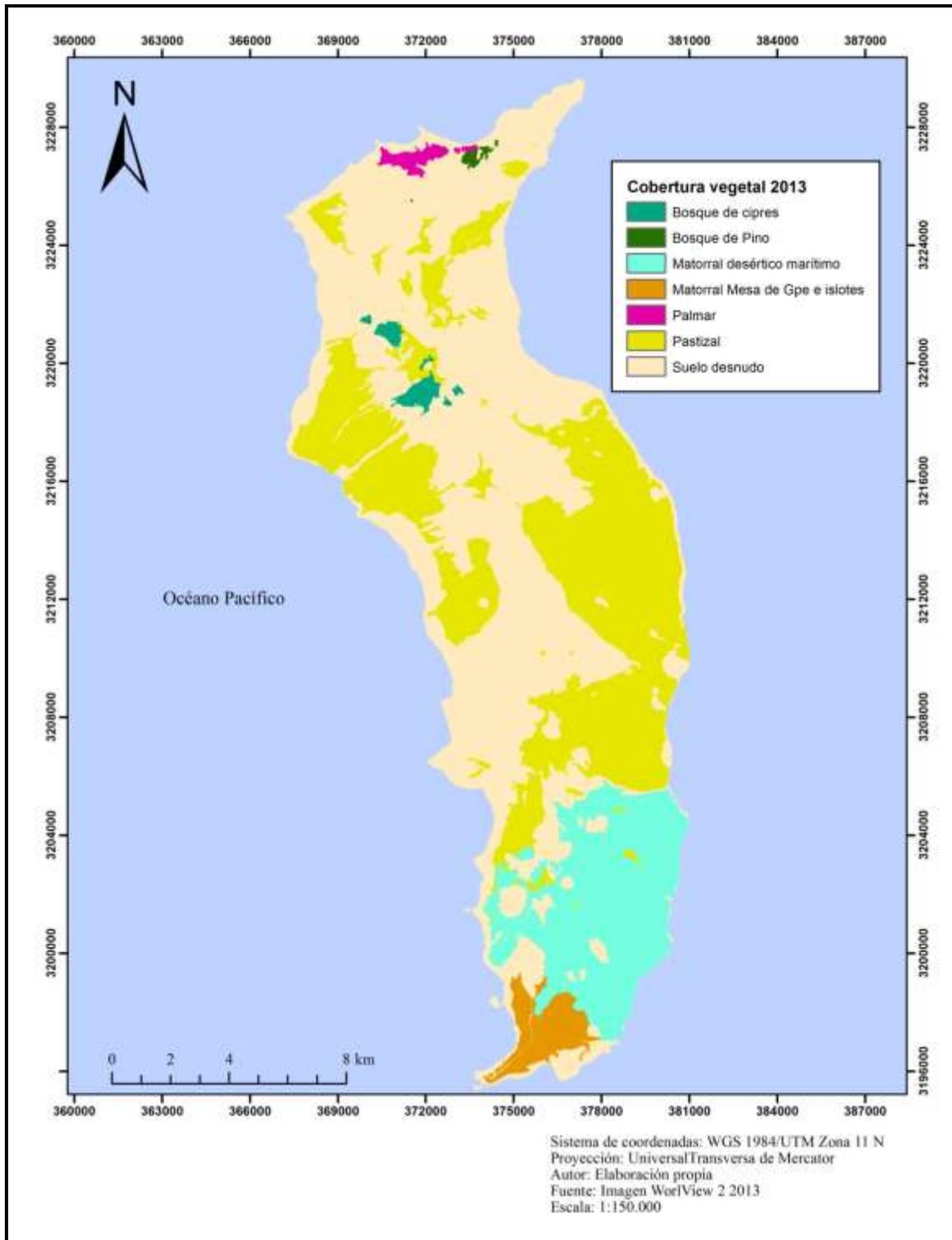


Figura 4. Cobertura vegetal y suelo de Isla Guadalupe después de la erradicación en el año 2013. Fuente: Elaboración propia. Clasificación de WorldView2 (2013).

7.1.4 Cobertura vegetal recuperada

En la figura 5, se muestra la cobertura recuperada durante los nueve años posteriores a la erradicación (2013). A partir de la porción central hacia el norte de la isla, se observan los cambios más notables, donde la cobertura recuperada está representada por *matorral* endémico de sufrutescentes y arbustos, con una superficie de 6,246.63 ha. Igualmente, se identificó un segundo tipo de cobertura, *pastizal-matorral* con una superficie de 2, 833.69 ha, con una mezcla de especies subarbusivas nativas, además de herbáceas nativas y exóticas.

La respuesta de la vegetación se representa en áreas en donde la cobertura vegetal fue inexistente o escasa para poder ser representada en un mapa, debido al sobrepastoreo, así como sitios en donde dominaban los pastos y otras herbáceas, en su mayoría exóticas.

Tabla 3. Número de hectáreas de la cobertura vegetal y suelo para Isla Guadalupe en 2004 y la cobertura recuperada para 2013.

Clase	2004	2013
Bosque de Pino	115.00	42.06
Bosque de ciprés	134.00	189.37
Palmar	80.00	141.76
Pastizal	12,562	7,385.00
Matorral desértico marítimo	1,200.00	3,258.52
Matorral Mesa de Gpe e islotes	800.00	556.47
Suelo desnudo	7,611.00	1,662.04
Matorral	-	6, 246.63
Pastizal-matorral/Pastizal con subarbusvos	-	2, 833.69

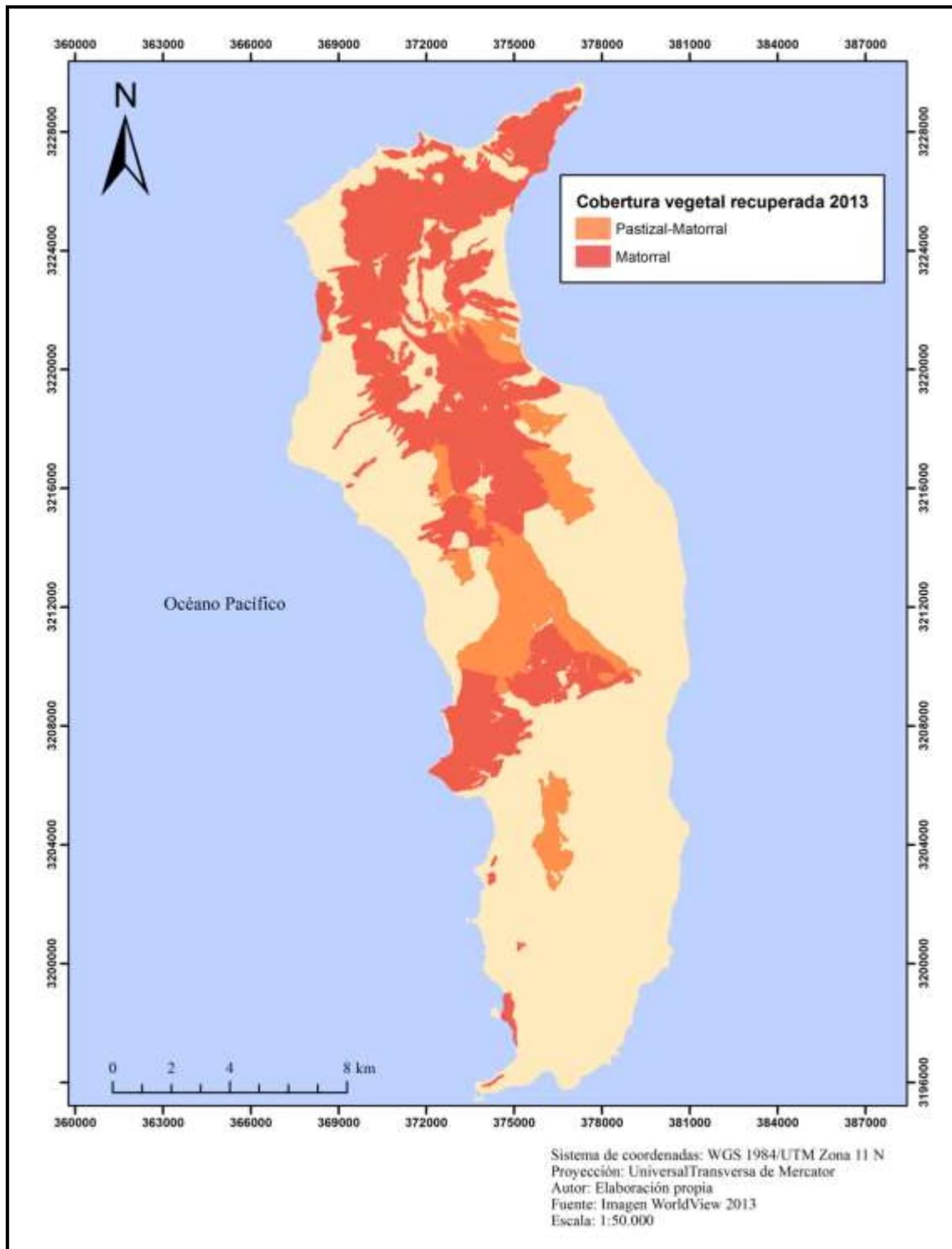


Figura 5. Cobertura vegetal recuperada y suelo después de la erradicación (2013).
 Fuente: Elaboración propia. Clasificación de WorldView2 (2013).

7.2 Clasificación de coberturas

7.2.1 Clasificación supervisada

La clasificación de coberturas permitió definir dieciocho clases (Tabla 4), donde trece son vegetales y cinco corresponden a otro tipo de cobertura. La nomenclatura de la cobertura fue asignada con base en la dominancia de las especies, las clases *arroyo*, *camino* e *islote Morro Prieto*, no serán descritas a fondo. Sin embargo, fueron caracterizadas debido a su distinción espectral. Además, se calculó la superficie (ha) ocupada para cada tipo de cobertura clasificada.

Los resultados indican que la cobertura vegetal con mayor superficie ocupada fue pastizal inducido con el 30.9% (7,385 ha) con respecto al área total evaluada y el matorral norte con 14.39% (3,434 ha). Posteriormente, el matorral desértico marítimo (*Ambrosia-Atriplex*) con un área del 13.65% (3,259 ha) y el pastizal inducido con subarbustos con el 11.87% (2,834 ha). Otra clase identificada fueron: comunidades de acantilados con un área del 4.29% (1,023 ha); con menos del 1%, bosques de ciprés (189 ha), pino (42 ha), y el palmar (142 ha). La superficie de cobertura vegetal total estimada para el año 2013 fue del 84% (20, 534.90 ha), con respecto al total de la isla, donde el 51% (10,218.69 ha) corresponde a vegetación nativa.

Tabla 4. Clases de coberturas de vegetación definidas para Isla Guadalupe.

Formación	Clases	Superficie(ha)
Bosques	Bosque de pino	42.06
	Bosque de ciprés	189.37
	Palmar	141.76
Matorrales	Matorral norte	3, 434.94
	Matorral de <i>Atriplex-Sphaeralcea</i>	717.37
	Matorral desértico marítimo (<i>Ambrosia-Atriplex</i>)	3, 258.52
	Matorral de Mesa de Guadalupe e islotes	556.47
	Comunidades de acantilados	1, 023.32
	Mosaico de vegetación secundaria	574.40
Pastizal	Pastizal inducido	7,385.00
	Pastizal inducido con subarbustos	2, 833.69
Otras coberturas	Áreas de vegetación escasa	1, 266.6
	Áreas sin vegetación aparente	395.44
	Asentamientos humanos	39.22
	Roca	2, 112.83

7.3 Evaluación de la clasificación (Matriz de confusión)

En la Tabla 5 se muestra la matriz de confusión de la clasificación de la imagen WorldView 2 del 2013 para la cual se calculó la precisión global del 93.74% (Tabla 6), la cual fue validada con los puntos tomados en campo en donde se obtuvo el coeficiente de Kappa (k') del 0.9310%, lo que indicó que los resultados obtenidos en este estudio (Tabla 7) corresponden con una concordancia elevada, denominada de acuerdo con la escala de Landis y Koch (1977) una clasificación casi perfecta. Del mismo modo, se obtuvieron valores de precisión del productor (error de comisión) y del usuario (error de omisión) para las clases individuales, y su valor de k' respectivamente, con un registro de valores que van de sustanciales a casi perfectos (Landis y Koch, 1977).

Las clases que presentaron los valores máximos de precisión fueron *pastizal inducido*, *pastizal inducido con subarbustos*, *matorral Mesa de Gpe e islotes*, *palmar* y el *bosque de ciprés*. En cuanto a la precisión del productor, se presentó variación del 81.3% para el bosque de pino y *matorral Atriplex-Sphaeralcea* con el 86.7%. Comparativamente la precisión del usuario de la clase *matorral norte* y *comunidades de acantilados* resultaron ser las clases que presentaron los valores de k' más bajos y se mostraron con mayor imprecisión al momento de la clasificación, con el 79.6% y el 88.9% respectivamente, a pesar de contar con un considerable número de puntos de control o verificación los pixeles de estas clases fueron clasificados incorrectamente como una clase conocida cuando deberían haberse clasificado como algo diferente.

La clase de áreas de *vegetación escasa*, mostró solapamiento con otras clases, pero sus valores de precisión fueron de 100% para productor y de 92.4% para el usuario. Al igual que la clase de *mosaico de vegetación secundaria* con el *bosque de ciprés*.

En una primera clasificación la precisión para las clases *bosque de pino* y *matorral norte* resultaron moderados (Landis y Koch, 1977), a pesar del suficiente número de muestras para obtener resultados certeros, pero la resolución espacial no fue completamente correspondiente. Por lo que, se revisaron dichas clases y se encontró que algunos puntos de control estaban clasificados dentro de la clase *matorral norte*, además se omitieron unos polígonos de la cobertura de pino. La precisión para ambas coberturas, *bosque de pino* con

81.3% de precisión del productor y 100% del usuario, y *matorral norte* con 91.8% y 79.6% respectivamente, los valores de la concordancia siguen siendo los más bajos para estas coberturas. La clasificación permitió analizar y cuantificar el estado de las comunidades, además de delimitar cartográficamente de manera fina y precisa a la cobertura vegetal. De manera que el mapa de coberturas (Fig.6) es una aproximación de alta confiabilidad a las condiciones reales en campo.

Tabla 5. Matriz de confusión para la clasificación supervisada en comparación con los datos de campo para la imagen WorldView 2 (13 de mayo de 2013).

		Datos de referencia																		Total renglones
Datos clasificados		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Clase																				
1	Arroyo	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
2	Asentamientos humanos	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
3	Bosque de ciprés	0	0	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34
4	Bosque de pino	0	0	0	78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	78
5	Camino	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
6	Pastizal inducido	0	0	0	0	0	36	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	38
7	Pastizal inducido con subarbustos	0	0	0	0	0	1	55	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	59
8	Islote Morro Prieto	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
9	Matorral desértico marítimo	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	1	0	0	0	0	0	0	23
10	Matorral <i>Atriplex-Sphaeralcea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	1	0	0	0	0	0	0	0	14
11	Matorral norte	0	0	0	18	0	0	1	0	0	1	78	0	0	0	0	0	0	0	98
12	Matorral Mesa de Gpe e islotes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	23
13	Mosaico de vegetación secundaria	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	42
14	Palmar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	16
15	Roca	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	0	0	0	35
16	Áreas sin vegetación aparente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	6
17	Comunidades de acantilados	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	8	0	9
18	Áreas con vegetación escasa	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	3	0	0	0	0	0	0	61	66
Total columna		7	10	36	96	15	37	57	2	24	15	85	24	40	17	35	6	8	61	575

Tabla 6. Precisión de clasificación general de cobertura de 93.7%

ID	Clase	Referencia	Clasificados	Números	Productores	Usuarios
		Total	Total	correctos	Precisión	Precisión
1	Arroyo	7	7	7	100%	100%
2	Asentamientos humanos	10	10	10	100%	100%
3	Bosque de ciprés	36	34	34	94.4%	100%
4	Bosque de pino	96	78	78	81.3%	100%
5	Camino	15	15	15	100%	100%
6	Pastizal inducido	37	38	36	97.3%	94.7%
7	Pastizal inducido con subarbustos	57	59	55	96.5%	93.2%
8	Islote Morro Prieto	2	2	2	100%	100%
9	Matorral desértico marítimo (<i>Ambrosia-Atriplex</i>)	24	23	22	91.7%	95.7%
10	Matorral <i>Atriplex-Sphaeralcea</i>	15	14	13	86.7%	92.9%
11	Matorral norte	85	98	78	91.8%	79.6%
12	Matorral Mesa de Gpe e islotes	24	23	23	95.8%	100%
13	Mosaico de vegetación secundaria	40	42	40	100%	95.2%
14	Palmar	17	16	16	94.1%	100.0%
15	Roca	35	35	35	100%	100%
16	Áreas sin vegetación aparente	6	6	6	100%	100%
17	Comunidades de acantilados	8	9	8	100%	88.9%
18	Áreas con vegetación escasa	61	66	61	100%	92.4%
Total		575	575	539		

Nota¹. Las coberturas 1, 7 y 11 no fueron consideradas para la descripción.

Tabla 7. Índice de Kappa general 0.93% y para cada clase de cobertura se describen a continuación

ID	Clase	Kappa (k^Λ)
1	Arroyo	1
2	Asentamientos humanos	1
3	Bosque de ciprés	1
4	Bosque de pino	1
5	Camino	1
6	Pastizal inducido	0.94
7	Pastizal inducido con subarbustos	0.92
8	Islote Morro Prieto	1
9	Matorral desértico marítimo (<i>Ambrosia-Atriplex</i>)	0.95
10	Matorral <i>Atriplex-Sphaeralcea</i>	0.93
11	Matorral norte	0.76
12	Matorral Mesa de Gpe e islotes	1
13	Mosaico de vegetación secundaria	0.95
14	Palmar	1
15	Roca	1
16	Áreas sin vegetación aparente	1
17	Comunidades de acantilados	0.89
18	Áreas con vegetación escasa	0.92

Nota¹. Las coberturas 1, 7 y 11 no fueron consideradas para la descripción.

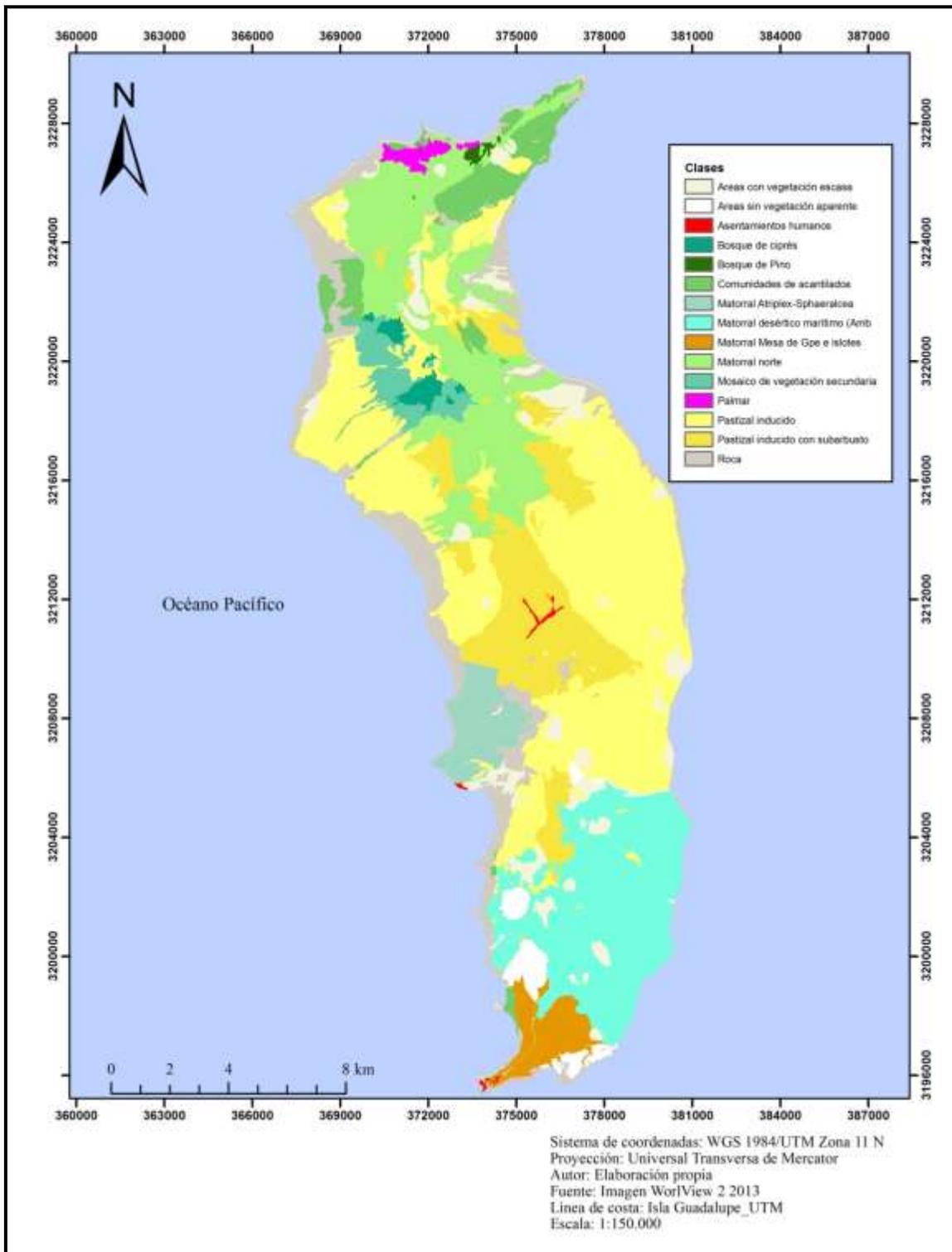


Figura 6. Mapa de cobertura de la vegetación y suelo en Isla Guadalupe, México.

Fuente: Elaboración propia a partir de clasificación supervisada de imagen WorldView 2 (2013).

7.4 Evaluación de sitios de verificación

La evaluación de la cobertura de vegetación en campo, permitió verificar la coincidencia, con el mapa de referencia, de las comunidades vegetales en la mayoría de los sitios. La excepción fue el *bosque de pino y palmar*, ya que la delimitación de dichas comunidades no fueron 100% coincidentes con la distribución real, incluyendo un desfase en la distribución de los polígonos. El polígono de *bosque de pino* verificado consta de árboles solitarios y mayormente del subarbusto endémico, *Deinandra frutescens*, una cobertura no identificada en el 2004, en contraste con la del año 2013. El bosque de pino se distribuye en cinco parches más al noroeste y árboles solitarios en la cordillera.

En el caso del *palmar* se encontró que la cobertura y superficie no fueron correspondientes a lo anteriormente caracterizado y delimitado en la isla por Oberbauer (2005), de manera que la cobertura encontrada en la zona de referencia pertenece a subarbustos. Además, se observó en campo que la superficie del palmar es superior a lo delimitado en el 2004. En cuanto al aparente error de delimitación, se atribuye a la extrapolación de los datos de precipitación y elevación utilizados para caracterizar la distribución de las comunidades vegetales en el mapa de referencia.

Se identificó incremento en la abundancia de la cobertura arbustiva y subarbustiva en el norte, entre los *bosques de ciprés y pino*. Igualmente, el matorral dominado por vegetación de tipo sufrutescente, donde *Sphaeralcea sulphurea* y *Perityle incana* forman una asociación vegetal la cual se distribuye desde los 600 m a los 1280 m y con una distribución al sureste entre el parche sur de ciprés, y al centro de la isla la asociación de *Sphaeralcea* y *Lupinus niveus*. Los matorrales del sur fueron coincidentes con la información de referencia del 2004.

7.4.1 Estructura y composición florística de las comunidades vegetales

Con base en los 194 inventarios, se identificaron un total de 103 taxa, 49 nativos, de los cuales 30 son endémicos y 24 exóticos (Anexo A). En total se registraron 77 géneros, correspondientes a 41 familias, donde las mejor representadas son: Asteraceae (22), Boraginaceae (8) y Fabaceae (8).

Las comunidades del norte, el *matorral norte* es la cobertura vegetal con más especies registradas (18), seguida del *bosque de pino, palmar y matorral mesa de Guadalupe e islotes* con 14 especies, en contraste con cobertura del *pastizal inducido* con 10 especies (Anexo B).

Las especies más abundantes en los inventarios son: *Sphaeralcea sulphurea* (45.8%), *Atriplex barclayana* (25.7%), *Hesperocyparis guadalupensis* (22.16%), *Lycium californicum* (17.53%) *Perityle incana* (19.5%) y *Ambrosia camphorata* (17%). Por el contrario, las especies con menos del 2%: *Hazardia cana*, *Malva occidentalis*, *Gambelia speciosa*, *Triteleia guadalupensis*, *Malosma laurina*, *Phacelia phyllomanica*, *Suaeda taxifolia* y *Baeriopsis guadalupensis*.

Se hace notar el redescubrimiento de un individuo de *Arctostaphylos* (Ericaceae), especie que considerada extirpada desde 1885; del mismo modo, un nuevo registro de *Encelia farinosa* (Asteraceae), ambos se encuentran en proceso para su descripción taxonómica. Las especies *Dudleya guadalupensis* (Crassulaceae) y *Leptosyne gigantea* (Asteraceae), fueron observadas en el matorral de la mesa de Guadalupe e islotes en el extremo sur de la isla principal; estas especies estaban delimitada a los islotes.

7.5 Descripción de la cobertura vegetal

7.5.1 Bosques

7.5.1.1 Bosque de ciprés

Comunidad arbórea de *Hesperocyparis guadalupensis*, se distribuye en dos parches principales con una superficie de 189.32 ha, ubicados en el rango de elevación de 1,100 m a los 1,215 m (Fig. 7 y 8). De acuerdo con 40 inventarios realizados, 15 especies se encuentran asociadas a este tipo de vegetación (Anexo A y B). Los porcentajes de cobertura registrados en los inventarios oscilaron entre el 30% y 80%.

En el estrato herbáceo es posible observar a *Acmispon grandiflora*, *Dipterostemon capitatus*, *Pterostegia drymarioides*, *Claytonia perfoliata*, *Claytonia perfoliata* subsp. *mexicana* y *Calystegia macrostegia* subsp. *macrostegia*. Los subarbustos acompañantes son: *Sphaeralcea sulphurea*, *Senecio palmeri*, *Solanum cockleyi* [= *S. wallaceii* v. c.], *Lupinus niveus*, *Phacelia*

phyllomanica; y en el estrato arbustivo, *Ceanothus* cf. *greggii* var. *perplexans* y *C. arboreus* y *Hazardia cana*.

En la imagen (Fig. 9 y 10) se aprecia la cobertura del bosque maduro con la textura heterogénea media a gruesa con tonos y colores rojizos oscuros, en contraste con la vegetación de las zonas en recuperación con tonos rosados a rojizo claros y diferente textura y forma.



Figura 7. Vista real del bosque de ciprés sur.
Fuente: Archivo GECl/J.A. Soriano (2018).



Figura 8. Parche de bosque de ciprés centro.
Fuente: Archivo GECl/J.A. Soriano (2018).



Figura 9. Parche sur de bosque de ciprés, es apreciable la erosión causada por la falta de cobertura durante la permanencia de la cabra. Composición 4, 3, 2 (IR, R, G), escala (1: 5000). Fuente: Imagen WorldView 2 (2013).

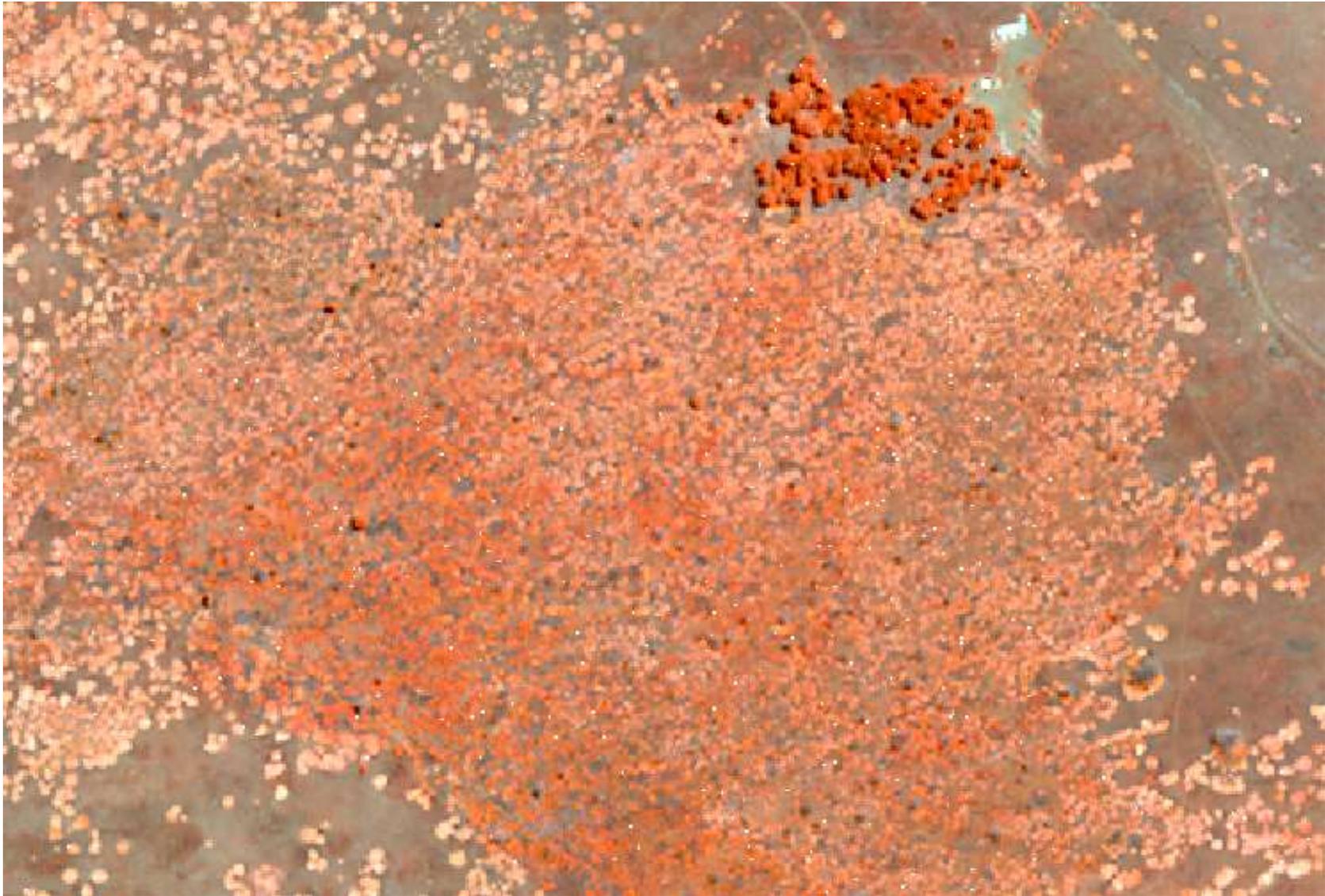


Figura 10. Parche de bosque de ciprés centro. Composición 4, 3, 2 (IR, R, G), escala (1: 5000).
Fuente: Imagen WorldView 2 (2013).

7.5.1.2 Bosque de pino

Comunidad caracterizada por elementos arbóreos de la especie *Pinus radiata*, se ubica al noroeste en el rango altitud entre los 580 y 1,170 m. Se distribuye en cinco parches homogéneos que en conjunto comprenden un área cubierta de 42 ha. Al noroeste de la isla, laderas y cañones, se caracteriza por la presencia de comunidades de pino y encino insular (*Quercus tomentella*), y en elevaciones bajas (630 m) con *Brahea edulis* (Fig.11).

Dentro de los rodales, se observó la presencia de las especies *Polypodium scolulteri*, *P. californicum*, *Triodanis biflora*, *Dipterostemon capitatus* y *C. macrostegia* subsp. *macrostegia*, y en la periferia es común observar a *C. arboreous*, *L. niveus*, *Pseudognaphalium* sp., *P. stramineum*, *P. biolettii* y *Deinandra frutescens*, esta última es abundante en el extremo norteño de la cordillera (Anexo A y B).

En la imagen satelital (Fig. 12 y 13) se distingue cobertura homogénea de los parches de pinos maduros con tonos rojizos oscuros y los renuevos en rojo claro a intenso en la composición en falso color 4, 3, 2 (IR, R, G). Se observa textura de media a gruesa con parches de forma irregular delimitados a la parte noroeste.



Figura 11. Bosque de pino (*Pinus radiata*).
Fuente: Archivo GECI/J.A. Soriano (2018).

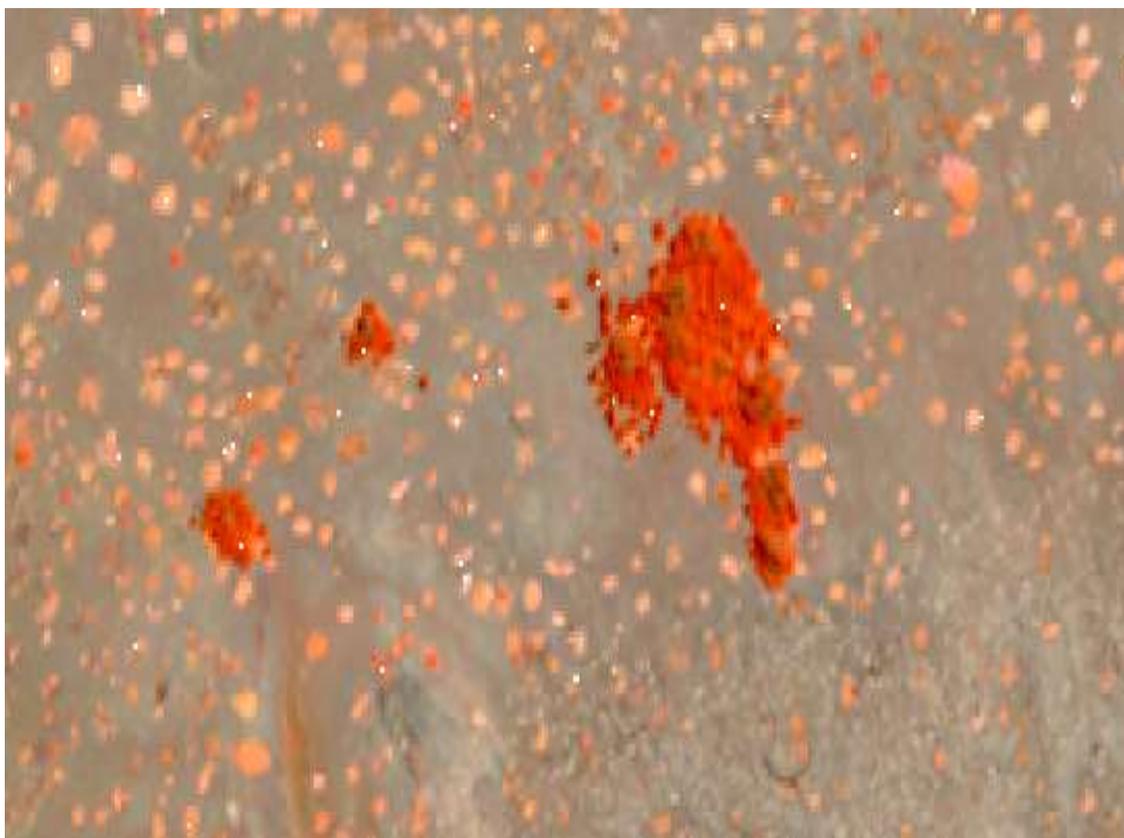


Figura 12. Parche denso de bosque, composición 4, 3, 2 (IR, R, G) escala (1: 5000).
Fuente: Imagen WorldView 2 (2013).

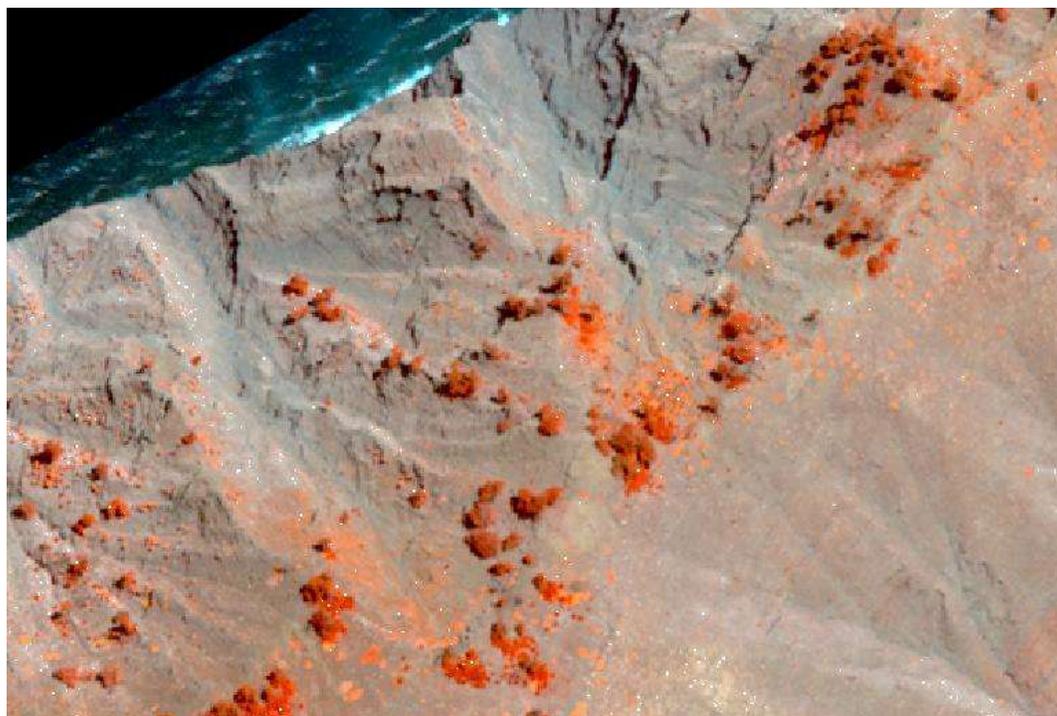


Figura 13. Comunidades de pino con algunos encinos. Composición 4, 3, 2 (IR, R, G), escala (1: 5000).
Fuente: Imagen WorldView 2 (2013).



Figura 14. Comunidad de pino al noroeste de Isla Guadalupe.
Fuente: Archivo GECI/J.A. Soriano (2011).



Figura 15. Vista de las comunidad de pino al noroeste de la isla.
Fuente: Archivo GECI/J.A. Soriano (2018).

7.5.1.3 Palmar

Comunidad representada por *Brahea edulis*, se encuentra formando grupos de palmares distribuidos en varios cañones de la isla desde los 500 a los 880 m, por lo general, se ubican en zonas de escurrimientos donde el agua es permeable. Los rodales principales se ubican al suroeste y al noroeste, siendo éste el más extenso con una extensión calculada de 141.76 ha. Los palmares son abiertos y están acompañados con especies sufrutescentes, al norte se encuentra mezclado con encino y pino (Fig. 16a). De acuerdo con los inventarios el porcentaje de cobertura registrados en osciló entre el 25 % y el 90% de la superficie cubierta por este tipo de vegetación.

Las especies acompañantes más abundantes son: *P. incana* y *S. sulphurea*; además de *D. frutescens*, *S. palmeri*, *Pseudognaphalium* sp., *Triteleia guadalupensis*, *D. capitatum*. Así mismo, *C. macrostegia* subsp. *macrostegia* se encuentra presente en zonas rocosas formando parches extensos de hasta 50% de cobertura en los sitios de muestreo. Otras especies identificadas al sur en la comunidad (Fig. 16b), *Atriplex barclayana*, *Ambrosia camphorata*, *Cryptanta foliosa*, *Solanum americanum*, *Bromus rubens*, *Trifolium macrocephalum*, *T. palmeri*, *Pterostegia drymarioides* y *Pholistoma racemosum*.

En la imagen satelital (Fig.17) se distingue cobertura heterogénea del palmar con tonos rojizos intensos y los renuevos en rojo claro a intenso en la composición en falso color 4, 3, 2 (IR, R, G). Se observa textura de media a gruesa con parches de forma irregular, los parches planos que van del rojo al naranja corresponden a herbáceas, así como de subarbustos en tonos rosados claros.



Figura 16. a) Palmar norte de *Brahes edulis*. (izq.) y b) palmar sur (derecha).
Fuente: Archivo GECI/J.A. Soriano (2018).

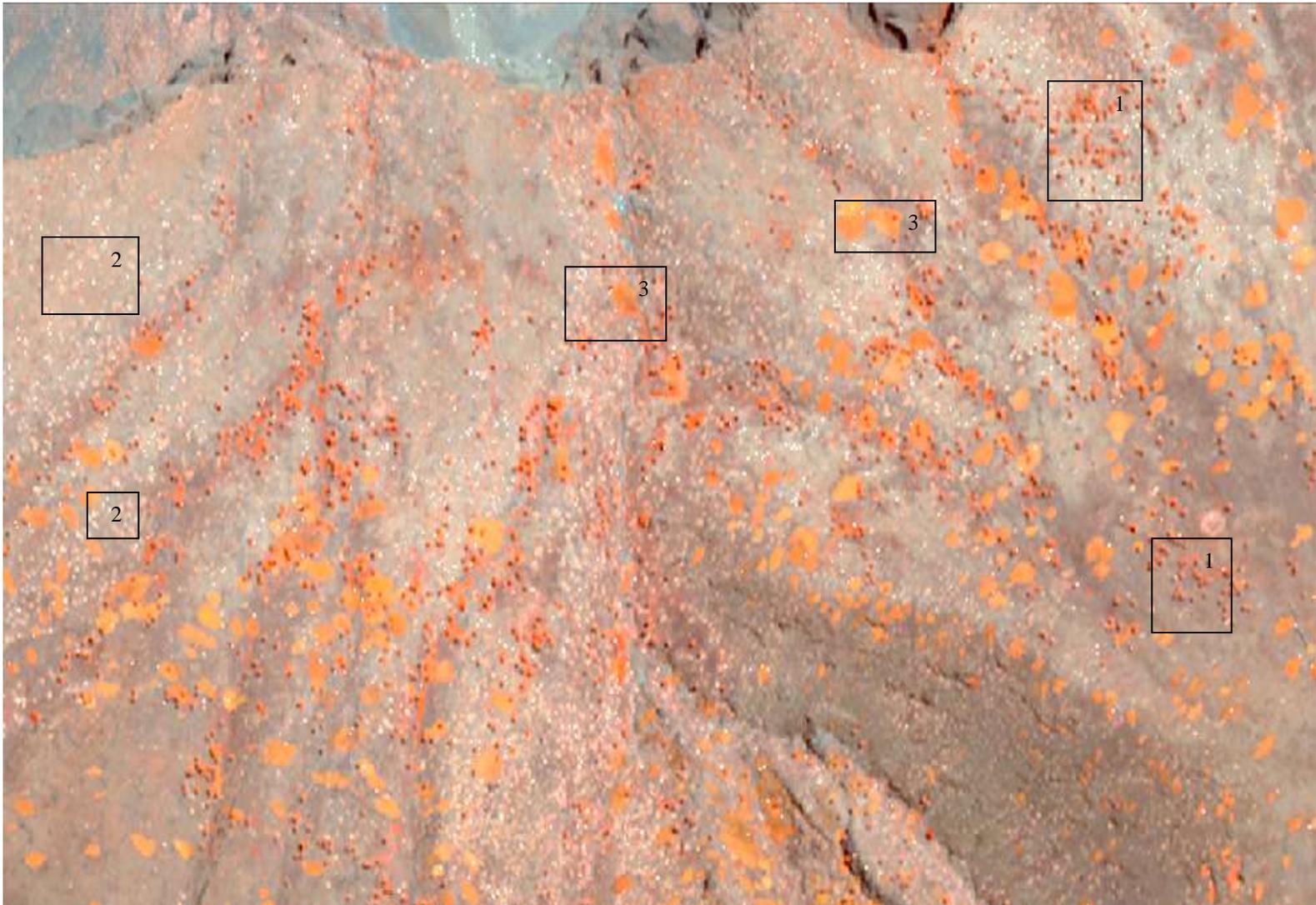


Figura 17. (1) Distribución del palmar norte, (2) recuperación de subarbustos y (3) parches de herbáceas, con abundancia de *Calystegia macrostegia* subsp. *macrostegia*. Composición 4, 3, 2 (IR, R, G), escala (1: 5000).

Fuente: Imagen WorldView 2 (2013).

7.5.1.4 Matorral norte

Tipo de cobertura con una distribución principal en el norte de la isla, está constituida de comunidades de especies nativas similares al noroeste de Baja California y sur de California, incluye herbáceas, sufrutescentes y arbustivas, y colonizando post erradicación (Fig. 18 a y b). Se distribuyen desde el extremo norte hasta el sur del bosque de ciprés, en el rango de altitud entre los 680 y 1,200 m, con una superficie de 3,433.94 ha.

7.5.1.4.1 *Deinandra frutescens*

La comunidad de *Deinandra frutescens* se registró con distribución en el extremo sobre la cordillera (Fig. 19), en los acantilados y bordeando los rodales de pino con una superficie calculada de 97.19 ha y coberturas superiores al 60%. En la imagen satelital (Fig. 20) se puede observar formando una cobertura homogénea con textura media, de tono y color rojizos y de anaranjado intenso.

7.5.1.4.2 *Sphaeralcea sulphurea*

Matorral dominado especies endémica, de tipo sufrutescente, se distribuye entre los 900 msnm y 1,200 msnm de altitud, en las laderas rocosas, acantilados y zonas inaccesibles. *S. sulphurea* se le observa como una especie con abundancia del 79%, se encuentra desde la parte media al extremo norte y particularmente dominante al este y sur del bosque de ciprés. Actualmente se encuentra formando asociación vegetal con *Perityle incana* y *Lupinus niveus* (Fig. 21, 22 y 23).

Otra especie abundante en el rango de altitud de 550 m y 1,148 m, altitud es *Calystegia macrostegia* subsp. *macrostegia*, enredadera perenne nativa con distribución principalmente en la zona norte de la isla con una superficie estimada que cubre al menos 142.73 ha, aunque esta es mayor, ya que no se pudo caracterizar su extensión completa, pues su forma de crecimiento le permite obtener crecer sobre rocas y en zonas con poca cobertura arbustiva; asimismo en la periferia del bosque de ciprés y particularmente en la zona quemada, se presentó con cobertura de hasta el 80% en los cuadrantes muestreados.

En la imagen (Fig. 24) se observa con textura heterogénea media de forma irregular, con tonos que van de rosado pálidos a intensos y violáceos, dada por la presencia de arbustos y

subarbustos. En la imagen *C. macrostegia* subsp. *macrostegia* se aprecia (Fig. 26) con textura media, manchones de formas irregulares y planos, los cuales corresponden a plantas postradas de color rosado-rojizo intenso, abundantes.

Las especies acompañantes en estas comunidades son: *Gambelia speciosa*, *P. incana*, *S. sulphurea*, *Senecio palmeri*, *Malva occidentalis*, *Spergularia macrotheca* *Pseudognaphalium* sp. y las especies herbáceas como *Acmispon argophyllus* var. *ornithopus*, *Eschscholzia palmeri*, *Lomatium insulare*, *Phacelia floribunda* y *Ceanothus arboreus*.

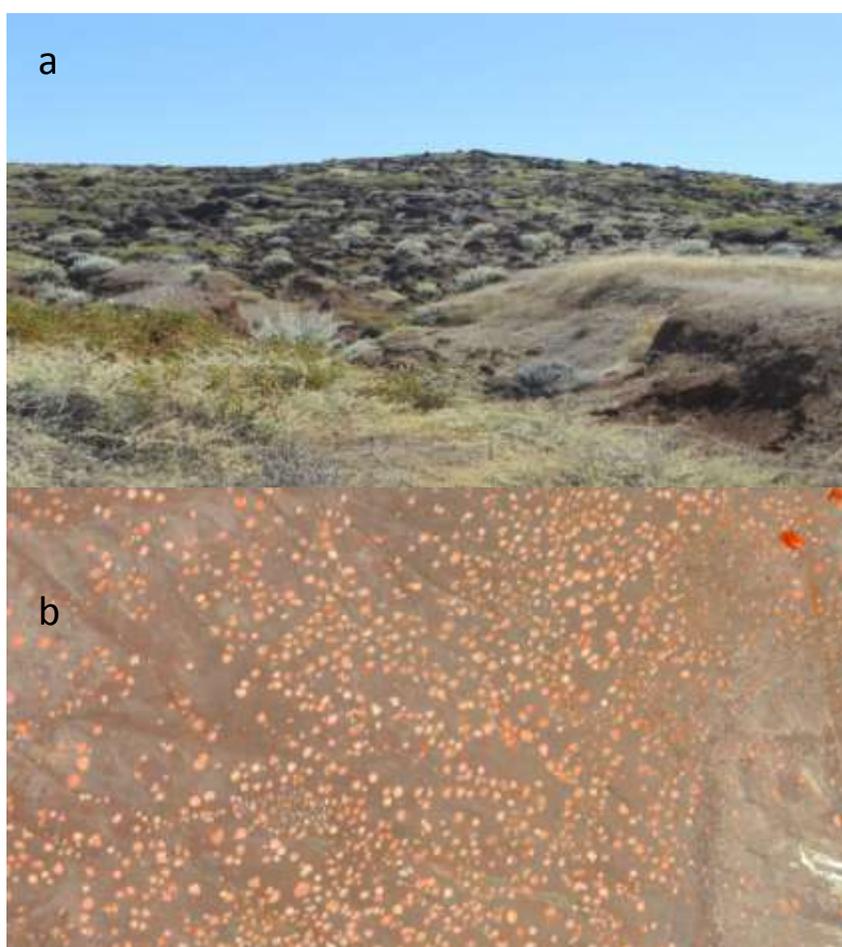


Figura 18. a). Comunidades del matorral norteño colonizando entre parches de bosque (*Hazardia canna*, *Senecio palmeri*, *Sphaeralcea sulphurea*). b) Comunidades del matorral norte en composición 4, 3, 2 (IR, R, G), escala (1: 5000).

Fuente: Imagen WorldView 2 (2013).



Figura 19. *Deinandra frutescens* dominante en la punta norte.
Fuente: J.C. Hernandez Montoya (2013).



Figura 20. Cobertura de *Deinandra frutescens* en la punta norte. Composición 4, 3, 2 (IR, R, G), escala (1: 5000).
Fuente: Imagen WorldView 2 (2013).



Figura 21. Comunidades de *Perityle incana*, zona de El Cráter.
Fuente: Martha Ceceña (2013).



Figura 22. Comunidades de *Lupinus niveus* y *P. incana*, ladera este de Monte Augusta.
Fuente: Martha Ceceña (2013).



Figura 23. Comunidades de *Sphaeralcea sulphurea* y *Lupinus niveus*.
Fuente: Martha Ceceña (2017).

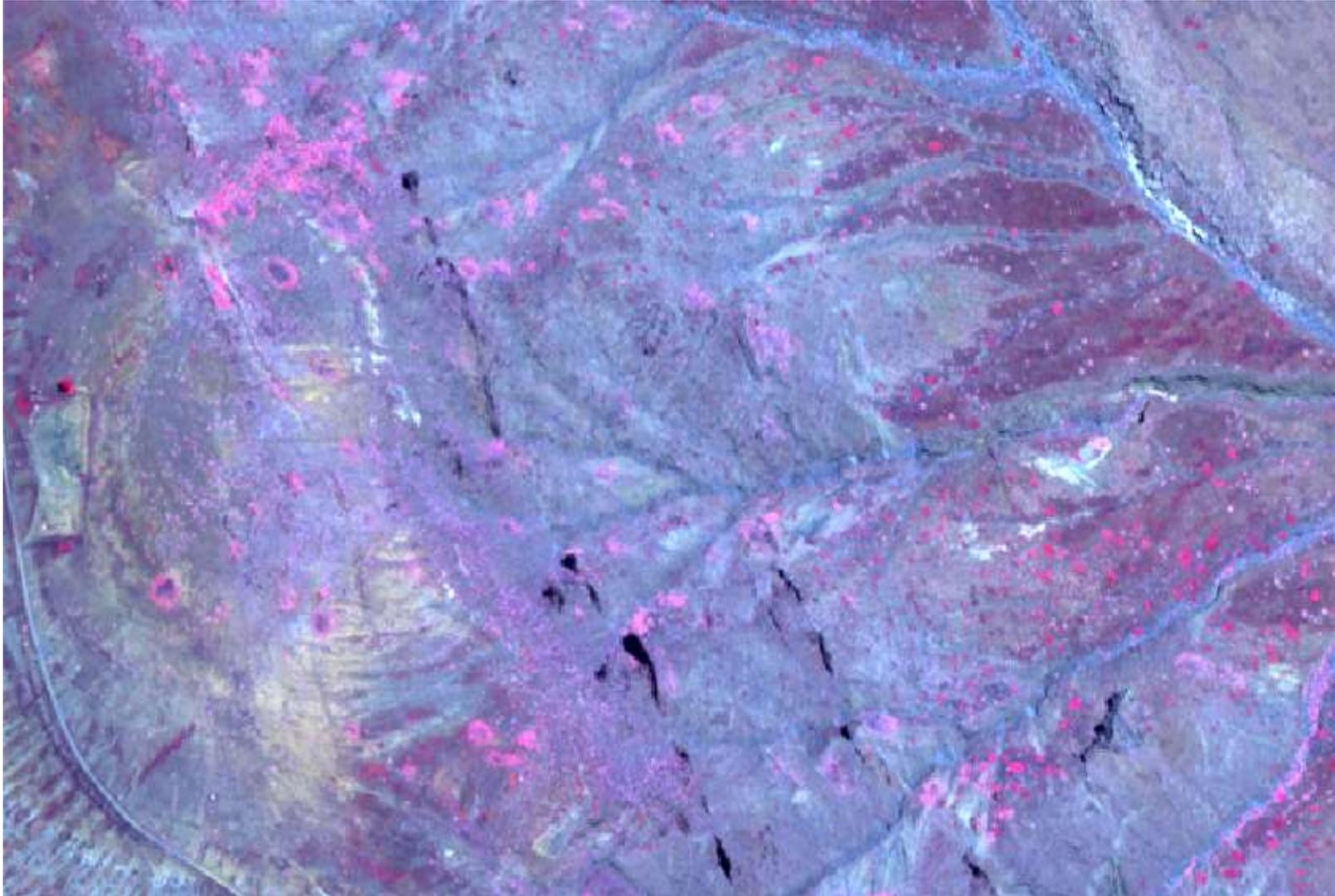


Figura 24. Cobertura del matorral norte con la presencia de comunidades de *Sphaeralcea sulphurea*, *Perityle incana* y *Lupinus niveus*. Composición en falso color 4, 3, 2 (IR, R, G), escala 1: 5000. Fuente: Imagen WorldView 2 (2013).

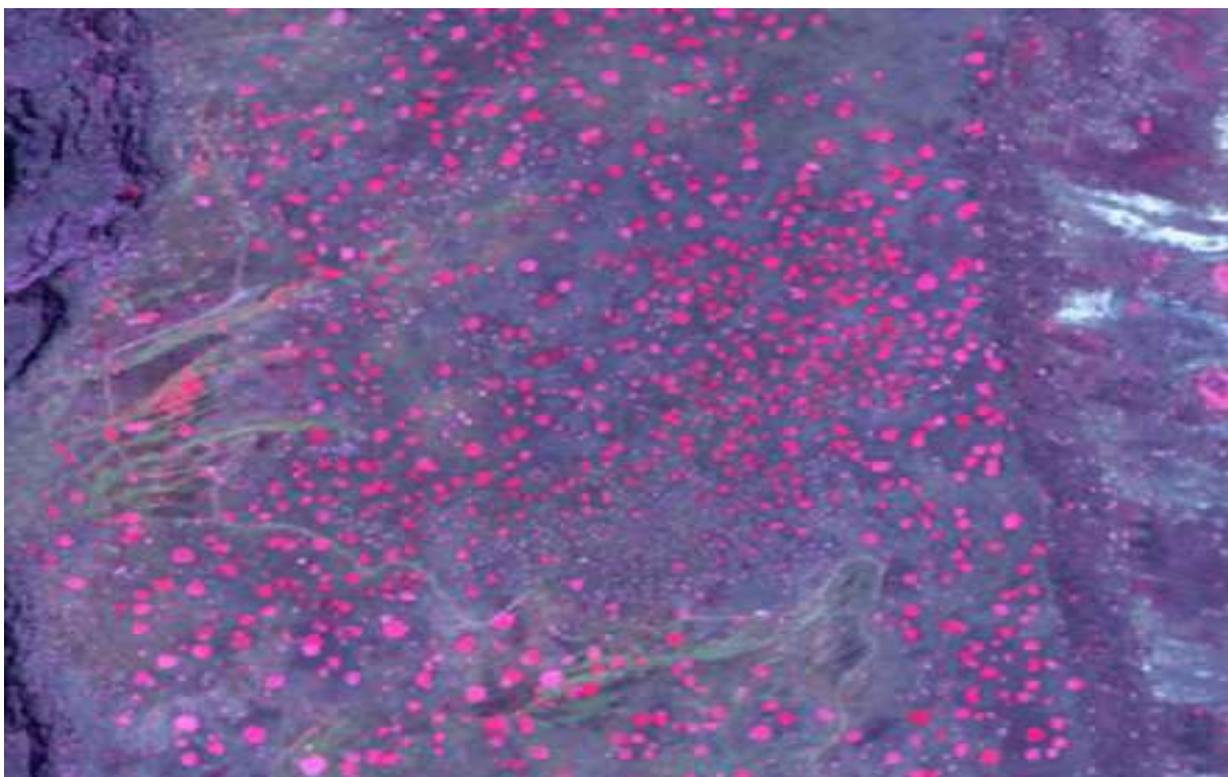


Figura 25. *Calystegia macrostegia* subsp. *macrostegia*. Composición 4, 3, 2 (IR, R, G), escala (1: 5000).

Fuente: Imagen WorldView 2 (2013).



Figura 26. *Calystegia macrostegia* subsp. *macrostegia* herbácea nativa más abundante en la isla.
Fuente: Martha Ceceña (2013).

7.5.1.5 Pastizal inducido con subarbustos

Cobertura se caracterizada por una notable abundancia y dominancia de pastos, en su mayoría exóticos de los géneros *Avena*, *Bromus* y *Vulpia*, como resultado del sobrepastoreo. Se localizada en la parte central de la isla y se encuentra en una altitud entre los 537 y 973 m, y una superficie de 2,833.69 ha. En los años posteriores a la erradicación se han presentado cambios positivos con la abundancia de *C. macrostegia* subsp. *macrostegia* y parches de subarbustos nativos, se incluye la asociación vegetal: *Sphaeralcea sulphurea* y *Sphaeralcea palmeri* (Fig. 27). Especies que acompañan: *Ambrosia camphorata*, *Cylindropuntia prolifera* y *Lycium californicum*, así como las algunas herbáceas, como: *Dipterostemon capitatus*, *Acmispon argophyllus* var. *ornithopus*, *Primula clevelandii*, *Triteleia guadalupensis* y *Eschscholzia* sp.

En la imagen satelital (Fig. 28) se observa con una textura fina a media debido a la presencia de subarbustos con tonalidades rosáceos claro y lilas, también se observan tonalidades oscuras dadas por los pastos secos.



Figura 27. Comunidad de *Sphaeralcea sulphurea* y *S. palmeri*.

Fuente: Martha Ceceña (2013).

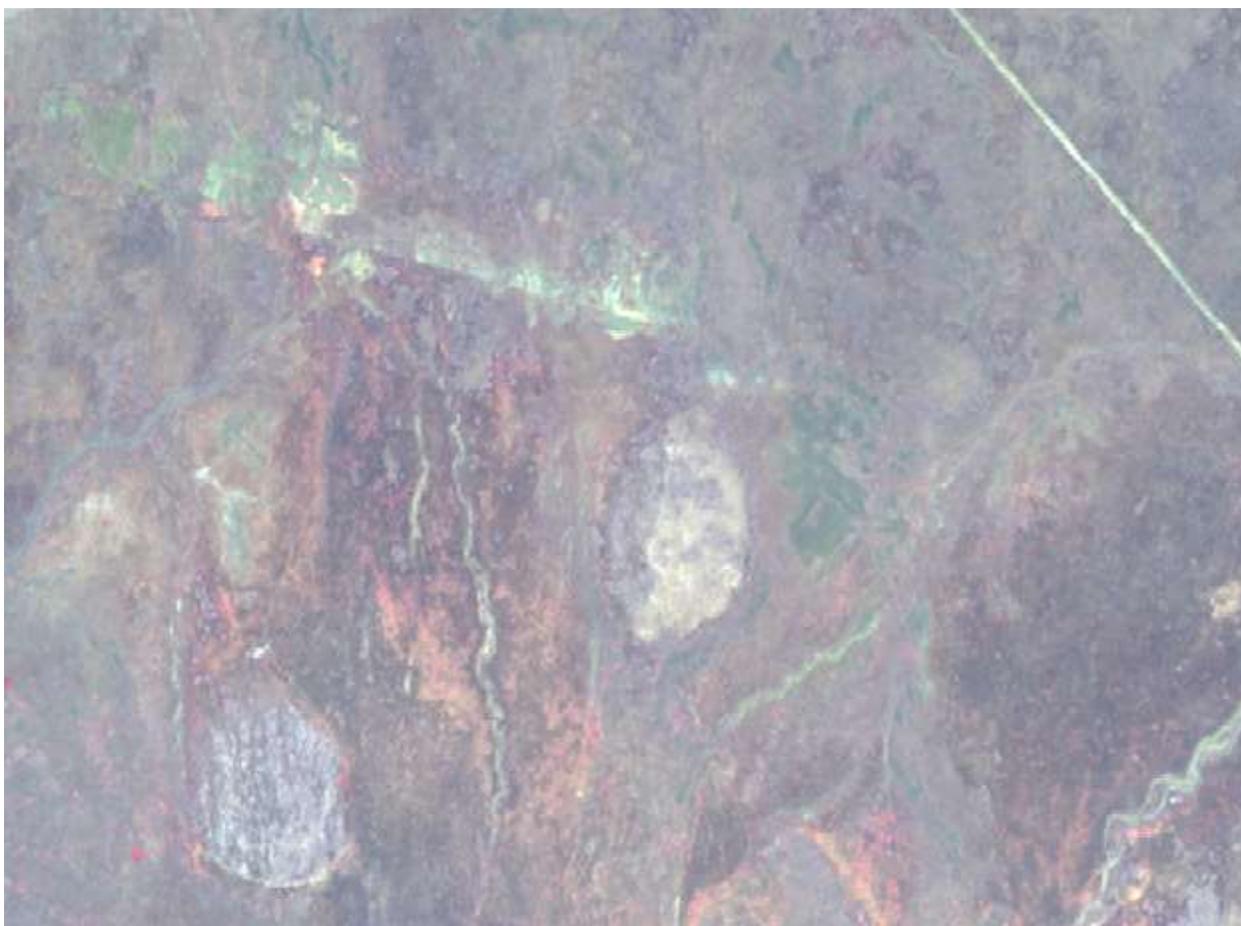


Figura 28. El género *Sphaeralcea* en el centro de la isla formando la asociación. Composición 4, 3, 2 (IR, R, G), escala (1: 5000).
Fuente: Imagen WorldView 2 (2013).

7.5.1.6 Matorral desértico marítimo (*Ambrosia-Atriplex*)

Dominada por especies sufrutescentes nativas de *Ambrosia camphorata* y *A. barclayana* (Fig. 29), se localizada en la parte sur en el rango de elevación de 174 y 608 m, y una superficie de 3, 258.52 ha. Con base en 27 inventarios, 12 especies se encuentran asociadas a este tipo de vegetación (Anexo A y B). El porcentaje de cobertura es del 58%.

En la imagen se observa (Fig. 30) una textura homogénea fina a media, dada por la vegetación de bajo porte., La coloración grisácea a marrón de las especies dominantes permite que sea muy distinguible su distribución. Especies acompañantes: *Eschscholzia ramosa*, *E. palmeri*, *Cylindropuntia prolifera*, *Mammillaria blossfeldiana* var. *shurliana* y *Malva occidentalis*.



Figura 29. Comunidad vegetal de *Ambrosia camphorata* y *Atriplex barclayan* en el sureste de Isla.

Fuente: Martha Ceceña (2013).



Figura 30. De tonalidad blanquesina comunidad vegetal dominada por *Ambrosia camphorata* y *Atriplex barclayana*. Composición 4, 3, 2 (IR, R, G), escala (1: 5000).

Fuente: Imagen WorldView 2 (2013).

7.5.1.7 Matorral de *Atriplex-Sphaeralcea*

Comunidad constituida por especies sufrutescentes de *A. barclayana* y *S. palmeri*, se distribuye en el suroeste de la isla en un rango de elevación de los 70 m y 200 m, con una superficie de 717.37 ha. Esta cobertura presenta similitud fisionómica y florística con el matorral de la mesa de Guadalupe e islotes (Fig. 31).

Las especies perennes acompañantes: *Ambrosia camphorata*, *Baeriopsis guadalupensis*, *Cylindropuntia prolifera*, *Lycium californicum*, *Mammillaria blossfeldiana* var. *shurliana*, *Malva occidentalis*, *P. incana*, y *Suaeda taxifolia*.

En la imagen se observa (Fig. 32) una textura homogénea media a gruesa en sitios irregulares representados por arroyos o rocas. Los tonos en la imagen son sutiles, grisáceos-azulosos, marrones o rojizos tenues.



Figura 31. Comunidad de *Atriplex barclayana* y *Sphaeralcea palmeri* al suroeste, camino al campo oeste.

Fuente: Martha Ceceña (2013).

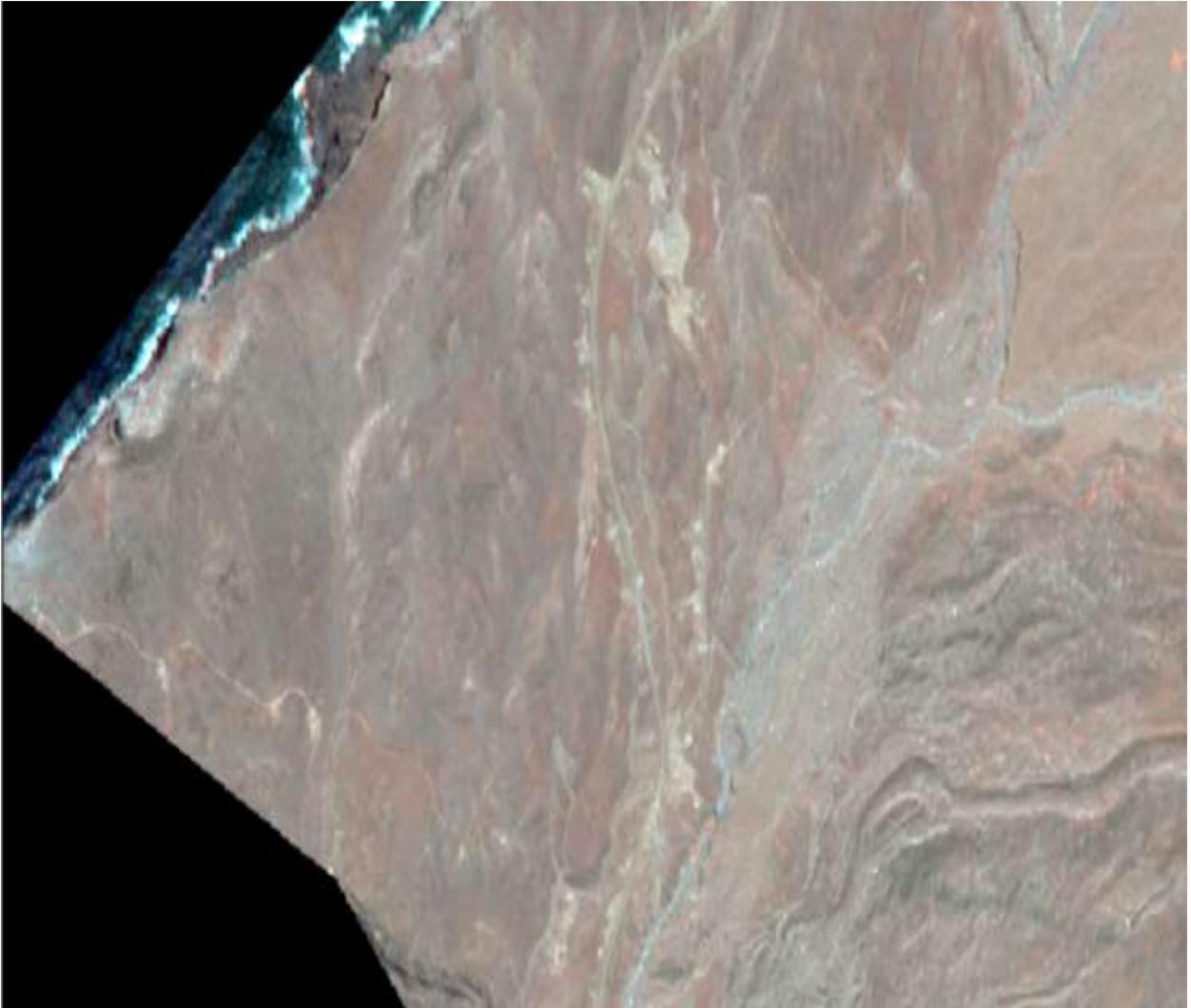


Figura 32. La especie dominante en el sitio es *A. barclayana* confiere la tonalidad de grisácea a grisácea-azulosa. Composición 4, 3, 2 (IR, R, G), escala (1: 5000).
Fuente: Imagen WorldView 2 (2013).

7.5.1.8 Matorral de Mesa de Guadalupe e islotes

Comunidad compuesta por la mezcla de especies sufrutescentes y suculentas nativas, siendo *Atriplex barclayana* y *Lycium californicum* con una abundancia superior al 85% en los inventarios. Esta cobertura se distribuye al sur de la isla e islotes, en un rango de altitud entre 60 y 288 m (Fig. 33 y 34), y una superficie de 556.47 ha. Especies asociadas a este tipo de vegetación (Anexo A y B) con porcentajes de cobertura del 48%: *Ambrosia camphorata*, *Mammillaria blossfeldiana* var. *shurliana*, *Deinandra palmeri*, *D. greeneana* subsp. *greeneana*, *Baeriopsis guadalupensis*, *Mirabilis californica*, *Castilleja fructicosa*, *Euphorbia misera*, *E. pondii*, *Phacelia floribunda*, *Eschscholzia palmeri*.

En la imagen (Fig. 35) se observa una textura heterogénea fina a media con tonos marrones oscuros por el tipo de sustrato tipo arenoso, grueso y tonos rosáceos a rojizos con textura fina a media dada por la vegetación de bajo porte, y media densidad media de cobertura.



Figura 33. Vista aérea de la Mesa sur e islotes.

Fuente: Archivo GECI/J.A. Soriano (2018).



Figura 34. *D. greeneana* subsp. *greeneana* y *S. palmeri* forman una subasociación localizada en el extremo suroeste de la isla e islotes.
Fuente: Martha Ceceña (2013).

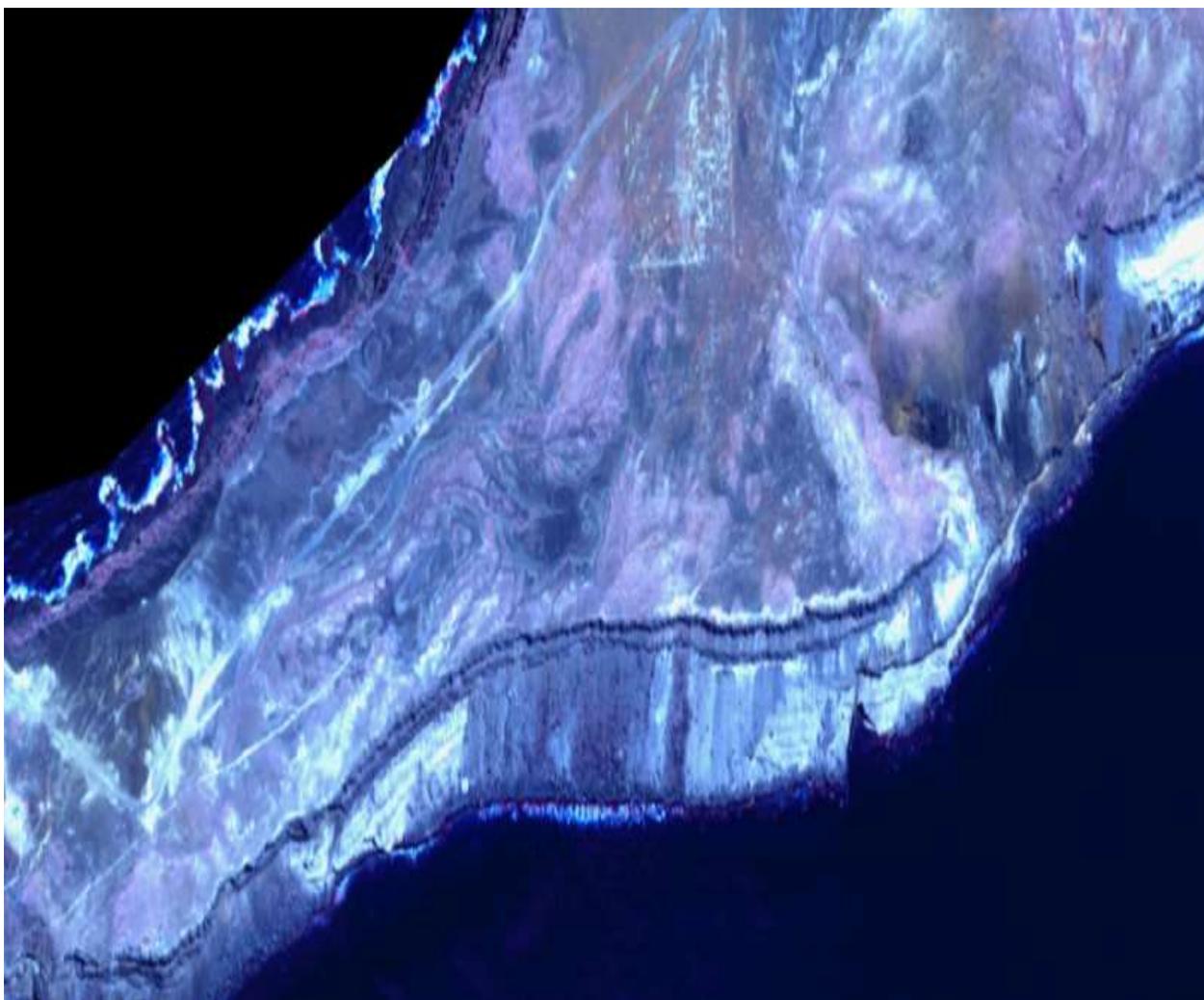


Figura 35. Matorral de la mesa de Guadalupe e islotes, una mezcla de herbáceas y perennes de tipo suculentas. Composición 4, 3, 2 (IR, R, G), escala (1: 5000).
Fuente: Imagen WorldView 2 (2013).

7.5.1.9 Pastizal inducido

Se caracteriza por dominancia pastos anuales exóticos y naturalizados (*Avena* sp. y *Bromus rubens*), y es producto de la perturbación por herbivoría intensa. Su mayor distribución se ubica al centro de la isla a una altitud entre los 537 y 973 m, con una extensión calculada de 7,385 ha. Es una de las zonas de menor diversidad florística debido a la influencia humana (Fig. 36). Las especies nativas se han incrementado a partir de la eliminación de la cabra, como: *Sphaeralcea sulphurea*, *S. palmeri*, *Ambrosia camphorata* y *Cylindropuntia prolifera*; además de herbáceas, *Dipterostemon capitatus*, *Acmispon argophyllus* var. *ornithopus*, *Primula clevelandii*, *Eschscholzia* sp. y *Triteleia guadalupensis*. La presencia de esta cobertura en la imagen satelital se evidencia por tener colores marrones y grises, tonos homogéneos, continuos y textura fina a media (Fig. 37).



Figura 36. Dominancia de vegetación herbácea, mayormente pastos exóticos. Composición 4, 3, 2 (IR, R, G), escala (1: 5000).

Fuente: Imagen WorldView 2 (2013).



Figura 37. Paisaje de áreas cubiertas por de herbáceas y pastos.
Fuente: Archivo GECI/J.A. Soriano (2018).

7.5.1.10 Comunidades de acantilados

Cobertura de subarbustos y arbustos en, topografía abrupta y vertical con influencia directa del viento. Se localizan en la costa, acantilados y arroyos, en una superficie estimada de 1,023.32 ha (Fig. 38).

La flora presente en estas zonas se encuentra adaptada a crecer sobre rocas, además de la Las especies características son, *Deinandra frutescens*, *Hazardia cana*, *Perityle incana*, *Senecio palmeri*, *Phacelia phyllomanica* y *Sphaeralcea sulphurea*. Además de una interesante comunidad de líquenes.

En la imagen se observa una textura heterogénea media a gruesa, dada por la topografía abrupta y la vegetación de bajo porte, la cual se muestra con color y tonos rosáceos a rojos, y con formas muy sutiles (Fig. 39).



Figura 38. *Hazardia cana*, *Perityle incana* y *Sphaeralcea sulphurea* forman parte de la estructura de esta cobertura vegetal.

Fuente: Archivo GECl/J.A. Soriano (2018).

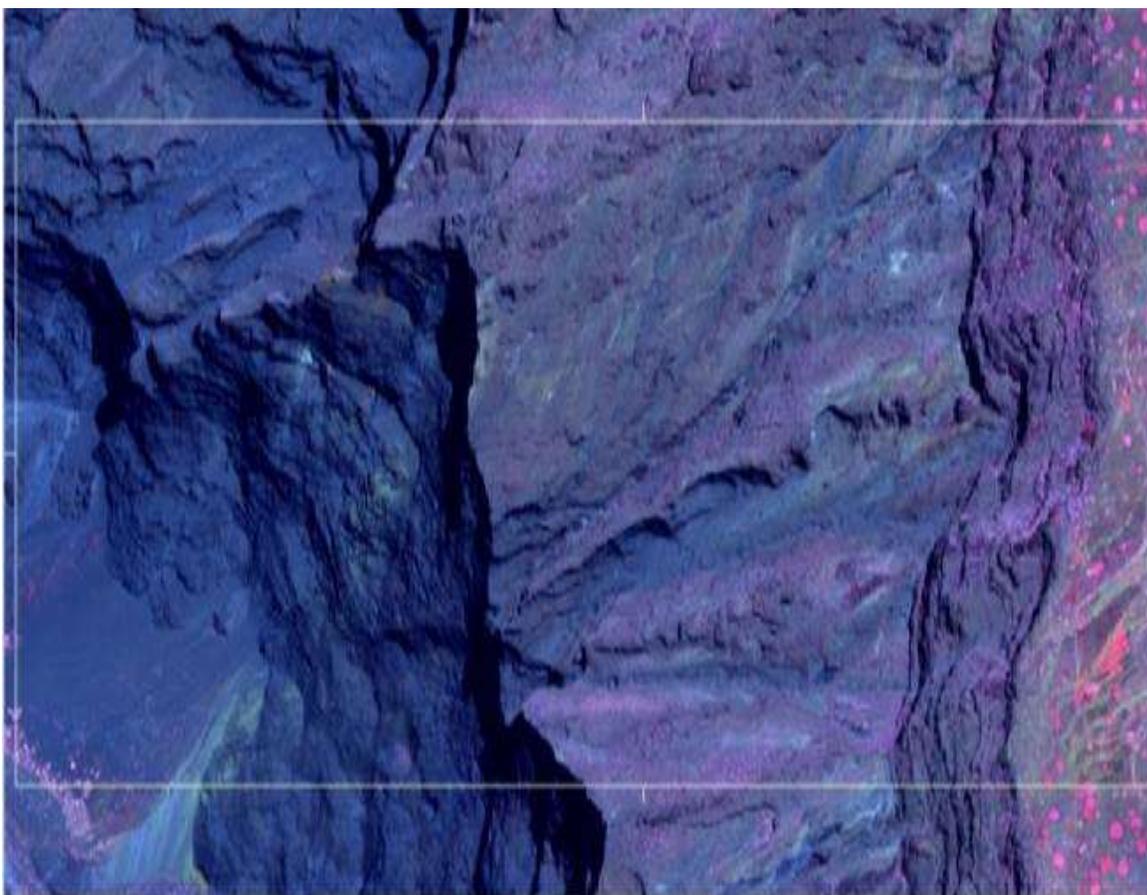


Figura 39. Comunidades vegetales establecidas en acantilados sobrevivieron a la presión de la cabra. Composición 4, 3, 2 (IR, R, G), escala (1: 5000).
Fuente: Imagen WorldView 2 (2013).

7.5.1.11 Áreas sin vegetación aparente

Se refiere a espacios expuestos y desprovistos de vegetación de manera natural, se incluyen en esta clase aquellos sitios erosionados por escurrimientos hídrico, asimismo en algunos sitios es común encontrar rocas o arena muy gruesa sin vegetación, con una cobertura de 395.44 ha, la cual se observa en la imagen satelital textura homogénea fina, tonos grises claros a casi blancos (Fig.40).

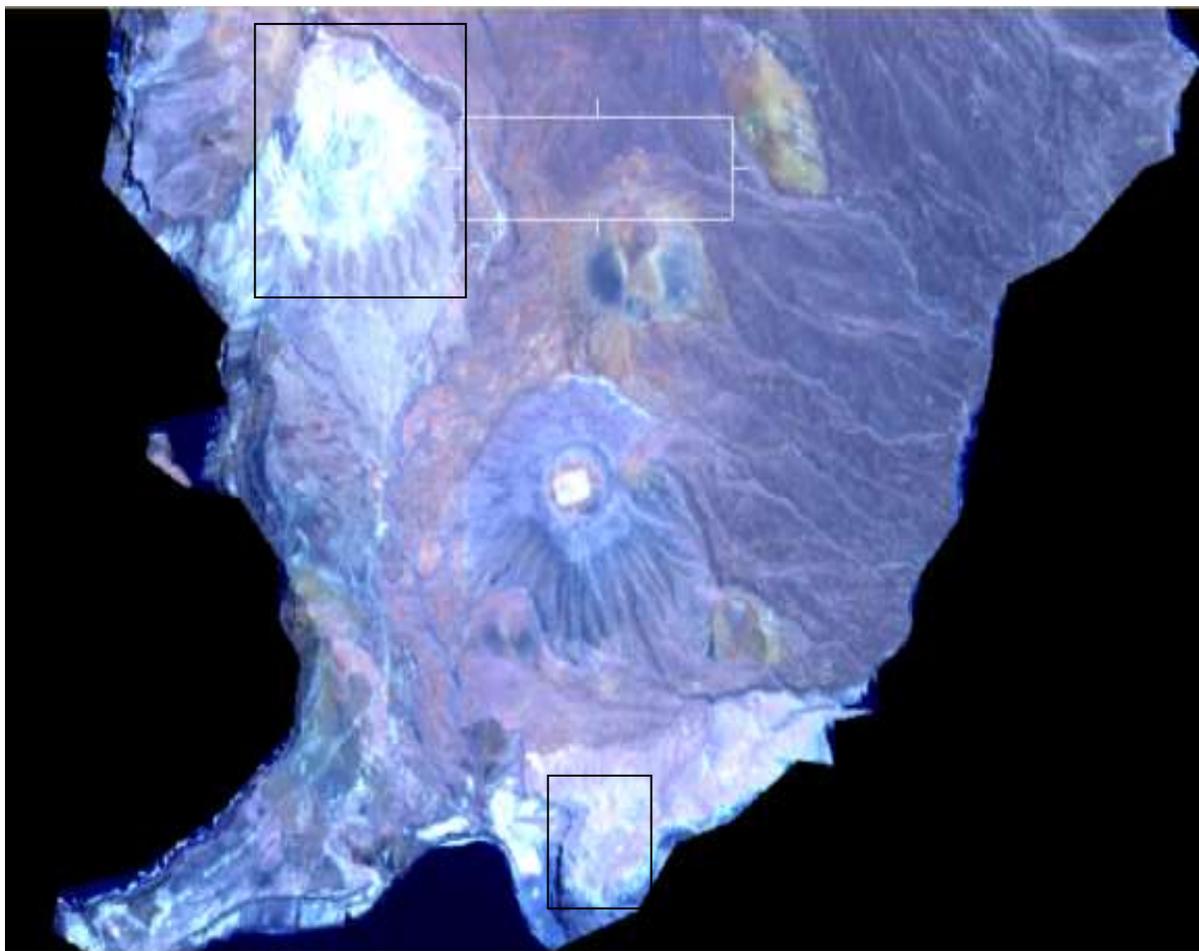


Figura 40. Sitios sin vegetación aparente. Composición 4, 3, 2 (IR, R, G), escala (1: 5000).
Fuente: Imagen WorldView 2 (2013).

7.5.1.12 Áreas con vegetación escasa

Clase que corresponde a superficies de terreno con escasa cobertura de vegetal de tipo herbáceo o presencia de líquenes en rocas así como áreas con evidente la erosión (cárcavas). El área de esta clase es de 1, 266.6 ha, que se observa en la imagen satelital textura homogénea media e irregular con rosados tenues a tonos claros, casi blancos (Fig. 41, 42).



Figura 41. Zona con escasa cobertura de vegetal al noreste de la isla. Composición 4, 3, 2 (IR, R, G), escala (1: 5000).

Fuente: Imagen WorldView 2 (2013).



Figura 42. Sitios con escasa cobertura vegetal, vista de noreste a sureste.
Fuente: Archivo GECl/J.A. Soriano (2018).

7.5.1.13 Roca

Zonas con afloramientos de rocas volcánicas, con pendientes muy pronunciadas, en su mayoría desprovistas de suelo y vegetación. A partir de la clasificación supervisada se calcula que el área representada por esta cobertura es de 2,112.83 ha. Se observa textura lisa a gruesa, rugosa, con tonalidades diversas con tonos claros a oscuros (Fig. 43).



Figura 43. Arroyo Melpómene en la zona sur de la isla, donde se aprecian formaciones rocosas en distintas tonalidades.

Fuente: Archivo GECI/J.A. Soriano (2018).

7.5.1.14 Asentamientos humanos

Se incluyen aquellos espacios con infraestructura (casas y construcciones permanentes, almacenes), desmontes, escombreras y redes de comunicación asociados a ella (caminos y brechas) y la pista de aterrizaje, está representada por esta 39.22 ha. En la imagen se observan texturas gruesas, con patrones geométricos definidos y tonos que van de los claros a los grises claro (Fig.44).

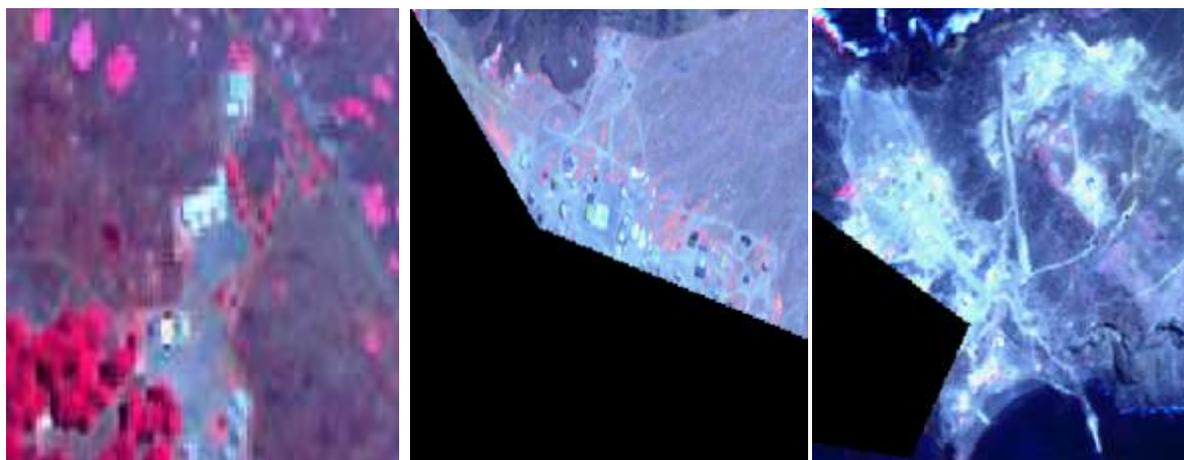


Figura 44. Existen tres asentamientos humanos en la isla, a) Estación biológica El bosque del Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C., (GECI) b) Campo pesquero El Tepeyac de la Cooperativa de Abuloneros y Langosteros, y c) Destacamento de la Secretaría de Marina Armada de México. Composición 4, 3, 2 (IR, R, G), escala (1: 5000).
Fuente: Imagen WorldView 2 (2013).

7.6. 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. 45). 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 8); 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, donde todas las coberturas mostraron un incremento de acuerdo con los valores obtenidos para 2004 (Fig. 45) (Tabla 9).

La superficie de cobertura vegetal en los polígonos evaluados para toda la isla 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 al 50.6% de la superficie total de la isla. Este resultado muestra que las comunidades han mantenido su área de cobertura y distribución; sin embargo, los valores de los

índices indican que estas coberturas se han densificado. En lo que respecta a la cuantificación de la cobertura de cada comunidad vegetal (Tabla 10) y la tasa del cambio entre 2004 y 2013 (Tabla 11), se observó un cambio significativo con una tasa positiva y ganancia de superficie en todas las comunidades (Fig. 46).

A continuación, se presenta el resultado para cada una de las coberturas consideradas y analizadas.

7.6.1 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 un 47% de superficie cubierta en 2013.

7.6.2 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%.

7.6.3 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%.

7.6.4 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.

7.6.5 Matorrales

Tipo de vegetación 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, poco favorables para la identificación la vegetación con densidad baja a intermedia; lo que posiblemente se atribuya a

la muy escasa vegetación en 2004. 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 en el rango de 0.5-0.9, 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.

7.6.6 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, indicó 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 5).

7.7. Análisis estadístico

Con base en los resultados antes referidos y posteriormente examinados mediante la prueba no paramétrica de Wilcoxon, 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.

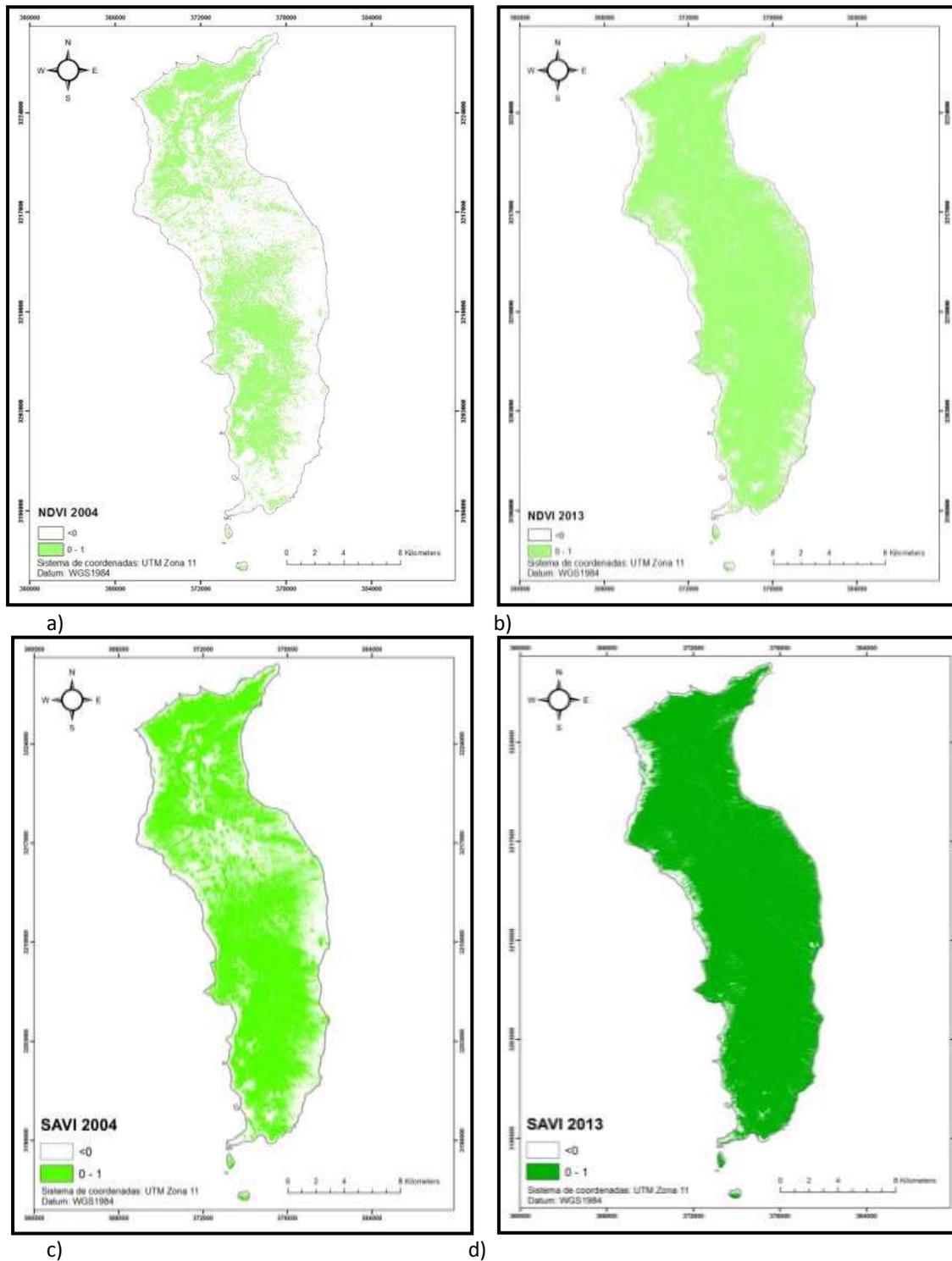


Figura 45. a y b: Datos del índice NDVI, c y d: Datos del índice SAVI de la superficie cubierta por vegetación en 2004 y 2013.

Fuente: Elaboración propia.

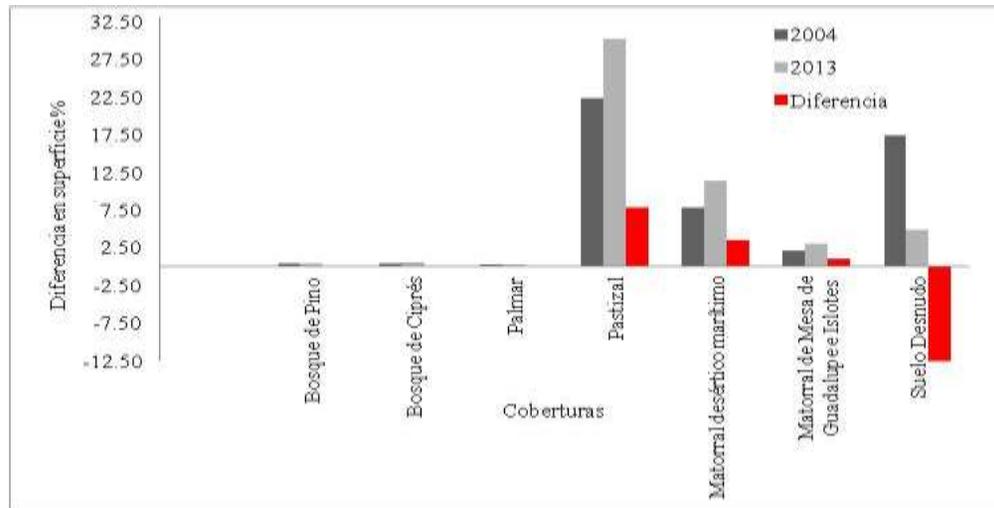


Figura 46. Superficie de la cobertura de las comunidades vegetales en 2004 y 2013. El principal cambio fue el incremento de pastizales y matorrales, y la disminución de suelo desnudo.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Valores estadísticos resultado del índice NDVI sin reclasificar y reclasificado (valores igual o menor a cero se consideró como suelo) para cada tipo de comunidad vegetal y suelo 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	0.8	0.4
Suelo desnudo	0.1	0.08	0.15	0.09	0.36	0.48	0.28	0.8

Tabla 9. Valores estadísticos resultado del índice SAVI sin reclasificar y reclasificado para cada tipo de comunidad vegetal y suelo 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	0.02
Bosque de ciprés	0.23	0.18	0.44	0.24	0.82	0.38	1	0.04
Pastizal	0.15	0.08	0.21	0.07	1	0.45	1	0.18
Matorral Mesa de Guadalupe e islotes	0.09	0.07	0.18	0.1	0.54	0.5	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 10. Porcentaje de superficie cubierta y las diferencias (cambio) por las distintas comunidades vegetales y suelo en 2004 y 2013.

Comunidad vegetal	2004	2013	Diferencia
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 11. Comparación de la superficie de las principales coberturas vegetales de referencia estimadas por Oberbauer (2005) con las estimadas en este estudio a partir de las imágenes QuickBird 2004 y WorldView 2 2013.

Tipo de cobertura	2000		2004		2013		Tasa de cambio anual (2004-2013)
	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%	(ha)
Bosque de pino	5.00	< 0.1	99.5	0.41	113.91	0.47	10.93
Bosque de ciprés	140.0	0.5	110.32	0.45	134.12	0.55	12.12
Palmar	80.00	0.3	77.88	0.32	79.98	0.33	8.54
Pastizal	12, 850.00	50.2	5, 443.12	22.26	7, 366.44	30.13	604.64
Matorral desértico marítimo	1, 200.00	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, 500.00	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.

8. DISCUSIÓN

8.1. Mapa base de análisis, la cobertura vegetal antes y después de la erradicación

En este estudio se pretende iniciar con la documentación y seguimiento de los cambios en la cobertura de la vegetación de la isla, mediante el mapeo de la distribución espacial y temporal de las comunidades vegetales como resultado de la erradicación. De manera que fue posible identificar la respuesta de las coberturas de vegetación de referencia de 2004 y sus cambios en 2013, mediante mapas temáticos en los que se distingue la vegetación presente en áreas en donde era inexistente o escasa para poder ser representada en un mapa, esto debido al sobrepastoreo; así como sitios en donde dominaban los pastos y otras herbáceas en su mayoría exóticas, mismos que persisten como la cobertura vegetal predominante al 2013. No obstante, en el presente estudio se demuestra que la vegetación de Isla Guadalupe ha tenido una evolución de conservación favorable.

La cobertura recuperada durante los nueve años posteriores a la erradicación como se observa en los mapas sigue una marcada tendencia al aumento progresivo de plantas arbustivas y subarbustivas nativas, con más del 51% de la cubierta vegetal de la isla para el 2013. La cobertura está representada por *matorral* endémico, con una superficie de 6, 246.63 ha y un segundo tipo de cobertura, *Pastizal-matorral* con una superficie de 2, 833.69 ha la cual consta de la mezcla de especies subarbustivas endémicas y nativas, con la presencia de herbáceas nativas y exóticas. De acuerdo con Álvarez-Martínez (1994) es posible que se puedan presentar estas condiciones intermedias donde la proporción es de arbustos y herbáceas son de 20% y 60% respectivamente.

Comparativamente con otros estudios similares que mapearon y dieron seguimiento a la vegetación posterior a erradicaciones en islas (Knapp, 2005; Cohen *et al.*, 2009; Corry y Mceachern, 2009; Ortiz-Alcaraz *et al.*, 2016; Longcore *et al.*, 2018) mencionan que el mapeo y el seguimiento de los cambios en los patrones de vegetación son esenciales para el manejo y la protección a largo plazo de la biodiversidad y los procesos ecológicos a escala de paisaje (Cohen *et al.*, 2009).

8. 2. Clasificación de coberturas

De acuerdo con este estudio, la precisión resultante de la clasificación de 2013 obtuvo un índice de k' cuyo nivel de exactitud es casi perfecto de acuerdo con Landis y Koch (1977), y a pesar de que ninguna clasificación es 100% exacta, lo anterior manifiesta que la clasificación se realizó con mínimos errores de comisión y omisión, debido a la relación entre la delimitación de los polígonos representativos de cada clase y el número de puntos correctamente asignados a cada clase, lo que valida una aproximación confiable y acorde a las condiciones reales en campo.

Algunas de las leves inconsistencias encontradas entre la clasificación y los inventarios de vegetación podrían atribuirse a la proximidad entre las clases (Lizzi *et al.*, 2007), lo que generó la confusión entre las clases de bosque de pino y el matorral norte por la similitud espectral. En campo se observaron algunas comunidades con límites definidos por su proximidad espacial, lo que influyó en la separabilidad entre firmas al momento de la clasificación, aquellas en etapa de transición o sucesión secundaria que eventualmente pertenecerán a una clase principal; tales como, el *matorral norte*, *mosaico de vegetación secundaria a bosque de ciprés*, *pastizal inducido* y *pastizal inducido con subarbustos a matorral*.

De acuerdo con Lizzi *et al.* (2007) otras condiciones a considerar y que se presentaron en el desarrollo de la clasificación, son la reducida extensión de algunos individuos aisladas o restringidos a acantilados como pinos, encinos y palmares, que fueron observados en campo y que no pudieron ser clasificados en la imagen. Por último, la topografía dificultó la caracterización de las *comunidades de acantilados* mediante técnicas espectrales. A pesar de la complejidad encontrada para delimitar las áreas de entrenamiento para cada clase de cobertura, el resultado de la clasificación se considera sólido con el 93.7% de exactitud.

En el mapa temático de coberturas de Isla Guadalupe para 2013 se observa la diversidad de tipos de coberturas de vegetación existentes que contrastan con la escasa cobertura del 2004, calculada a partir del mapa de coberturas de Oberbauer (2005), en donde se distingue la disminución del suelo desnudo, que predominó durante los años previos a la erradicación, con un área de 4, 228 ha en 2004 y que para 2013 pasó a contar con solamente 395.4 ha (1.6%), estimación dada por la clasificación supervisada y para la cual se le asignó la clase *Sin vegetación*

aparente. Conjuntamente la cobertura de vegetación con mayor extensión en Isla Guadalupe resultó ser *pastizal inducido* con 7,385 ha. Se ha observado como respuesta principal, el incremento de herbáceas, casi inmediata la erradicación y durante la primera década, en particular por especies exóticas de los géneros *Avena*, *Bromus* y *Vulpia*. Coincidentemente con algunos estudios similares realizados en otras islas en donde se han erradicado herbívoros (Beltran *et al.*, 2014; Cohen *et al.*, 2009; Corry y Mceachern, 2009; Klinger *et al.*, 2002; Wiley, 2012) se reporta una tendencia similar, aunque también se ha observado incremento en vegetación herbácea nativa y en su mayoría sufrutescentes.

En Guadalupe *Calystegia macrostegia* subsp. *macrostegia* aumentó notablemente a partir de cese del pastoreo y posterior al incendio del 2008. Esta viña nativa perenne, es abundante en las comunidades del centro al norte de la isla, predomina en sitios que fueron intensamente pastoreados. De acuerdo con Noy-Meir *et al.* (1989) la ausencia de pastoreo, en los primeros estadios de la sucesión, favorece a las especies herbáceas con formas preferentemente postradas que concentran la biomasa próxima a la superficie del suelo (Álvarez-Martínez, 1994). En Isla San Clemente, EE.UU., *C. macrostegia* subsp. *amplissima*, se encontró en comunidades de matorral sin llegar a ser dominante, se asoció a su florecimiento después del fuego (Douglas, 2012). Además, esta subespecie ha disminuido considerablemente debido a especies de plantas invasoras, a pesar del aumento de la cobertura de especies nativas, se infiere que es debido a la competencia entre especies de subarbustos fijadoras de nitrógeno (Corry y Mceachern, 2009), situación que en Isla Guadalupe es distinta, ya que *C. macrostegia* subsp. *macrostegia* es componente abundante de las comunidades del matorral norte y zonas que fueron afectadas por fuego, misma que Ramírez-Serrato (2014) reporta como una especie que también es distinguible en las imágenes satelitales.

La superficie de herbáceas es mayor, el resto de la cobertura fue clasificada como *pastizal inducido con subarbustos*, siendo una de las tres coberturas con mayor extensión de superficie en la isla, 2,194.4 ha (9.1%). Esta clase está constituida por comunidades de subarbustos nativos, que fueron espectralmente diferenciados en la clasificación, los cuales mostraron una recuperación de la estructura del matorral. Un referente es el caso de Isla Santa Cruz (Islas del Canal de California, EE.UU.) donde se ha experimentado, después de la erradicación de

borregos, ganado vacuno y cerdos, la recuperación de la estructura de la vegetación en forma pasiva, sin intervención humana, a través de 20 a 28 años, después de la erradicación de borregos, ganado vacuno y cerdos, lo que reveló la resiliencia del sistema (Jones *et al.*, 1993). La estabilidad del suelo favoreció el establecimiento de flora nativa como subarbustos y otras plantas leñosas (Beltran *et al.*, 2014), lo que depende en gran medida de la historia del herbívoro, las condiciones locales del sitio, la pendiente, los microclimas y la exposición a la niebla (Klinger y Schuyler, 2002). En Isla Guadalupe se sigue un patrón de recuperación similar, con la mayor respuesta en lo que respecta a abundancia y cobertura de especies nativas en las comunidades el norte, en donde al menos 18 especies dan estructura a estas comunidades. Aunado a esto, las condiciones ambientales en esta porción de la isla, son más favorables y determinantes para la distribución de las comunidades arbóreas y arbustivas.

En el caso de los pinos, se encuentran solo en el extremo norte de la isla, principalmente en las crestas de la cordillera, junto con ellos crecen el encino, la palma y el ciprés de Guadalupe. Estas especies, juegan un papel crítico en el ecosistema influyendo en el microclima al condensar la niebla que es común durante todo el año, particularmente en el norte, la precipita, acumula, y humedece el suelo debajo de los árboles, es el recurso limitante para la colonización y permanencia de las especies en la isla (Rogers *et al.*, 2005; Valencia *et al.*, 2012). En cambio, a partir de los datos de la clasificación para el bosque de pino, los resultados mostraron una cobertura de 41.4 ha, si bien, la superficie estimada fue menor a la del polígono de referencia, con base en la observación de campo y mediante fotografías análogas y aéreas del sitio, la cobertura correspondió con certeza a bosque de pino. La estimación del área difiriere al considerar solamente la cobertura de dosel, en lugar de realizar mediciones directas en campo. Por lo que es posible que se haya sobre estimado el área de pino al elaborar el mapa de referencia, además de que se incluyeron los individuos solitarios de la cordillera, que en nuestro caso eso no pudo ser posible, ya que los individuos aislados no pudieron ser clasificados, ya que se consideró el área mínima cartografiable (Vega *et al.*, 2008).

En la clase de bosque de pino se incluyó el encino como parte de dicha cobertura, debido a la cual no llega a formar a un bosque como tal. Igualmente, el bosque de ciprés presentó una cobertura de 189.38 ha, en donde se registró que un área de 43 ha corresponden a árboles

maduros, localizados en la zona no afectada por el incendio en 2008, con un dosel fácilmente detectable en las imágenes (Ramírez-Serrato, 2014), en conjunto con una superficie recuperada de 146 ha. Estos valores se aproximan a la máxima extensión del bosque de ciprés de 197 ha, calculada por Ramírez-Serrato (2014) previa al incendio 2008, el cual fue acelerador para la recuperación de esta cobertura.

En relación al matorral de *Ambrosia–Atriplex*, equivalente al matorral desértico marítimo descrito por Oberbauer, que presentó una cobertura de 3, 258.5 ha, tuvo un aumento para el año 2013, misma que se consideraba sin cambio estructural aparente (Meling, 1985; Oberbauer, 2005), sin embargo, se mantiene en incremento hasta el presente con una composición de especies prácticamente constante.

8.2.1. Coberturas vegetales

La diversidad en tipos de vegetación en Isla Guadalupe corresponde, a condiciones biofísicas que favorecen el establecimiento y distribución de las diferentes comunidades vegetales, los que estarían influenciados directamente por el gradiente altitudinal y la exposición, lo cual incrementa la aridez de norte a sur y la presencia de la niebla que proporciona humedad de manera significativa durante los meses más secos y mejora las condiciones para las plantas (Ratay *et al.*, 2014).

La tipología propuesta en este trabajo para designar a la vegetación de la isla, se consideró una descripción mayormente a nivel de escala local, basada en la dominancia de las especies en cada comunidad, manteniéndose las más destacadas el bosque de pino, ciprés, palma, dos variantes de matorral costero y pastizal. De acuerdo con la clasificación de Oberbauer (2005), la vegetación previa a introducción de la cabra comprendió en once tipos de coberturas, diez vegetales y una de suelo desnudo, en ella se describe el bosque de juníferos, encino, chaparral y el matorral de *Artemisia* de Guadalupe, es una especie rara en la isla, sus poblaciones se redujeron considerablemente por el efecto de la cabra, no ha sido registrada en los inventarios florísticos en la última década. Posterior a la erradicación, dichas coberturas constituyen a comunidades en forma de parches o a algunos individuos remanentes en acantilados, tal es el caso de *Juniperus californica*, se encuentra restringido a menos de 10 individuos en algunos

cañones, y en el caso de los encinos (*Quercus tomentella*) se estima que prevalecen menos de 50 individuos adultos (Luna-Mendoza *et al.*, 2019). Aunque para estas especies se han iniciado actividades de restauración activa con el objetivo de preservar y acelerar la recuperación de las comunidades vegetales nativas como parte de un proyecto de colaboración entre GECI, CONAFOR, SEMAR, la comunidad local (Cooperativa Abuloneros y Langosteros).

En la última década la vegetación de la isla ha mostrado una respuesta favorable en su regeneración natural e incremento de especies nativas, con notables los cambios en el norte y moderadamente al sur. Las comunidades se establecen en sitios donde no habían sido documentadas, se encuentran ampliando su distribución, especies no descritas para la isla principal (*Encelia farinosa*) o que permanecían restringidas a islotes, hoy se registran (*Dudleya guadalupensis* y *Leptosyne gigantea*). Asimismo, el matorral se ha clasificado en subtipos, en donde *Sphaeralcea* es un género dominante. No obstante, durante el periodo de análisis se constató que otras especies perennes se encuentran colonizando y ampliando su distribución (anexo b), lo que actualmente difiere con los resultados de expuestos por Meling (1985), quien refiere la dominancia de herbáceas, en su mayoría anuales y la notable ausencia de arbustos nativos en la zona norte. Así mismo, en la clasificación de las coberturas propuesta en este trabajo, se plantean coberturas nuevas, debido a la heterogeneidad en la composición florística resultante de la regeneración post erradicación.

Por otro lado, la vegetación potencial de chaparral sugiere una exitosa recuperación al registrarse ocho especies características de esta comunidad, las cuales durante la presencia de la cabra en la isla permanecieron suprimas, como *Ceanothus arboreous*. De acuerdo con Rzedowski (1978), sugiere que los chaparrales representan una etapa sucesional hacia la recuperación de los bosques originales. Por lo que se infiere que este tipo de vegetación han sido reemplazadas por comunidades del matorral norte, el cual ha mostrado una recuperación notable y rápida, entre ellas el matorral de *Sphaeralcea sulphurea* y *Perityle incana*, y que de acuerdo con Oberbauer (2005) estas corresponden a elementos remanentes de un extinto matorral de *Artemisia* y chaparral.

Las comunidades del sur de tipo matorral xerófilo costero están caracterizadas por su menor precipitación e influencia de nieblas, con herbáceas, sufrutescentes y suculentas. Mantienen una aparente uniformidad en su estructura con cobertura promedio de 59% (Ceceña-Sánchez *et al.*, 2018). En las comunidades centrales se distribuye el matorral de *Sphaeralcea-Sphaeralcea palmeri* y el *pastizal*, con un aumento en la abundancia y cobertura de arbustos nativos. Esta vegetación fue clasificada por León de la Luz *et al.* (2003) como un herbazal y pastizal por Oberbauer (2005).

8.3. 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 el año 2004, el comportamiento espectral del NDVI presentó valores bajos a 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 al 56%. En el caso de las coberturas de los matorrales, los valores bajos de NDVI persistieron en 2004.

De acuerdo al 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 fue fácilmente foto interpretada a partir de las imágenes de satélite, a pesar de su 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 en 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 por el estrés hídrico (*Sphaeralcea palmeri*, *Lycium californicum*, *Deinandra palmeri* y *Deinandra greeneana* subsp. *Greeneana*). La coloración grisácea es propia de algunas especies (*Perityle incana*, *Senecio palmeri*, *Ambrosia camphorata* y *Atriplex barclayana*) (Ceceña-Sánchez, 2014).

Otro factor importante que indicó la baja respuesta de 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 represente 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 *et al.*, 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 subarabustiva 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 multiespectrales de diferentes años y temporadas, además de correlacionar esta información con datos anuales de precipitación y temperaturas del área de estudio.

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

La cuantificación de las coberturas muestra una dinámica de cambio favorecedor, de tal manera que, 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, al poco tiempo de iniciada la erradicación de la cabra asilvestrada (Junak, 2005).

Casos similares se han documentado en islas de México 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, el proceso ocasionado por la perturbación de la cabra 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 la 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 *et al.*, 2019).

8.4.1 Bosque de pino

Previamente a la erradicación, esta cobertura contaba con un área muy reducida, delimitada por cercos 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.

8.4.2 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. 3), 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, para la imagen del 2004 la superficie total estimada del bosque es de sólo 70.31 ha. 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 el año 2009 debido a un incendio ocurrido en 2008 que consumió un 60% del bosque, siendo el

parche norte el más afectado al quemarse el 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, dando paso al reclutamiento de plántulas de ciprés, de arbustos como el *Ceanothus arboreus* y *C. cf. greggi* subsp. *perplexans* (Junak, 2005; Garcillán *et al.*, 2009). Asimismo, como de un individuo de *Arctostaphylos* sp. Lo anterior refuerza la importancia de dar seguimiento al proceso de sucesión en la vegetación de la isla.

La recuperación del ciprés 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, climáticas (Villanueva-Díaz *et al.*, 2015), 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 que sus bancos de semillas fueron activados por el fuego (Linares *et al.*, 2005). Otras especies que se han beneficiado de la erradicación son *Senecio palmeri*, *Deinandra frutescens*, *Phacelia phyllomanica* y *Hazardia cana*, que se encuentran colonizando los bosques de ciprés y pino.

8.4.3 Palmar

Con respecto al polígono de palmar, lo estimado analizado en el año 2000 (Oberbauer 2005) y 2004, se observó que la cobertura disminuyó (Fig. 3). 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 en 2013. Otro punto para considerar es que la distribución del palmar en la isla es más extensa a lo delimitado. 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. 3) dicho autor proyecta solamente un pequeño polígono en el 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 nos habría dado resultados más concretos del estado de la cobertura.

8.4.4 Pastizal

Las áreas cubiertas por el pastizal coinciden con las de Oberbauer (2005) (Fig. 3), 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 a 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.

8.4.5 Matorral

El matorral desértico marítimo indica un aumento de cobertura 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 para el periodo de 2000-2003.

9. CONCLUSIONES

9.1 Clasificación de coberturas

La cobertura vegetal analizada a partir de la clasificación supervisada de imágenes muestra la disminución del suelo desnudo al 15% para 2013, por consiguiente, se presenta un mapa resultante de la clasificación y la descripción de 11 coberturas vegetales y siete correspondientes a otro tipo de coberturas no vegetales para Isla Guadalupe.

El nivel de precisión del mapa obtenido para las coberturas de 2013 es de 93.7% y un K' de 0.93% lo que indicó una clasificación casi perfecta, asegurando que el mapa de coberturas resultante es una aproximación certera y confiable de la real en campo.

La extensión de la superficie de cobertura vegetal posterior a la erradicación de la cabra asilvestrada es de 20, 534.90 ha (84%) y excluyendo la cobertura de pastizal inducido, la superficie cubierta exclusivamente por vegetación nativa es de 10,218.69 ha (51%) para 2013.

La clasificación supervisada y la interpretación visual permitieron, clasificar y cuantificar el estado de las comunidades, además de delimitar cartográficamente de manera fina y precisa a las coberturas vegetales.

La caracterización y representación de procesos de recuperación posterior a una erradicación como los del presente estudio son una contribución al seguimiento de la trayectoria sucesional de la vegetación y de la restauración del paisaje en la isla. Mismo que constituye un diagnóstico actualizado para el desarrollo de estrategias y la base para el monitoreo de la cobertura vegetal mediante percepción remota complementado con trabajo de campo. Además de la conveniencia de agregar al análisis las variables de clima, precipitación y suelos para robustecerlo y dar mayor sustento a los cambios de la vegetación.

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

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 para todos los tipos de vegetación, 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 de vegetación de siete analizadas.

Se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas en la cobertura y abundancia de la vegetación, lo que expresa la relación existente entre el aumento de la biomasa y el tiempo directamente relacionados con la erradicación. 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 otras herbáceas con otras comunidades, lo que pudiera explicar 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 de medios a altos en coberturas densas y fotosintéticamente vigorosas (por encima del 50%), como los bosques. Así mismo en el análisis espacial se observó que el pastizal y en consecuencia 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 cabras, aunque la tendencia está dirigida hacia el exitoso establecimiento de especies endémicas y nativas como *Arctostaphylos* sp., *Atriplex barclayana*, *Ambrosia camphorata*, *Hesperocyparis guadalupensis*, *Ceanothus* cf. *greggi* subsp. *perplexans*, *C. arboreous*, *D. frutescens*, *Hazardia cana*, *Phacelia phyllomanica*, *Perityle incana*, *Sphaeralcea sulphurea*, *S. palmeri*. En un el sur, *Leptosyne gigantea* y *Dudleya guadalupensis* que regresan a establecerse en esta zona, así como el nuevo registro de *Encelia farinosa*.

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, además son los más apropiados para zonas áridas y semiáridas. Sin embargo, es conveniente ampliar el estudio con una serie de imágenes correspondientes a temporada de lluvia y secas,

complementado con clasificación supervisada para brindar valores más objetivos de la condición de la cobertura de vegetación.

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 dicha 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 la biodiversidad de la isla.

9.2 Recomendaciones

Con base en las descripciones ecológicas y biológicas de referencia, se recomienda subrayar la importancia de considerar un escenario largo de evaluación de la recuperación de la vegetación insular. Por lo que es recomendable la implementación de un monitoreo coordinado y sistemático para detectar cambios en las coberturas vegetales y dirigir las acciones pertinentes para su conservación. Se sugiere que los muestreos sean realizados tomando en cuenta que los patrones de regeneración son diferentes entre especies, hábitat, grado de perturbación del sitio, dispersión, establecimiento de la semilla, germinación, tiempo de crecimiento, así como la dinámica hídrica y de suelo. Así mismo, se debe enfatizar en estandarizar métodos de muestreo con un enfoque a nivel de comunidades vegetales.

Se recomienda establecer una red de puntos de muestreo permanentes:

- Realizar monitoreos bianuales (primavera y otoño) mediante cuadrantes permanentes de 10 m x 10 m en áreas específicas de cada tipo de vegetación, con énfasis en los sitios con mayores problemas de conservación como el centro de la isla, tales como la localidad de El Comal, campo Pista y Los Columpios, para registrar y analizar la sucesión, composición de especies, cobertura y abundancia de especie nativas y endémicas.
- Identificar la presencia de nuevos registros, especies en riesgo de conservación y potenciales efectos del cambio climático sobre especies endémicas y su distribución.
- Búsqueda de especies raras y remanentes (poblaciones) que indiquen alguna trayectoria de sucesión de la comunidad vegetal original o existente antes del disturbio; por ejemplo, especies que estuvieron suprimidas por el pastoreo o que sobreviven en

condiciones particulares que con las cabras era muy difícil que se mantuvieran. e.g. *Arctostaphylos* sp., *Dudleya guadalupensis* y *Leptosyne gigantea*.

- Continuar con la coleta de germoplasma de las especies endémicas y particularmente de carácter raro, así como la propagación de dichas especies en vivero.
- Monitorear las condiciones biofísicas del sitio, pendiente, elevación, orientación, suelo, acumulación de sedimento, escurrimientos hídricos, precipitación, temperatura, viento. El mayor número de variables posibles.
- Monitorear eventos meteorológicos o climáticos que pudieran afectar directamente a las comunidades vegetales como sequías e incendios.

Se recomienda apoyarse de la percepción remota, mediante el uso de imágenes satelitales de alta resolución o fotografías aéreas y del monitoreo con fotografía repetida, que consta de la comparación y evaluación de cambios en el paisaje a través del tiempo usando fotografías históricas y recientes del sitio de estudio.

9.2.1 Bosques

Evaluación del reclutamiento de plántulas de especies arbóreas y de sotobosque.

Monitoreo de pastos y herbáceas anuales.

Manejo de combustible y prevención de incendios forestales.

Elaboración de un programa contra incendios y rescate de flora.

Monitoreo de invertebrados, polinizadores, plagas (como parte del componente de bioseguridad).

Promover las prácticas de manejo y conservación de suelos.

9.2.2 Palmar

Identificar geográficamente todos los palmares para dar seguimiento a la restauración pasiva de los mismos.

Monitorear las poblaciones más grandes, norte y sureste.

Estimar la tasa de reclutamiento de plántulas de *Brahea edulis*.

9.2.3 Matorral

Evaluar el aumento de especies nativas y endémicas de subarbustos en las comunidades del sur y suroeste.

Monitoreo de la abundancia y cobertura de *Mesembryanthemum crystallinum* y *M. nodiflorum*.

Monitoreo de las especies dominantes del matorral *Ambrosia camphorata*, *Atriplex barclayana*, *Senecio palmeri*, *Sphaeralcea sulphurea* y *Perityle incana*.

Monitoreo de las especies *Dudleya guadalupensis* y *Leptosyne gigante* en el sur de la isla.

Evaluación del reclutamiento y colonización de especies características del matorral costero.

Guadalupano-norte: *Ceanothus arboreus*, *Deinandra frutescens*, *Gambelia speciosa*, *Hazardia cana*, *Malosma laurina*, *Phacelia phyllomanica*.

9.2.4 Pastizal

Evaluar el aumento de especies nativas y endémicas de subarbustos y arbustos.

Detectar la presencia y riesgo de especies invasoras y estimar el aumento en cobertura de pastos y malezas como: *Atriplex semibaccata*, *A. suberecta*, *Salsola tragus*, y *Pennisetum setaceum*.

Promover el control de especies exóticas invasoras.

Promover acciones de restauración activa como la reforestación en estas zonas con especies como *Calystegia macrostegia* subsp. *macrostegia*.

10. LITERATURA CITADA

- Acosta Ovalle, A. (2017). *Elaboración de una clasificación no supervisada y supervisada para generar las coberturas vegetales de una imagen satelital Landsat 7-ETM usando los programas R y PCI geomatics con el fin de comparar los resultados obtenidos*. Tesis, Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.
- Aguirre-Muñoz, A., Bezaury, J, Carranza, J, Enkerlin, E, García, C, Keitt, B, Luna-Mendoza, L, Sanchez, J. y Tershy, B. (2003). *Propuesta para el establecimiento del Área Natural Protegida “Reserva de la Biósfera de la Isla Guadalupe” Estudio Técnico Justificativo*. Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C. Ensenada, Baja California, México. 98 pp.
- Aguirre-Muñoz, A. (2005). La construcción social de la conservación y el desarrollo sustentable de Isla Guadalupe. En: Santos del Prado, K. y Peters. E. (eds.). *Isla Guadalupe: restauración y conservación*. (pp. 239–253.). México, DF. Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). México, D.F.
- Aguirre-Muñoz, A., Bezaury, J, De la Cueva, H, March , I, Peters, E, Rojas, S. y Santos del Prado, K. (2010) *Islas de México. Un recurso estratégico*. México: Instituto Nacional de Ecología (INE). The Nature Conservancy (TNC). Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C. (GECI). Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE).
- Aguirre-Muñoz, A., Samaniego-Herrera, A, Luna-Mendoza, L, Ortiz-Alcaraz, A, Rodríguez-Malagón, M, Méndez-Sánchez, F. y Latofski-Robles, M. (2011). Island restoration in Mexico: ecological outcomes after systematic eradications of invasive mammals. *Island Invasives: Eradication and Management*. (pp.250–258).
- Álvarez Martínez, J. (1994) *Dinámica sucesional tras el abandono y recuperación del matorral mediante pastoreo controlado. Experiencia en un sector de la montaña de León*. Tesis, Universitat De Lleida. Salamanca.
- Anselmo, J, Di Franco, L, y Feijoó, C. (2019). Interpretación visual de imágenes satelitales: cuencas hídricas. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GeoSIG)*, 11(13): 46–67.
- Badii, M. H., Guillen, A, Araiza, L. A, Cerna, E, Valenzuela, J, y 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.
- Beltran, R., Kreidler N, Van Vuren, D, Morrison, S, Zavaleta, E, Newton, S, Tershy, K, Bernie, R. y Croll, D. (2014). Passive Recovery of Vegetation after herbivore eradication on Santa Cruz Island, California. *Restoration Ecology*, 22(6): 1-8.
- Boone, B., Lockett, J, Galvin, K, Ojima, D. y 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
- Bowen, L., y Van Vuren, D. (1997). Insular endemic plants lack defenses against herbivores. *Conservation Biology*, 11(5), 1249–1254. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1997.96368.x>
- Braun-Blanquet J. (1932). *Plant Sociology: the study of Plant Communities*. 5ta ed. Traducido del francés por Fuller, G. y Conard, H. (ed.) Vol. 132. New York y London: McGraw-Hill. 1932. 1-472 p.
- Berlanga-Robles, C., y Ruiz-Luna, A. (2006). Evaluación de cambios en el paisaje y sus efectos sobre los humedales costeros del sistema estuarino de San Blas , Nayarit (México) por medio de análisis de imágenes Landsat Assessment of landscape changes and their

- effects on the San Blas estuarine sys', *Ciencias marinas*, 32, pp. 523–538.
- Campbell, K., y Donlan, C. (2005). Feral goat eradications on islands. *Conservation Biology*, 19(5), 1362–1374. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00228.x>
- Carlquist, S. (1974). *Island biogeography*. New York, London: Columbia University Press.
- Castro, R., Mascarenhas, A, Sánchez-Barba, A, Durazo, R. y Gil-Silva, E. (2005). Condiciones meteorológicas en el sur de Isla Guadalupe. En: Santos del Prado, K y Peters, E. (eds.). *Isla Guadalupe: restauración y conservación*. México, D.F. INE-SEMARNAT. (pp. 219-229).
- 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., Aguirre-Muñoz, A. y Delgadillo-Rodríguez, J. (2018). Asociaciones vegetales de los matorrales de Isla Guadalupe, México. *Polibotánica*, 46, 28-49. Recuperado de <https://10.18387/polibotanica.46.3>
- Coblentz, B. (1978). The effects of feral goats (*Capra hircus*) on island ecosystems. *Biological Conservation*, 13(4), 279–286. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(78\)90038-1](https://doi.org/10.1016/0006-3207(78)90038-1)
- Chuvieco, E. (1985) Aportaciones de la Teledetección espacial a la cartografía de ocupación del suelo. *Anales de geografía de la Universidad Complutense*, 5: 29–48.
- Chuvieco, E. (1995) *Fundamentos de teledetección espacial*. (2a ed). Madrid, España.
- Chuvieco, E. (2002) *Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio*. Ariel Ciencia.
- 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. <https://doi.org/10.1080/014311699212056>
- Chynoweth, M., Litton, C, Lepczyk, C, Hess, S. y Cordell, S (2013). Biology and Impacts of Pacific Island Invasive Species. 9. *Capra hircus*, the Feral Goat (Mammalia: Bovidae). *Pacific Science*, 1, 67(2), 141–156. <https://doi.org/10.2984/67.2.1>
- Cohen, B. (2009) A spatial database of Santa Cruz Island vegetation. In: Damiani, C. y Garcelon, D. (eds.). *Proceedings of the 7th California Islands Symposium*. Arcata, California: Instituto for Wildlife Studies. (pp. 229–244).
- Cole, R., y Litton, C. (2014). Vegetation response to removal of non-native feral pigs from Hawaiian tropical montane wet forest. *Biological Invasions*, 16(1), 125-140. <https://doi.org/10.1007/s10530-013-0508-x>
- Congalton, R., y Green, K. (1999) *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. Boca Raton, Florida. Lewis Publishers.
- Corry, P., y Mceachern, K. (2009). Patterns in post-grazing vegetation changes among species and environments, San Miguel and Santa Barbara islands. In: Damiani, C. y Garcelon, D. (eds.). *Proceedings of the 7th California Islands Symposium*. Arcata, California: Instituto for Wildlife Studies. (pp. 201–214).
- Del Toro, N., Gomariz-Castillo, F, Cánovas-García y Alonso-Sarria, F. (2015). Comparación de métodos de clasificación de imágenes de satélite en la cuenca del río Argos (Región de Murcia). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (67), pp. 327–348.
- Delgadillo, J. (2014). Manual de Prácticas de Campo. Geobotánica. Ensenada, Baja California.
- Delgado-Argote, L., García-Abdeslem, J. y Mendoza, R. (1993). Correlación geológica entre la batimetría y los rasgos estructurales del oriente de la Isla Guadalupe. En: Delgado-Argote, L. y Martín. A. (eds.). *Contribuciones a la Tectónica de México, Monografía No.1*. México: Unión Geofísica Mexicana. (pp. 1-11).
- Donlan, J., Tershy, B. y Croll, D (2002). Islands and introduced herbivores: Conservation action as

- ecosystem experimentation. *Journal of Applied Ecology*, 39: 235–246
- Donlan, J., Croll, D. y Tershy, B. (2003) Islands, Exotic Herbivores, and Invasive Plants: Their Roles in Coastal California Restoration. *Restoration Ecology*, 11(4): 524–530.
- ERDAS (2014). ERDAS Imagine 2014. Hexagon Geospatial, Peachtree Corners Circle Norcross.
- Escandón-Calderón, J., Ordóñez-Díaz, J, Nieto De Pascual Pola, M. y Ordóñez-Díaz, M. (2018). Cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo del 2000 al 2009 en Morelos, México. *Revista Mexicana de Ciencias forestales*, 9(46): 27–51.
- Flórez-Yepes, G.; Rincon-Santamaría, A, Santiago Cardona, P. y Alzate-Alvarez, A. (2017) Análisis multitemporal de las coberturas vegetales en el área de influencia de las minas de oro ubicadas en la parte alta del sector de Maltería en Manizales. *DYNA*, 84(2001): 1–12.
- Galán de Mera, A., Y. and Vicente-Orellana, J. (2007). Cronosequences of vegetation - A bioclimatic theory for interpreting the patterns of relict vegetation types. *Phytocoenologia*, 37(3–4): 471–494. doi: 10.1127/0340-269X/2007/0037-0471
- 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. y Biavaschi, N. (2005). Cartografía base para la conservación de Isla Guadalupe. Avances, perspectivas y necesidades. En: Santos del Prado, K. y Peters, E. (eds.), *Isla Guadalupe: restauración y conservación*. México, DF, México: Instituto Nacional de Ecología — Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (pp. 19-25)
- Garcillán, P., Vega, E. y López-Reyes, E. (2009). Recruitment response of Guadalupe cypress (*Callitropsis guadalupensis*) three years after goat eradication on Guadalupe island. In: Damiani, C. y Garcelon, D. (eds.). *Proceedings of the 7th California Islands Symposium*. Arcata, California: Instituto for Wildlife Studies. (pp. 177-183).
- Garcillán, P., Vega, E. y Martorell, C. (2012). The *Brahea 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
- Gilabert, M., González, J. y García, J. (1997). Acerca de los índices de vegetación. *Revista de Teledetección*, (8): 1-10.
- Gobbi, M., y 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.
- González-Abraham, C., P. G. y and Ezcurra, E. (2010). Ecorregiones de la península de Baja California: una síntesis. *Bol.Soc. Bot. Méx.*, 82(87), pp. 69–82.
- Guerra-Peña, F. (2003). Las doce principales reglas de la interpretación fotogeológica y las bases fundamentales de que se derivan. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, (50): 42-66.
- Guilliams, M., Carter, B, Ceceña-Sánchez, M, Delgadillo, J, Holzman, B, Junak, S, Knapp, D, Luna-Mendoza, L. y Vanderplank, S. (2017). La extraordinaria flora de las islas de California. *Fremontia*, 45 (3), 5-11.
- Hamann, O. (1993). On vegetation recovery, goats and giant tortoises on Pinta Island, Galápagos, Ecuador. *Biodiversity and Conservation*, 2(2), 138–151.

- 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
- Imagery© 2021. Digital Globe, Inc.
- Jones, J., Junak, S. y Paul, R. (1993). Progress in Mapping Vegetation on Santa Cruz Island and a Preliminary Analysis of Relationships with Environmental Factors. In: Hochberg, F. (ed.). *Third California Islands Symposium: Recent Advances in Research on the California Islands*. Santa Barbara Museum of Natural History. Santa Barbara, CA. (pp. 97-104).
- Junak, S. (2005). Esfuerzos recientes de conservación y apuntes sobre el estado actual de la flora de Isla Guadalupe. En: Santos del Prado, K. y Peters, E. (eds.). *Isla Guadalupe: restauración y conservación*. México, D.F. INE-SEMARNAT. (pp. 83-90).
- Klinger, R., Schuyler, P. y 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. y Clout, M. (eds.). *Turning the tide: the eradication of invasive species*. Gland, Switzerland y Cambridge, UK: IUCN SSC Invasive Specialist Group. (pp. 141-154).
- Knapp, D. (2005). Vegetation Community Mapping on Santa Catalina Island Using Orthorectification and GIS. In: Garcelon, D. y Schwemm, C. (eds.). *Proceedings of the Sixth California Islands Symposium*. National Park Service Technical Publication CHIS-05-01, Arcata, California: Instituto for Wildlife Studies. (pp. 205-212).
- Landis, R., y Koch, G. (1977) The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data Data for Categorical of Observer Agreement The Measurement. *Biometrics*, 33(1), pp. 159-174.
- León de la Luz, J. L., Rebman, J. y Oberbauer, T. (2003). On the urgency of conservation on Guadalupe Island, Mexico: is it a lost paradise? *Biodiversity Conservation*, 12, 1073-1082. <https://doi.org/10.1023/A:1022854211166>
- León de la Luz, J. L., y Rodríguez-Cadena, D. (2006). Herbivory of feral goats on Espiritu Santo Island, Mexico. *Geographical*, 22(2), 1135-1143.
- Linares, M., Jurado, E, Y. and López, C. (2005). Efecto del fuego en el establecimiento de *Arctostaphylos pungens* Hbk., en ecosistemas templados semihúmedos de Durango, México. *Madera y Bosques*, 11(2): 35-48.
- Lizzi, J., Garbulsky, M, Golluscio, R. y Deregibus, A. (2007). Mapeo indirecto de la vegetación de Sierra de la Ventana, Provincia de Buenos Aires. *Ecología Austral*, 17, 217-230.
- Longcore, T., Noujdina, N. y Dixon, P. (2018) Landscape Modeling of the Potential Natural Vegetation of Santa Catalina Island, California. *Western North American Naturalist*, 78(4), 617-632. doi: 10.3398/064.078.0406.
- López-Jiménez, L., Durán-García, R. y Dupuy-Rada, J. (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*. Doctoral Thesis, 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. y Mendez, F. (2019). Ten years after feral goat eradication: the active restoration of plant communities on Guadalupe Island, Mexico. In: Veitch, C., Martin, A, Russell, J. y West, C. (eds.). *Island invasives: scaling up to meet the challenge*. Gland, Switzerland: IUCN. (pp. 571-575).
- Margalef, R. (1982). *Ecología*. 1ª ed. Barcelona, España: Omega, Ediciones S.A.
- Maza-Villalobos, S. (2012). *Patrones, procesos y mecanismos de la comunidad regenerativa de*

- un bosque tropical caducifolio en un gradiente sucesional*. Tesis doctorado, Universidad Autónoma de México. México, D.F.
- 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. y Van Hoesen, J. (2016). *Mastering QGIS* (2a ed.). Birmingham, UK: Packt, Publishing, Ltd.
- Moran, R. (1996). *The Flora of Guadalupe Island, Mexico*. San Francisco, California: Memoirs of the California Academy of Sciences. 190 pp.
- Munson, B., Dixon, P, Havstad, E, Howe, E, Hoyer, W, Junak, S, Guilliams, Knapp, D, Luna-Mendoza, L, McEachern, Ratay, S, Rebman, J, Rodriguez, D, Schuyler, P, Vanderplank, S. y Wilker, D. (2017). Remarkable recoveries and fantastic discoveries. *Fremontia*, 45 (3), 21-25.
- 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 Índices de vegetación%2C 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.
- Myers, N., Mittermeier, R, Mittermeier, C, Da Fonseca, G. y Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403: 853–858.
- Noy-Meir, I., Gutman, M. y Kaplan, Y. (1989). Responses of Mediterranean grasslands plants to grazing and protection. *Journal of Ecology*, 77: 290–310.
- Numata, I., Roberts, D. A, Chadwick, O, Schimel, J, Sampaio, F, Leonidas, F. y 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. In: Garcelon, D. y Schwemm, C. (eds.). *Proceedings of the Sixth California Islands Symposium*. National Park Service Technical Publication CHIS-05-01, Arcata, California: Instituto for Wildlife Studies. (pp. 143-153).
- 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. y 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 Area Natural Protegida estratégica para México*. Tesis de doctorado. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur.
- Peinado, M., Alcaraz, F, Aguirre, J. y Alvarez, J. (1994). Vegetation Formations and Associations of the zonobiomes along the North-American Pacific Coast. *Vegetatio*, 114:123-135

- Peña, M. A., y 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. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7931>
- Pix4D. (2017). Pix4Dmapper. Obtenido 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.
- Ratay, S., S. V. and B. W. (2014). Island specialists: shared flora of the Alta and Baja California Pacific islands. *Monographs of the Western North American Naturalist*, 7: 161–220.
- Rebman, J., Oberbauer, T. y León de la Luz, J. (2002). The flora of Toro islet and notes on Guadalupe Island, Baja California, Mexico. *Madroño*, 49(3), 145–149.
- Rebman, J., Gibson, J. y Rich, K. (2016) *Annotated Checklist of the Vascular Plants of Baja California, Mexico*. San Diego, California. Proceedings of the San Diego Society of Natural History. San Diego Natural History Museum.
- 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.
- Rogers, D., Vargas Hernández, J, Matheson, C. y Guerra Santos, J. (2005). Conserving the Pines of Guadalupe and Cedros Islands, Mexico: An international collaboration. In: Romero, A., y West, S. (eds.) *Environmental Issues in Latin America and the Caribbean*. (pp. 31–54). doi: 10.1007/1-4020-3774-0.
- Rosete Vergés, F., Pérez Damián, J. y Bocco, G. (2008). Cambio de uso del suelo y vegetación en la Península de Baja California, México. *Investigaciones geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, UNAM, 67, 39-58.
- Rouse, J., Haas, R, Schell, J, Deering, D. y 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. y 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.
- Rzedowski, J. (1978) *Vegetación de México*. 1ra ed. México, D.F.: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). doi: 10.2307/1219727.
- Sánchez-Rodríguez, E., Torres-Crespo, M, Fernández Palacios-Carmona, A, Aguilar-Alba, A, Pino-Serrato, I. y 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: IX Congreso del Grupo de Métodos Cuantitativos, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección*. Alcalá de Henares, Madrid, España. (p. 11). Recuperado de age-tig.es/docs/IX_2/Sanchez_Esperanza.PDF
- StatSoft, I. (2014). STATISTICA version 12. Recuperado de www.statsoft.com
- Terradas, J. (2001). Ecología de la vegetación. De la ecofisiología de las plantas a la dinámica de

- comunidades y paisajes. Ediciones Omega: Barcelona, España. 703 pp.
- The Plant List* (2018). Version 1.1. Published on the Internet; (no date). Available at: <http://www.theplantlist.org/> (accessed 9th March).
- Trejo, I., y 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
- Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. 09 Mar 2021*<<http://www.tropicos.org>> (no date).
- Valencia, J., Trujillo, L. y 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, Valles-Pérez, M, Stahle, D. W. y 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
- Van Vuren, D., y Coblenz, B. (1987). Some ecological effects of feral sheep on Santa Cruz island, California, USA. *Biological Conservation*, 41(4), 253–2
- Vega, A., López-García, J. y Manzo, L. (2008). Análisis espectral y visual de vegetación y uso del suelo con imágenes Landsat ETM + con apoyo de fotografías aéreas digitales en el Corredor Biológico Chichinautzin, Morelos, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 67: 59–75.
- Westman, W. (1983) Island Biogeography: Studies on the xeric shrublands of the inner Channel Islands, California. *Journal of Biogeography*, 10(2): 97–118.
- Wilcove, D., Rothstein, D, Dobow, J, Phillips, A. y Losos, E. (1998) Quantifying threat to imperiled species in the United States. *BioScience*, 48(8), pp. 607–615.
- Wilcoxon, F. (1945). Some Uses of Statistics in Plant Pathology. *Biometrics Bulletin*, (4): 41-45. doi:10.2307/3002011
- Wiley, D. (2012) *Vegetation Change on San Clemente Island Following*. Masters Thesis, San Diego State University.

11. ANEXOS

Anexo A. Listado de florístico de los matorrales y forma de crecimiento. A=Arbusto, G= Geófita, HA= Herbácea anual, HP= Herbácea perenne, P= Parásita, Sf=Sufrútice, Su=Suculenta.

Comunidad: BOCI: Bosque de ciprés, BOPI: Bosque de pino, PALM: Palmar, MANO: Matorral norte, MDM: Matorral desértico marítimo (*Ambrosia-Atriplex*), MAS: Matorral *Atriplex-Sphaeralcea*, MGI: Matorral Mesa de Guadalupe e islotes, PAST: Pastizal inducido.

Nombre	Familia	Forma de vida	Estatus	Comunidad
<i>Mesembryantum nodiflorum</i> L.	Aizoaceae	Ha	Exótica	MGI
<i>M. crystallinum</i> L.	Aizoaceae	Ha	Exótica	MGI
<i>Atriplex barclayana</i> (Benth.) D. Dietr.	Amaranthaceae	Suf	Nativa	MDM-MGI
<i>A. semibaccata</i> R.Br.	Amaranthaceae	Suf	Exótica	MDM-MGI-PAST
<i>A. suberecta</i> Verd.	Amaranthaceae	Suf	Exótica	MDM-MGI-PAST
<i>Suaeda taxifolia</i> (Standley) Standley	Amaranthaceae	Suf	Nativa	MAS
<i>Malosma laurina</i> (Nutt.) Abrams	Anacardiaceae	Arb	Nativa	MANO
<i>Lomatium insulare</i> (Eastw.) Munz	Apiaceae	Ha	Endémica	MGI-MANO
<i>Brahea edulis</i> H. Wendl. ex S. Watson	Arecaceae	Ar	Endémica	PALM
<i>Triteleia guadalupensis</i> L.W. Lenz	Asparagaceae	G	Endémica	PAST-PALM
<i>Amblyopappus pusillus</i> Hook. & Arn.	Asteraceae	Ha	Nativa	PAST-MDM
<i>Ambrosia camphorata</i> (Greene) W.W. Payne	Asteraceae	Suf	Nativa	PAST-MDM-MGI
<i>Baeriopsis guadalupensis</i> J.T. Howell	Asteraceae	Suf	Endémica	MDM-MGI-MAS
<i>Centaurea melitensis</i> L.	Asteraceae	Suf	Exótica	PAST
<i>Deinandra greeneana</i> (Rose) subsp. <i>greeneana</i> B.G. Baldwin	Asteraceae	Suf	Endémica	MDM-MGI
<i>D. frutescens</i> (A. Gray) B.G. Baldwin	Asteraceae	Suf	Endémica	MANO
<i>D. palmeri</i> (A. Gray) B.G. Baldwin	Asteraceae	Suf	Endémica	MGI
<i>Encelia farinosa</i> A. Gray	Asteraceae	Arb	Nativa/*	MDM
<i>Hazardia cana</i> (A. Gray) Greene	Asteraceae	Arb	Nativa	BOCI-MANO-PAST
<i>Hypochaeris glabra</i> L.	Asteraceae	Ha	Nativa	PAST
<i>Lactuca serriola</i> L.	Asteraceae	Ha	Exótica	PAST
<i>Lasthenia californica</i> DC. ex Lindl.	Asteraceae	Ha	Nativa	PAST

<i>Leptosyne gigante</i> Kellogg	Asteraceae	Arb	Nativa	MGI
<i>Logfia filaginoides</i> (Hook. & Arn.) Morefield	Asteraceae	Ha	Nativa	PAST-MDM-MGI
<i>Pseudognaphalium</i> sp.	Asteraceae	HP	Endémica	MANO
<i>P. bioletti</i> Anderb.	Asteraceae	Ha	Nativa	MANO
<i>P. stramineum</i> (Kunth) Anderb.	Asteraceae	Ha	Exótica	MANO
<i>Perityle emoryi</i> A. Gray	Asteraceae	Ha	Nativa	PAST-MDM-MGI
<i>P. incana</i> A. Gray	Asteraceae	Suf	Endémica	BOPI-BOCI-MANO- MAS-MGI-PALM
<i>Senecio palmeri</i> A. Gray	Asteraceae	Suf	Endémica	BOCI-MANO-MAS- PALM
<i>Sonchus oleraceus</i> L.	Asteraceae	Ha	Exótica	PAST
<i>Stephanomeria guadalupensis</i> Brandegee	Asteraceae	Suf	Endémica	BOPI-MANO-MGI
<i>Amsinckia menziesii</i> (Lehm.) A. Nelson & J.F. Macbr.	Boraginaceae	Ha	Nativa	PAST
<i>Cryptantha maritima</i> (E. Greene) E. Greene	Boraginaceae	Ha	Nativa	PAST-MDM-MGI
<i>C. foliosa</i> (Greene) Greene	Boraginaceae	Ha	Endémica	PAST-MDM-MGI
<i>Emmenanthe penduliflora</i> Benth.	Boraginaceae	Ha	Nativa	PAST
<i>Pectocarya linearis</i> (Ruiz & Pav.) DC.	Boraginaceae	Ha	Nativa	BOCI-BOPI-MANO
<i>Phacelia floribunda</i> Greene	Boraginaceae	Ha	Endémica	MDM-MGI
<i>P. phyllomanica</i> A. Gray	Boraginaceae	Suf	Endémica	BOCI-MANO
<i>Pholistoma racemosum</i> (Nutt. ex A. Gray) Constance	Boraginaceae	Ha	Nativa	BOCI-MANO
<i>Lepidium oblongum</i> Small	Brassicaceae	Ha	Exótica	BOCI-MANO-PAST
<i>Cylindropuntia prolifera</i> (Engelm.) F.M. Knuth	Cactaceae	Arb	Nativa	MDM-PAST
<i>Mammillaria blossfeldiana</i> var. <i>shurliana</i> Wiggins	Cactaceae	Suf	Nativa	MDM-MGI
<i>Githopsis diffusa</i> var. <i>guadalupensis</i> (Morin) Lammers	Campanulaceae	Ha	Endémica	MDM-PAST
<i>Triodanis biflora</i> (Ruiz & Pav.) Greene	Campanulaceae	Ha	Nativa	MANO-PAST
<i>Herniaria hirsuta</i> ssp. <i>Cinerea</i> (DC.) Cout.	Caryophyllaceae	Ha	Exótica	PAST
<i>Silene gallica</i> L.	Caryophyllaceae	Ha	Exótica	PAST
<i>Spergularia macrotheca</i> (Hornem. ex Cham. & Schltldl.) Heynh.	Caryophyllaceae	Suf	Nativa	MDM-MGI
<i>Calystegia macrostegia</i> (Greene) Brummitt subsp. <i>macrostegia</i>	Convolvulaceae	Hp	Nativa	BOPI-BOCI-MANO- PALM
<i>Cuscuta</i> sp. Juss. ex Yunck.	Convolvulaceae	Ha	Nativa	MDM
<i>Marah guadalupensis</i> (S. Watson) Greene	Cucurbitaceae	vi	Endémica	MDM

<i>Hesperocypris guadalupensis</i> (S.Watson) D.P.Little	Cupressaceae	Ar	Endémica	BOCI
<i>Arctostaphylos</i> sp.	Ericaceae	Arb	Nativa/*	BOCI
<i>Chamaesyce pondii</i> (Millsp.) Millsp.	Euphorbiaceae	HP	Nativa	MGI
<i>Euphorbia misera</i> Benth.	Euphorbiaceae	Suf	Nativa	MGI
<i>Acmispon argophyllus</i> var. <i>ornithopus</i> (Greene) Brouillet	Fabaceae	Suf	Nativa	MANO-BOCI-BOPI
<i>A. grandiflora</i> (Dunkle) Brouillet	Fabaceae	Suf	Nativa	MANO-BOCI-BOPI
<i>Lupinus bicolor</i> Lindl.	Fabaceae	Ha	Nativa	PAST
<i>Lupinus guadalupensis</i> E. Greene	Fabaceae	Ha	Endémica	PAST-MDM
<i>L. niveus</i> S. Wats	Fabaceae	Hp	Endémica	BOCI-BOPI-MANO- PALM
<i>Trifolium microcephalum</i> Pursh	Fabaceae	Ha	Nativa	BOPI
<i>T. palmeri</i> S. Watson	Fabaceae	Ha	Endémica	MDM-MGI
<i>Vicia ludoviciana</i> Nutt. ex Torr. & A. Gray	Fabaceae	Ha	Nativa	PAST
<i>Quercus tomentella</i> Engelm.	Fagaceae	Ar	Endémica	BOPI
<i>Erodium cicutarium</i> (L.) L'Hér.	Geraniaceae	Ha	Exótica	PAST
<i>Mentzelia micrantha</i> (Hook. & Arn.) Torr. & A. Gray	Loasaceae	Ha	Nativa	PAST-MDM
<i>Malva occidentalis</i> (S. Watson) M.F. Ray	Malvaceae	Arb	Nativa	BOCI-MAS-MDM-MGI
<i>Sphaeralcea sulphurea</i> S. Watson	Malvaceae	Suf	Endémica	BOPI-BOCI-MANO- PALM-PAST
<i>S. palmeri</i> Rose	Malvaceae	Suf	Endémica	PAST-MAS-MDM-MGI
<i>Calandrinia ciliata</i> (Ruiz López & Pavon) DC	Montiaceae	Suf	Nativa	
<i>Calandrinia maritima</i> Nutt.	Montiaceae	Suf	Nativa	BOCI-MANO
<i>Claytonia parviflora</i> Douglas ex Hook.	Montiaceae	Ha	Nativa	BOCI-MANO
<i>C. perfoliata</i> subsp. <i>mexicana</i> Douglas ex Hook.	Montiaceae	Ha	Endémica	BOCI-MANO
<i>Mirabilis laevis</i> (Benth.) Curran	Nyctaginaceae	HP	Nativa	MAS-MDM-MGI
<i>Camissonia guadalupensis</i> (S. Watson) Raven	Onagraceae	Ha	Endémica	MDM
<i>Eschscholzia elegans</i> Greene	Papaveraceae	Ha	Nativa	MDM-MGI
<i>E. palmeri</i> Rose	Papaveraceae	Ha	Endémica	MDM-MGI
<i>Diplacus latifolius</i> A. Gray (~ <i>Mimulus latifolius</i> A. Gray)	Phrymanaceae	Ha	Nativa	PAST
<i>Pinus radiata</i> D. Don .	Pinaceae	Ar	Endémica	BOPI
<i>Antirrhinum nuttallianum</i> subsp. <i>sessile</i> (A. Gray) Jeps.	Plantaginaceae	Ha	Nativa	MAS-PAST
<i>Gambelia speciosa</i> (Nutt.)	Plantaginaceae	Arb	Nativa	MANO

<i>Plantago ovata</i> Forsskal	Plantaginaceae	Ha	Exótica	PAST-MDM-MGI
<i>Avena barbata</i> Pott ex Link	Poaceae	Ha	Exótica	PAST
<i>Bromus diandrus</i> Roth	Poaceae	Ha	Exótica	PAST
<i>B. rubens</i> L.	Poaceae	Ha	Exótica	PAST
<i>Lamarckia aurea</i> (L.) Moench	Poaceae	Ha	Exótica	PAST
<i>Vulpia myuros</i> (L.) C.C.Gmel.	Poaceae	Ha	Exótica	PAST
<i>Gilia nevinii</i> A. Gray ex Lyon	Polemoniaceae	Ha	Nativa	BOCI-BOPI-MANO
<i>Pterostegia drymarioides</i> Fisch. & C.A. Mey	Poligonaceae	Ha	Nativa	BOCI-BOPI-MANO
<i>Cistanthe guadalupensis</i> (Dudley) Carolin in Hershkovitz	Portulacaceae	Suf	Endémica	MGI
<i>Oligomeris linifolia</i> (Val.) J.F. Macabr.	Resedaceae	Ha	Exótica	MDM-MGI-PAST
<i>Ceanothus arboreus</i> Greene	Rhamnaceae	Arb	Nativa	MANO
<i>C. cf. greggii</i> var. <i>perplexans</i>	Rhamnaceae	Arb	Nativa	BOCI-MANO
<i>Rhamnus pirifolia</i> Greene	Rhamnaceae	Arb	Nativa	MANO
<i>Galium aparine</i> L.	Rubiaceae	Ha	Exótica	PAST
<i>Jepsonia malvifolia</i> (Greene) Small	Saxifragaceae	Ha	Nativa	BOPI-MANO-MDM
<i>Castilleja fructicosa</i> Moran	Scrophulariaceae	Ha	Endémica	MGI
<i>Lycium californicum</i> A. Gray	Solanaceae	Suf	Nativa	MAS-MDM-MGI
<i>Nicotiana glauca</i> Graham	Solanaceae	Arb	Exótica	MAS
<i>Solanum americanum</i> Mill.	Solanaceae	Ha	Exótica	PAST-MAS
<i>S. clokeyi</i> Munz [= <i>S. wallaceii</i> v. c.]	Solanaceae	Arb	Endémica	BOCI
<i>S. douglasii</i> Dunal	Solanaceae	Ha	Exótica	PAST-MAS
<i>Dipterostemon capitatus</i> (Benth.) Rydb.	Themidaceae	G	Nativa	BOCI-BOPI-MANO- PAST-MDM

*Posible endémica

Anexo B. Especies perennes compartidas en los tipos de coberturas vegetales. BOCI: Bosque de ciprés, BOPI: Bosque de pino, PALM: Palmar, MANO: Matorral norte, MDM: Matorral desértico marítimo (*Ambrosia-Atriplex*), MAS: Matorral *Atriplex-Sphaeralcea*, MGI: Matorral Mesa de Guadalupe e islotes, PAST: Pastizal inducido.

Especies	Coberturas								Total
	BOCI	BOPI	PALM	MANO	MDM	MAS	MGI	PAST	
<i>Sphaeralcea sulphurea</i>	X	X	X	X	X	X	0	X	7
<i>Perityle incana</i>	X	X	X	X	X	X	X	0	7
<i>Lupinus niveus</i>	X	X	X	X	X	0	X	0	6
<i>Malva occidentalis</i>	X	0	0	X	X	X	X	X	6
<i>Dipterostemon capitatus</i>	X	X	X	X	0	0	0	X	5
<i>S. palmeri</i>	0	0	X	0	X	X	X	X	5
<i>Calystegia macrostegia</i> subsp. <i>macrostegia</i>	X	X	X	X	0	0	0	0	4
<i>Lycium californicum</i>	0	0	0	0	X	X	X	X	4
<i>Cylindropuntia prolifera</i>	0	0	0	0	X	X	X	X	4
<i>Deinandra frutescens</i>	X	X	X	X	0	0	0	0	4
<i>Ambrosia camphorata</i>	0	0	0	0	X	0	X	X	3
<i>Atriplex barclayana</i>	0	0	0	0	X	X	X	0	3
<i>Ceanothus arboreus</i>	X	X	0	X	0	0	0	0	3
<i>Ceanothus</i> cf. <i>greggii</i> var. <i>perplexans</i>	X	X	0	X	0	0	0	0	3
<i>Gambelia speciosa</i>	0	0	X	X	0	X	0	0	3
<i>Hazardia cana</i>	X	0	0	X	0	0	0	X	3
<i>Pseudognaphalium</i> sp.	0	X	X	X	0	0	0	0	3
<i>Quercus tomentella</i>	0	X	X	X	0	0	0	0	3
<i>Senecio palmeri</i>	X	0	X	X	0	0	0	0	3
<i>Stephanomeria guadalupensis</i>	0	X	0	X	0	0	X	0	3
<i>Baeriopsis guadalupensis</i>	0	0	0	0	0	X	X	0	2
<i>Brahea edulis</i>	0	X	X	0	0	0	0	0	2
<i>Mammillaria blossfeldiana</i> var. <i>shurliana</i>	0	0	0	0	X	0	X	0	2

<i>Phacelia phyllomanica</i>	X	0	0	X	0	0	0	0	2
<i>Pinus radiata</i>	0	X	X	0	0	0	0	0	2
<i>Triteleia guadalupensis</i>	0	0	X	0	0	0	0	X	2
<i>Deinandra greeneana</i> spp. <i>greeneana</i>	0	0	0	0	X	0	X	0	2
<i>Deinandra palmeri</i>	0	0	0	0	X	0	X	0	2
<i>Euphorbia misera</i>	0	0	0	0	0	0	X	0	X
<i>Hesperocyparis guadalupensis</i>	X	0	0	0	0	0	0	0	X
<i>Lupinus guadalupensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	X	X
<i>Malosma laurina</i>	0	0	0	X	0	0	0	0	X
<i>Rhamnus pirifolia</i>	0	0	0	X	0	0	0	0	X
<i>Arctostaphylos</i> spp.	X	0	0	0	0	0	0	0	X
<i>Solanum wallaceii</i> subsp. <i>clokeyi</i>	X	0	0	0	0	0	0	0	X
<i>Suaeda taxifolia</i>	0	0	0	0	0	X	0	0	X
Total	15	14	14	18	12	10	14	10	