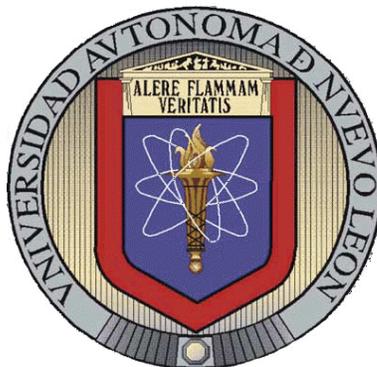


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**EVALUACIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO EN UN BOSQUE
DE CIPRÉS DE GUADALUPE (*Cupressus guadalupensis*) EN ISLA
GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA.**

Por

GABRIEL GERARDO MATA FLORES

**Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES**

Enero, 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

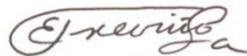
EVALUACIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO EN UN BOSQUE
DE CIPRÉS DE GUADALUPE (*Cupressus guadalupensis*) EN ISLA
GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA.

TESIS DE MAESTRIA

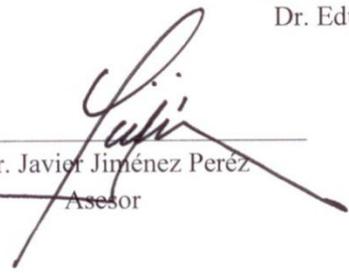
Para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES

Presentada por
Biol. Gabriel Gerardo Mata Flores

COMITÉ DE TESIS



Dr. Eduardo Treviño Garza
Director



Dr. Javier Jiménez Pérez
Asesor



Dr. Oscar A. Aguirre Calderón
Asesor

Linares, Nuevo León

Enero 2013

AGRADECIMIENTOS

A mi Buen Dios por ayudarme a llevar a buen término esta etapa en mi vida y por no abandonarme en este largo camino.

A mi Familia, porque su tremendo apoyo incondicional fue Fundamental para la culminación de mis estudios.

A todas aquellas personas que me brindaron su amistad durante mis estudios en la Facultad de Ciencias Forestales, por hacer que las jornadas largas de desvelo fueran mucho más ligeras.

Al Dr. Eduardo Treviño Garza, por su confianza, consejos y orientación en la realización de este trabajo de investigación

Al Dr. Javier Jiménez Pérez, por sus aportaciones y correcciones importantes en la realización de esta tesis.

Al Dr. Óscar Aguirre Calderón, por su valiosa ayuda en correcciones de la tesis, así como la confianza y la asesoría para el buen termino de mis estudios.

A todo el personal del Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C. Especialmente al Dr. Alfonso Aguirre Muñoz por las facilidades otorgadas para la realización del proyecto y al M.C. Julio Hernández Montoya por su amistad, confianza y apoyo durante mis muestreos en la Isla de Guadalupe.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo otorgado para la realización de mis estudios de posgrado.

DEDICATORIA

A mi Buen Dios

Por permitirme la Vida, fortalecerme espiritualmente en la prosperidad y en la adversidad. Por haberme guiado hasta este punto y darme salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres:

Consuelo Flores y Rogelio Mata, porque siempre he contado con su gran amor incondicional y su apoyo. Porque me han enseñado las lecciones más importantes de mi vida, una de ellas es no claudicar nunca en la búsqueda de mis sueños. Por los sacrificios que debieron pasar para que a mi hermana y a mí no nos faltara lo esencial

A mi hermana

Thania por ser mi compañera de vida desde la infancia. Porque su temple para enfrentar las cosas ha sido de mis principales fuentes de inspiración y su sentido del humor el antídoto perfecto contra el pesimismo.

A mi cuñado y mis sobrinos

Óscar por tener siempre disposición para escucharme y darme el comentario objetivo y honesto, porque su tenacidad para sacar adelante a mis sobrinos ha sido ejemplo para mí. A Lukas y Frida porque iluminan tremendamente cada día que los veo, por recordarme que no debo perder nunca el contacto con mi niño interior.

A las personas especiales

Zinthia por darme fortaleza y compartir tantas experiencias de vida. A mis amig@s Lizetto, Diana, Lidia, Alma, Ana, Libertad, Pity, Gera, Cayes, Chava, Jona, Fabio, Omar, Susana, Gloria, Felipe, Daniel, Noe, Chimal, Mederic, Jacqueline, Karla, Etc. Porque aparecieron en mi camino y lo llenaron de luz cuando lo necesitaba, les agradezco cada minuto compartido

INDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. ANTECEDENTES.....	14
3. OBJETIVOS.....	26
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	26
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
4. HIPÓTESIS.....	27
Hipótesis.....	27
5. JUSTIFICACIÓN.....	28
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
6.1. Descripción del área de estudio.....	29
6.1.1 Condiciones climáticas.....	29
6.1.2. Geología.....	30
6.1.3. Flora.....	31
6.1.4. Fauna.....	33
6.1.5. Fauna exótica.....	36
6.1.5.1. Cabras ferales.....	36
6.2. Descripción de la Especie.....	38
6.5. Aspectos sociales.....	39
6.6. Soberanía nacional.....	40
6.7. Sitios de Muestreo.....	41
6.8. Morfometrías Adultos.....	42
6.9. Morfometrías Renevos.....	43
6.10. Volumen.....	43
6.11. Carbono Almacenado.....	44
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	45
9. CONCLUSION.....	54
10. LITERATURA CITADA.....	55

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujos de carbono: las reservas se expresan en Pg de C y los Flujos en Pg C/año. (Schlesinger, 1999; Modificado de McVay y Rice, 2006).	16
Figura 2. Cabras encerradas en la zona del aguaje. (Foto: GECCI).	22
Figura 3. Crías de Albatros de Laysan (Foto: GECCI).	23
Figura 4. Plántulas de ciprés de Guadalupe.	24
Figura 5. Localización de Isla Guadalupe.	29
Figura 6. Vista de Isla Guadalupe.	31
Figura 7. Vista del lado este de la Isla Guadalupe.	32
Figura 8. Bosque de Palmas <i>Brahea edulis</i> .	33
Figura 9. Manada de carbas ferales en Isla Guadalupe.	37
Figura 10. Bosque de Ciprés de Guadalupe.	39
Figura 11. Pesquería de Abulón azul.	40
Figura 12. Ubicación de la Isla de Guadalupe (cuadro rojo).	41
Figura 13. Mapa con los tres rodales del Bosque de Cipreses.	42
Figura 14. Toma de datos de individuos adultos.	43
Figura 15. Ubicación de sitios de muestreo.	45
Figura 16. Mapa del rodal Norte y Central, en donde se observan las categorías de vegetación.	46
Figura 17. Mapa del rodal Sur, con las categorías de la vegetación.	47
Figura 18. Altura promedio y sus intervalos de confianza (95%) para los rodales central (1) y sur (2).	49
Figura 19. Individuos del Rodal Central.	50
Figura 20. Diámetro a la altura del pecho (DAP) y sus intervalos de confianza (95%) para los rodales Central (1) y Sur (2).	51
Figura 21. Individuo de <i>C. guadalupensis</i> en el rodal Sur.	51
Figura 22. Altura promedio de las plántulas y sus intervalos de confianza (95%) para los rodales Norte (1) , Central (2) y Sur (3).	52

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Gases de Efecto Invernadero.....	18
Tabla 2. Estatus actual de los taxa endémicos de las aves de Isla Guadalupe.....	35
Tabla 3. Áreas que ocupan las categorías del Bosque de Ciprés.....	47
Tabla 4. Número de individuos registraron de <i>C. guadalupensis</i>	48
Tabla 5. Volumen, Biomasa y Carbono almacenado en las categorías del Bosque de Ciprés.	48

RESUMEN

La recuperación de la vegetación en la Isla de Guadalupe después de más de 175 años de destrucción por las cabras ferales es más que evidente en el bosque de Ciprés (*Cupressus guadalupensis*) ya que ahora pueden observarse gran cantidad de plántulas y árboles juveniles, algo que no ocurría en el pasado debido a las cabras. En septiembre del 2008 se presentó un incendio que propicio la apertura de los conos del ciprés y mejoró las condiciones para la germinación de sus semillas. Este estudio estimó el carbono almacenado en los rodales remanentes de Ciprés de Guadalupe, así como el potencial de captura de acuerdo a las áreas recientemente ocupadas por las plántulas y al registro histórico de la extensión del bosque de *C.guadalupeensis* que ocupa una meseta en la porción norte de la Isla de Guadalupe, en el océano Pacífico al oeste de la costa Baja California. Esto como base para desarrollar, fortalecer y mejorar las acciones de conservación y restauración de las comunidades vegetativas presentes en la isla. Para la obtención de datos se realizaron dos excursiones a la Isla de Guadalupe, la primera en Mayo de 2011 y la segunda en Agosto del mismo año. Se muestrearon 140 sitios circulares distribuidos aleatoriamente en los rodales del bosque monoespecífico y en 44 de esos sitios hay 370 árboles adultos. Se registraron las morfometrías de los individuos adultos (altura y DAP), se considero la cantidad de carbono contenida en la biomasa como el 0.5 (IPCC, 1995) y una densidad de la madera de 0.85 g/cm^3 , como resultado se estimaron 5.21 toneladas de carbono almacenado en el Bosque de Ciprés, es decir 1.40 toneladas de CO_2 (27%) considerando el peso atómico. Se encontró que los individuos del rodal central tienen una mayor altura promedio (17.13 m) que aquellos del rodal sur los cuales promedian 13.94 metros ($F=24.92$, $p \text{ valor}= 0.000$). El rodal sur presentó un mayor DAP (57.96 cm), mientras que los del rodal central promediaron 42.28 cm con un 95% de confianza ($F= 12.16$, $p \text{ valor}= 0.006$).

Palabras clave: carbono almacenado, *C. guadalupensis* y biomasa.

ABSTRACT

The recovery of vegetation on the island of Guadalupe after more than 175 years of destruction by feral goats is more than evident in the Cypress forest (*Cupressus guadalupensis*). Nowadays large numbers of seedlings and young trees can be observed, which was not the case in the past because of the goats. In September 2008 there was a fire that enabled the cypress cones opening and improved conditions for seed germination. This study estimates the carbon storage and captures the potential according to the recently occupied areas of the seedlings and the historical record of the extent of *C. guadalupensis* forest, that occupies a plateau in the northern portion of the island of Guadalupe in the Pacific Ocean on the west coast of Baja California. This is a basis to develop, strengthen and improve conservation efforts and restore vegetative communities present on the island. For data collection were two trips to Guadalupe Island, the first in May 2011 and the second in August of that year. 140 circular sites were sampled randomly in monospecific forest stands and in 44 of these sites there are 370 mature trees. Were recorded morfometrías of adult individuals (height and DAP), was considered the amount of carbon contained in biomass as 0.5 (IPCC, 1995) and wood density of 0.85 g / cm^3 , as results were estimated 5.21 tons of carbon stored in the Cypress Forest, ie 1.40 tonnes of CO_2 (27%) considering the atomic weight. We found that individuals have a higher center stand average height (17.13 m) than those of the south stand which averaged 13.94 meters ($F = 24.92$, $p \text{ value} = 0.000$). The south stand had higher DAP (57.96 cm), while the center stand averaged 42.28 cm with 95% confidence ($F = 12.16$, $p \text{ value} = 0.006$).

Keywords: stored carbon, *C. guadalupensis* and biomass

1. INTRODUCCIÓN

Isla Guadalupe es la última frontera de México en su extremo más occidental y septentrional. Su origen volcánico y su lejanía del continente le confieren una biodiversidad única y una topografía abrupta y agreste que despierta el asombro de cuantos la visitan. Los primeros exploradores y naturalistas que la visitaron quedaron maravillados ante su imponente paisaje y su singular flora y fauna. Desde entonces es mucho lo que se ha estudiado y documentado sobre este territorio aparentemente inhóspito, ofreciendo crónicas de la naturaleza extraordinaria y característica de esta isla. Todavía hoy, al despuntar el siglo XXI, siguen apareciendo nuevos descubrimientos corroborando con ello la grandiosa y peculiar diversidad biológica de Isla Guadalupe.

En la actualidad, la vegetación en Isla Guadalupe presenta los efectos de lo que podría ser casi dos siglos de intenso pastoreo y ramoneo de cabras. Existe poca vegetación que pueda ser registrada en un mapa. El bosque de cipreses también está disminuyendo de manera precipitada. Las principales áreas en donde la vegetación parece una comunidad relativamente intacta son la parte sureste, en donde encontramos *Lycium*, *Atriplex* y *Ambrosia* y la mesa sur con *Deinandra greeneana* y *Deinandra palmeri*. Las notas de Palmer y otros (Watson, 1876; Gray, 1876; Greene, 1885; Anthony, 1925; Moran, 1996) ofrecen algunas ideas acerca de la existencia de conjuntos de vegetación y especies dominantes dentro de ellas. En épocas modernas Meling-Lopez (1985) estudió la vegetación existente en Isla Guadalupe, y considera que las comunidades vegetales que existen como remanentes probablemente existieron en el pasado.

La isla de Guadalupe, se encuentra situada a 260 km de la costa de Baja California. En ella crece un bosque de ciprés comunidad considerada como un caso especial. En la isla se encontraban varias especies arbóreas, pero debido a las catástrofes que le sucedieron, ahora solo cuenta con una sola especie que conforma la mencionada mancha boscosa: *Cupressus guadalupensis*. Esta especie es un árbol relativamente grande que alcanza entre los 12 y 18 m de altura y el tronco entre 2 y 5 m de diámetro, generalmente. De copa densa, redonda o subredonda. Se tienen datos acerca de su distribución histórica, en ellos se menciona que se

extendió sobre la mitad sureña de la isla hasta que fueron eliminados por las cabras, lo que provocó la desaparición de los aguajes y manantiales en la mitad sur.

Los servicios ambientales que generaba la isla se vieron alterados con la reducción del bosque el cual realizaba funciones como absorción de exceso de calor, retención de suelos, captura de carbono y regulación del ciclo hidrológico. En un sistema cerrado y delicado como lo son las islas, las alteraciones de este tipo tienen repercusiones más severas e inmediatas en las comunidades naturales que sostienen, generándose disminución, desplazamiento y desaparición de especies de flora y fauna.

En el año de 2008 se presentó un incendio, en las áreas afectadas por el se puede observar una regeneración y expansión del bosque, en donde las plántulas empiezan a sustituir a los árboles dañados o muertos y ocupan áreas en donde antes no se presentaban. Lo que aumentará los procesos fotosintéticos de la masa boscosa y se absorberá más bióxido de carbono (CO₂) atmosférico. Dado que los bosques jóvenes de crecimiento rápido capturan el CO₂ a una velocidad mayor que los árboles viejos (Granados, et al. 2007). La mayoría del arbolado en los rodales de ciprés tiene más de 100 años por lo que se considera un bosque sobremaduro.

Es importante llevar a cabo estudios que nos permitan conocer la dinámica del carbono con respecto a lo que está almacenado en el bosque remanente del incendio y por otro lado el potencial que se genera por el crecimiento de arbolado joven.

El área ocupada por el bosque presenta una topografía muy particular con pendientes variables. Lo anterior incide en la estructura y distribución del bosque. De igual manera los impactos y alteraciones provocados por el incendio crearon un mosaico de microhábitats en los que la regeneración ha respondido de distintas maneras. Uno de los impactos y quizá el más relevante fue la apertura de claros en el dosel con lo cual los renuevos tienen suficiente cantidad de luz para desarrollarse.

La recuperación del bosque de ciprés en Isla Guadalupe es primordial dada la riqueza biológica que representa por el alto grado de endemismos en su biota terrestre principalmente en plantas vasculares e insectos, así como el restablecimiento de los

servicios ambientales que genera, particularmente la captura de carbono en su forma de CO₂, el cual es considerado actualmente como uno de los gases de efecto invernadero (GEI) más importantes y que contribuye al cambio climático. Una regeneración exitosa supondría el aumentar la capacidad de almacenamiento de carbono.

2. ANTECEDENTES

El cambio climático representa uno de los mayores retos a enfrentar por parte de la sociedad moderna (Ordoñez y Masera, 2001). El nivel de concentración de CO₂ actual medido en el Polo norte es el mayor de los últimos 130 000 años y, de acuerdo con el IPCC (1995), para el año 2100 serán los más altos en la historia del planeta desde hace 30 millones de años. Existen variaciones en el clima que se presentan como parte natural de la dinámica terrestre obedeciendo principalmente a patrones en el movimiento de traslación del planeta. No obstante las actividades antropogénicas han logrado alterar el clima debido a la acumulación de gases de efecto invernadero, entre ellos el más importante es el CO₂ (Dixon *et al.* 1994) y su emisión a la atmósfera por el cambio en el uso del suelo ocupa el segundo lugar a nivel mundial, en este sentido la deforestación se calcula en cerca de 13 millones de hectáreas (FAO, 2010).

El carbono es un componente básico de todos los compuestos orgánicos y se relaciona con la fijación de energía por medio de la fotosíntesis. El carbono y el flujo de energía están estrechamente relacionados. De hecho, la productividad de los ecosistemas se expresa en gramos de carbono fijado por metro cuadrado por año. La forma química de todo el carbono presente en los seres vivos y en los depósitos fósiles es el dióxido de carbono atmosférico y el disuelto en los océanos de la Tierra (Smith y Smith, 2001).

El análisis del ciclo del carbono muestra que en la atmósfera se encuentran cantidades muy pequeñas, pero sumamente activas y vulnerables ante las perturbaciones ocasionadas por el hombre, las cuales modifican el clima y los patrones climáticos, afectando directamente la vida sobre la tierra (Odum y Barret, 2008).

Los almacenes de carbono se encuentran en los océanos, los suelos, reservas fósiles, los lechos de rocas, la atmósfera y la biomasa vegetal. El ciclo del carbono se define como el flujo de éste, en sus distintas formas, entre la superficie terrestre, su interior y la atmósfera. La fotosíntesis, respiración y oxidación son los principales procesos de intercambio; este intercambio sucede entre seres vivos, la atmósfera, el suelo y el agua (Ciesla, 1996).

Los cuatro depósitos de carbono son: la atmósfera, la biosfera terrestre (incluye los sistemas de agua fresca), los océanos y los sedimentos (incluye combustibles fósiles). Éstos están interconectados e intercambian carbono, siendo así, fuentes o sumideros. Los sumideros absorben carbono, mientras que las fuentes lo emiten. Por ejemplo, las plantas absorben carbono y se consideran sumideros; en cambio, los complejos industriales, así como el uso de combustibles fósiles, lo liberan, actuando como fuentes (Ciesla, 1996).

Las plantas adquieren CO₂ atmosférico por difusión a través de sus estomas, y este gas es transportado a sitios donde se lleva a cabo la fotosíntesis. Cierta cantidad regresa a la atmósfera, pero la cantidad fijada y convertida en carbohidratos en la fotosíntesis se conoce como producción primaria bruta (PPB). Ésta se ha estimado globalmente en 120 PgC/año³. La mitad de la PPB se incorpora en los tejidos vegetales (hojas, tallo, raíces y tejido leñoso) y la otra mitad regresa a la atmósfera como CO₂ a causa de la respiración autotrófica (Ra) (Jaramillo, 2005).

La Producción Primaria Neta (PPN) a nivel global se ha estimado en 60 PgC/año. Casi todo el carbono fijado por vía de la PPN regresa por medio de dos procesos: la Respiración heterótrofa (Rh) y la combustión por causas naturales o antropogénicas. La necromasa se incorpora al detritus y a la materia orgánica del suelo, donde se producen almacenes de carbono que regresan a la atmósfera en diferentes periodos (Jaramillo, 2005).

La Producción Neta del Ecosistema (PNE) es la diferencia entre la fijación de carbono por la PPN y las pérdidas por la Rh, en ausencia de perturbaciones como fuego, cosecha, transporte por los ríos a los océanos y erosión (Figura 1). Cuando se toma en cuenta la pérdida por éstas perturbaciones, lo que queda es el carbono acumulado en la biósfera a nivel global, conocido como Producción Neta del Bioma (PNB) (Jaramillo, 2005).

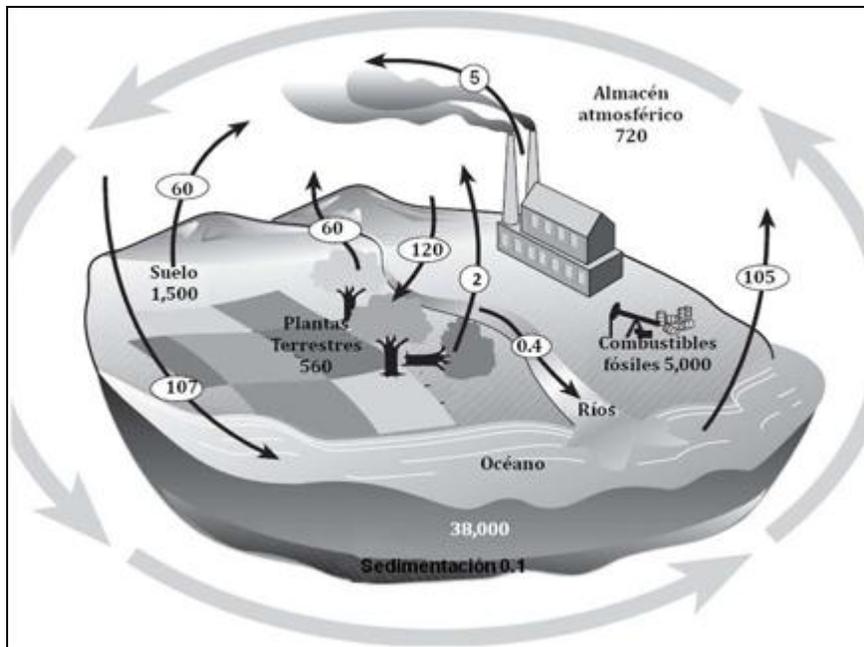


Figura 1. Flujos de carbono: las reservas se expresan en Pg de C y los Flujos en Pg C/año. (Schlesinger, 1999; Modificado de McVay y Rice, 2006).

A largo plazo, la tierra tiene que liberar la misma cantidad de energía que absorbe del sol. La energía solar entra al planeta como radiación de onda corta visible (240 Watt/m²), una fracción de ella es reflejada por la superficie terrestre y la atmósfera (103 Watt/m²). Una proporción significativa atraviesa la atmósfera y calienta la superficie (168 Watt/m²). Ésta absorbe cierta porción y la otra es reenviada a la atmósfera en forma de radiación infrarroja (PNUMA, 1999).

El vapor de agua, dióxido de carbono y otros “gases de efecto invernadero” presentes en la atmósfera absorben gran parte de la radiación infrarroja enviada por la Tierra e impiden que pase directamente al espacio exterior. Simultáneamente, procesos naturales (radiación, corrientes de aire, evaporación, formación de las nubes y lluvias) transportan la energía a altas esferas de la atmósfera, la liberan al espacio y una parte retorna a la superficie terrestre. Debido a que estos procesos son más lentos e indirectos el planeta no puede irradiar libremente energía, de lo contrario, sería un lugar frío y sin vida, desolado y estéril como Marte (PNUMA, 1999).

Existen tres factores que influyen directamente en el balance de energía de la Tierra: afluencia total de energía, depende de la distancia de la tierra del sol y la misma actividad solar; la composición química de la atmósfera; y el albedo, definido como la capacidad de la superficie de la tierra para reflejar luz. El factor que ha variado significativamente en los últimos años es la composición química de la atmósfera (IPCC, 2001).

Si las concentraciones de gases con efecto invernadero se mantuvieran constantes, la temperatura del planeta se mantendría en equilibrio. Se sabe que el clima de la tierra está en función del balance radiativo de la atmósfera y este depende de la entrada de la radiación solar, actividad radiativa, concentración o abundancia de gases con efecto invernadero, nubes y aerosoles (Ordoñez, 1999).

Son aquellos gases presentes en la atmósfera, de origen natural o antropogénico, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie terrestre, la tierra y las nubes (PICC, 2002).

Los gases de efecto invernadero (Tabla 1) se dividen en dos tipos, los de efecto directo e indirecto. Los de efecto indirecto son aquellos que influyen en la concentración de otros gases, por ejemplo, el ozono, que además de su atributo oxidante en la atmósfera baja, tienen la capacidad de atrapar la radiación infrarroja y filtrar radiación ultravioleta, tal como lo hacen los de “efecto directo” (PICC, 1995).

A partir de la revolución industrial (desde 1750 aproximadamente), la concentración de los gases de efecto invernadero se ha incrementado y ha perturbado el balance energético del sistema tierra-atmósfera. Las tendencias de aumento de concentraciones se le atribuyen en gran parte a las actividades humanas, principalmente al uso de combustibles fósiles, al cambio en el ordenamiento de las tierras y a la agricultura (PICC, 1995).

Tabla 1. Gases de Efecto Invernadero.

GEI	Concentración preindustrial	Concentración En 1994	Fuentes Antropogénicas	Permanencia en la atmósfera (años)
Dióxido de Carbono (CO₂)	280 ppmv	358 ppmv	Quema de combustibles fósiles. Cambio de uso de la tierra, etc.	50-200
Metano (CH₄)	700 ppbv	1720 ppmv	Combustibles fósiles. Arrozales. Vertederos. Explotaciones ganaderas.	12-17
Oxido nitroso (N₂O)	275 ppbv	312 ppmv	Fertilizantes Combustión en procesos industriales	120 – 150
FCs (CFC12)	-	503 pptv	Refrigerantes líquidos Espumas	102
HCFCs(HCFC 22)-	-	105 pptv	Refrigerantes líquidos	13
Perfluorocarbono (CF₄)	-	110 pptv	Producción de aluminio	50 000
Hexafluoruro de azufre (SF₆)	-	72 pptv	Producción de magnesio	1 000
Nota: pptv: 1 parte por trillón en volumen; ppbv: 1 parte por billón en volumen; ppmv: 1 parte por millón en volumen.				

Las teorías que explican los cambios del clima en planeta son tan variadas como el mismo clima. Las más comunes lo atribuyen a cataclismos geológicos y erupciones de polvo volcánicas a variaciones a largo plazo en la radiación solar y excentricidades en la órbita de la tierra. Solo la teoría del anhídrido carbónico, tiene como fundamento que la actividad humana tenga efecto en el clima (Plass, 1979).

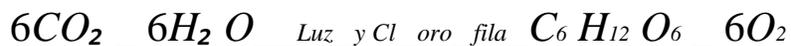
El CO₂ es considerado como uno de los GEI más importantes, tanto en términos de cantidad presente en la atmósfera como por sus potenciales efectos en el calentamiento global (Ciesla, 1996). Su concentración ha variado través del tiempo; antes de la industrialización, durante la primera mitad del siglo XIX, los niveles de concentración de CO₂ oscilaban alrededor de las 270 partes por millón por volumen (ppmv). En 1958 se registró una concentración de 315 ppmv, incrementándose a 343 ppmv en 1984; y en las últimas décadas del siglo XX la concentración se elevó aún más alcanzando a principios del siglo XXI 379 ppmv. Durante este periodo se estima que el incremento medio anual es de 0.5 ppmv (UNEP-GEMS, 1992; Bolin *et al.*, 1986; PICC, 2005).

El CO₂ se elimina de la atmósfera mediante varios procesos que operan en varios momentos, teniendo un tiempo de permanencia en ella relativamente largo. Si se mantienen los niveles actuales de emisión para finales del siglo XXI, se estima que la concentración podría oscilar en las 500 ppmv. Para lograr la estabilización entre la tasa de eliminación y la tasa de emisión es necesaria una reducción inmediata de las emisiones de 50 a 70 %, y proceder a más reducciones (PICC, 2005).

El crecimiento de las plantas y de la vegetación depende del balance entre la adquisición de carbono en forma de CO₂, mediante la fotosíntesis, y su pérdida también como CO₂, debido a la respiración. En esencia, la fotosíntesis es el único mecanismo que permite la entrada de energía al mundo viviente (Salisbury y Ross, 2000).

La energía lumínica es incorporada como energía química a la materia viva, a través de procesos fotosintéticos que presentan cierta diversidad evolutiva y conducen a la absorción de carbono para formar moléculas orgánicas (Terradas, 2001).

La reacción global de la fotosíntesis es la siguiente:



La fotosíntesis puede analizarse en dos fases: las reacciones fotoquímicas y el proceso de fijación de carbono por medio del Ciclo de Calvin.

Las transformaciones de los compuestos químicos hasta llegar a glucosa y almidón incluyen el llamado Ciclo de Calvin que describe las transformaciones primarias. La molécula de CO₂ reacciona con una molécula de 5C, llamada ribulosa difosfato (RuDP), y se forma una molécula de 6C que se rompe en dos moléculas de ácido fosfoglicérico; posteriormente, el ácido fosfoglicérico, por acción del NADPH y ATP (formados en la fase luminosa), pasan al aldehído fosfoglicérico. A partir del cual se forman azúcares (glucosa, sacarosa, almidón, etc.) regenerándose la ribulosa difosfato para continuar con el ciclo. El proceso descrito anteriormente lo realizan las plantas denominadas C₃, que incluyen a los árboles, exceptuando los mangles. Sin embargo, existen otros dos tipos de plantas: las C₄ y CAM (Metabolismo Ácido de las Crasuláceas). En estas plantas se produce un ciclo en el que el CO₂ se fija en ácido oxalacético y pasa después a málico (4C), para después incorporarse en el Ciclo de Calvin normal.

En las plantas C₄ el ciclo se realiza en el mesófilo y la vaina, reutilizando el CO₂ de la propia respiración, mientras que en las plantas CAM se hace en un momento distinto, por la noche, lo que permite cerrar los estomas de día para la fase de producción y ahorro de agua (Terradas, 2001).

Como ejemplo de las plantas C₄ se encuentran varias malezas y cultivos como la caña de azúcar, el sorgo y el maíz. Las CAM están representadas por las cactáceas, orquidáceas, bromeliáceas, liliáceas, y euforbiáceas (Salisbury y Ross, 2000).

En términos simples, la fotosíntesis se entiende como el proceso mediante el cual las plantas verdes atrapan energía solar, misma que utilizan para romper las fuertes ligaduras o enlaces entre oxígeno y demás elementos, y forman enlaces más débiles entre los otros elementos forzando a los átomos de oxígeno a aparecerse como oxígeno gaseoso, por ejemplo, para sintetizar la glucosa, la planta debe separar seis moléculas de oxígeno de seis moléculas de CO₂ con el hidrógeno de seis moléculas de agua. Desde el punto de vista

cuantitativo, la fotosíntesis es la ruta más importante en la reducción del carbono (Bassham, 1962).

La biomasa es considerada como una fuente de energía renovable, porque su valor proviene del sol. Cuando los carbohidratos derivados de la fotosíntesis se queman regresan a su forma de CO₂ y agua, liberando la energía que contienen. De esa forma, la biomasa tiene la función similar a una batería que almacena energía solar (BUN-CA, 2002).

La biomasa forestal es un importante elemento en las investigaciones sobre los cambios que ocurren a nivel mundial. A partir de la biomasa se puede calcular la concentración de carbono en la vegetación (aproximadamente el 50% de biomasa es carbono) y, por consiguiente, es posible hacer estimaciones sobre la cantidad de dióxido de carbono que se emite a la atmósfera cada vez que se desmonta o quema un bosque (FAO, 1995).

Para México este fenómeno es de vital importancia dado que se encuentra entre los 20 países con mayores emisiones de estos gases (IPCC, 1992 y 1995), además las proyecciones a futuro lo ubican dentro de las regiones más vulnerables a los impactos asociados al cambio climático debido a sus condiciones bioclimáticas y socioeconómicas.

Torres y Guevara (2002), definen los servicios ambientales como el conjunto de condiciones y procesos naturales que la sociedad puede utilizar y que ofrecen las áreas naturales por su simple existencia.

La isla posee un alto grado de endemismo de plantas vasculares e insectos que representan a los grupos más variados (Hubbs y Jehl, 1976), característica que le imprime un alto valor de oportunidad considerando que la Biodiversidad es un servicio ambiental de vital importancia.

Las diversas comunidades naturales presentes en isla Guadalupe han sido afectadas por el hombre al introducir especies exóticas como cabras, ratones, gatos y perros así como malezas europeas desde finales del siglo 18, alterando los ciclos naturales (Markham, 1925).



Figura 2. Cabras encerradas en la zona del aguaje. (Foto: GECI).

Una de las comunidades más afectadas ha sido el bosque de cipreses el cual ha disminuido de manera drástica como resultado de casi dos siglos de intenso ramoneo de las cabras ferales (Oberbauer, 2006).

La destrucción del hábitat por parte de las cabras así como la depredación por gatos ferales han sido los dos factores más importantes causantes de la disminución y extinción de algunas especies de aves (Mellink y Palacios, 1989).



Figura 3. Crías de Albatros de Laysan (Foto: GECI).

Las notas fragmentadas de los primeros botánicos muestran una disminución drástica en la vegetación durante el último cuarto del siglo XIX, no sólo en cuanto a escasez de las plantas y el descenso en la diversidad de especies, sino respecto a la eliminación de comunidades vegetales enteras (León et al. 2006). En el mismo trabajo se reportaron 36 especies endémicas, así como 22 semi-endémicas y 67 especies consideradas introducidas muchas de ellas malezas.

León de la Luz y colaboradores en 2003 estimaron que la población de cipreses era de poco más de 4 000 individuos, cuya tasa anual de mortalidad es de entre 3 y 4 %. Reportaron que muchos árboles mostraron daños en su corteza por el ramoneo y debido a la erosión del suelo y al descenso en el nivel freático causado por la disminución de árboles que condensaban la niebla, la mortalidad de adultos es extensiva.

Se han realizado estimaciones de la superficie que ocupan los tres rodales de *C. guadalupensis* y determinan que son 160 ha de superficie. Se ha mencionado que en esa superficie existen zonas con una pendiente de hasta 27 grados en el rodal más al norte. Se ha determinado que la densidad de árboles vivos era de 0.011 árboles/m² y que el número real de árboles remanentes se encuentra entre los 5,307 y los 7,113 árboles (Rodríguez Malagón, 2006)

Keith y colaboradores en el 2005 realizan una expedición a la isla Guadalupe y observaron que la vegetación encontrada dentro de cerco excluidores en ausencia de cabras se regeneraba rápidamente e incluso registraron especies que no se observaban desde finales del siglo XIX.

La erradicación completa de las cabras ferales se logró a principios del 2007 con lo cual la regeneración de las comunidades vegetativas se observó en toda la isla y no solo en los cercos excluidores, entre ellas plántulas de pino, ciprés y palma (Luna et al. 2007).

Oberbauer y colaboradores en el 2009 mencionan que en septiembre del 2008 un incendio afectó al 60 % del bosque de cipreses, lo que provocó que el bosque se expandiera y se renovara ya que el cono del ciprés es serótino. Además mencionan que con la apertura del dosel podrían reaparecer especies consideradas extintas ó podría observarse la invasión de malezas, por lo tanto; recomiendan que se realice un monitoreo constante de la regeneración del bosque.



Figura 4. Plántulas de ciprés de Guadalupe.

Palmer reportó que los cipreses crecían en grupos irregulares al centro de la isla (Watson 1876), él lo llamó un árbol altamente disperso, aunque con un hábitat variable, en promedio de 40 pies de alto. De acuerdo con Greene (1885), este árbol parece haber ocupado al menos la meseta de la mitad más norteña de la isla; pero hoy solo algunos de los troncos muertos permanecen. Franceschi (1893) escribió que el principal conjunto arbóreo en la meseta alta central cubría no menos que 2 o 3 millas cuadradas. Dudley (1899) escribió que muestras de la madera muerta encontradas en la parte sur de la isla presentaban más similitudes con la madera de ciprés que con la madera de junípero, que se creía que era. Él concluyó que el ciprés probablemente se extendió sobre la mitad sureña de la isla hasta que fueron arrasados por las cabras, y su desaparición también trajo la desaparición de agujajes en la mitad sur de la isla.

Los cipreses crecían en las laderas oeste y sur de la isla que están en vecindad con el Monte Augusta, entre los 950 y los 1200 m de elevación. El parche principal se extendía al oeste del Monte Augusta rodeándolo al sureste con un parche más pequeño y disperso al norte. Los únicos árboles en la ladera Este son unos que se extendían en la cabeza del cañón al sur de Monte Augusta. Los árboles caídos son especialmente numerosos en el área del Oeste, al noroeste de Monte Augusta y cada vez se ven más. La parte sureña del parche es todavía un bosque denso, pero muchos de sus árboles muestran daños severos en la corteza debidas a las cabras (Moran 1996).

Como otras plantas de la isla, ninguna plántula de ciprés se escapó de la depredación por cabras. Sin embargo, en las partes densas del parche se encontraban troncos delgados de 1 m de diámetro, los cuales tienen al menos 100 años de vida (Moran 1996). A lo largo del último siglo y medio, las cabras introducidas han provocado una reducción de cerca de 4,000 hectáreas de bosque a sólo 160 hectáreas. La cobertura original de matorral costero ha sido convertida en un páramo erosionado,

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la fijación de carbono como parte de la dinámica de la regeneración del bosque de Ciprés de Guadalupe (*Cupressus guadalupensis*).

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un SIG del bosque identificando zonas afectadas y no afectadas por el incendio.
- Realizar un inventario de la masa forestal.
- Evaluar el contenido de carbono entre madera de adultos y plántulas.
- Calcular la cantidad de carbono por la masa forestal.

4. HIPÓTESIS

Hipótesis

La regeneración ó renovación de una porción del bosque de ciprés aumentará su potencial de captura de carbono.

5. JUSTIFICACIÓN

En términos florísticos, la isla es considerada por Moran (1996) como un afloramiento separado de la Provincia Florística de California. Debido a su aislamiento, gran parte de la flora y la fauna son únicas. Hubbs y Rehnitz (1958) indican que la isla posee un alto grado de endemismo en los organismos vivos del litoral marino (p. ej., algas marinas, moluscos y peces), y Hubbs y Jehl (1976) proponen lo mismo para su biota terrestre, en especial en plantas vasculares e insectos que representan a los grupos más variados. En la actualidad, su vegetación se compone principalmente de especies de malezas; la flora prístina y las comunidades naturales de plantas prácticamente han desaparecido. Por lo cual resulta de importancia conocer lo que está pasando con los servicios ambientales que provee la comunidad del Bosque de Ciprés, particularmente la captura y almacenaje de carbono, considerando que la regeneración de las áreas afectadas por el incendio, incrementará la capacidad de captura de carbono del bosque. Además que la información generada se utilizará para establecer y mejorar los planes de conservación que operan en la Reserva de La Biosfera Isla Guadalupe.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Descripción del área de estudio.

Isla Guadalupe es un ecosistema insular único en su tipo. Cuenta con varios islotes y una cadena montañosa con elevaciones que alcanzan los 1,300 msnm. Se encuentra en la costa del Pacífico frente a la península de Baja California, entre las coordenadas 29° de latitud norte y 118° 20' de longitud oeste (figura 8). Se localiza frente al municipio de Ensenada (Figura 5), 251 Km. mar adentro, hacia el Oeste, siendo accesible sólo por barco y avión. Su superficie terrestre abarca 250 Km²

Es de origen volcánico oceánico, con dimensiones aproximadas de 37 x 8.5 km² y topografía que varía desde el nivel del mar hasta 1.3 km de altitud. Como ecosistema, junto con el resto de las islas del Pacífico noroeste mexicano, es única en su tipo (Aguirre-Muñoz *et al.*, 2003).

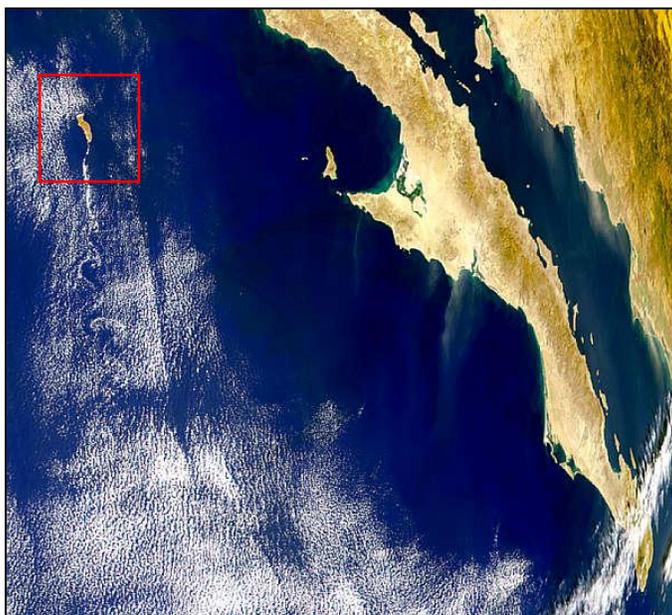


Figura 5. Localización de Isla Guadalupe.

6.1.1 Condiciones climáticas.

Isla Guadalupe comparte las características climáticas del noroeste del país. Posee —junto con el litoral occidental de la península de Baja California— un clima desértico a templado-

seco. De acuerdo a la tipología de Köppen, modificado por García (INEGI 1984) el clima de la zona costera que corresponde a esta isla es:

Tipo de clima:	Secos BS
Subtipo de clima:	Secos mediterráneos templados BSKs
Temporada de lluvias:	Invierno

Los principales factores climáticos determinantes en la región son el área de alta presión del Pacífico del Norte, los suaves alisios del NE, los ciclones pasajeros, los anticiclones de altas latitudes y la migración con las estaciones del año del cinturón de calmas ecuatoriales (SEMAR 1979).

Los vientos dominantes para la isla provienen del norte. Estos vientos acarrearán una capa de nubes y gran cantidad de humedad que afectan drásticamente la composición vegetal de la isla, debido a que las nubes y la niebla son prácticamente continuas a lo largo del año (Oberbauer 2005). Cabe mencionar, que por las características fisiográficas de la isla, dentro de ella se crean patrones climáticos propios. En el tercio norte de la isla, zona que alcanza los 1290 msnm, la temperatura es menor y la humedad mayor al resto de la isla. Mientras tanto, el tercio sureño es siempre el más seco, donde los fuertes vientos y la menor humedad influyen drásticamente la vegetación que ahí se encuentra. Sin embargo, el clima año tras año es regular o predecible. La precipitación promedio anual para el tercio sur de la isla, sitio donde se encuentra la estación meteorológica, es de 162 mm para un periodo seco, pero se han llegado a registrar hasta los 589 mm en las mejores temporadas (Oberbauer 2005). Aunque no se cuenta con información relevante, por las características del sitio, es de esperar que en el tercio norte de la isla, donde las nubes son constantes y la cobertura arbórea capta gran cantidad de niebla, la precipitación anual sea mucho mayor.

6.1.2. Geología

Isla Guadalupe es una isla volcánica (Figura 6) que sobresale del eje de una cresta de cordillera mesoceánica fósil que data de hace 7 millones de años (Dickey 1983). Esto la diferencia del resto de las islas de la región, que yacen en la plataforma continental. Las

rocas que se encuentran en la isla son de tipo ígneas, intrusivas y extrusivas, así como volcano-sedimentarias y metamórficas (INEGI 1984).



Figura 6. Vista de Isla Guadalupe.

6.1.3. Flora

Su riqueza florística se encuentra bien documentada. Incluida dentro de la Provincia Florística Californiana, en la isla existen 216 especies de flora vascular conocidas (Moran 1996). Alrededor de 30 de ellas están probablemente extintas en la isla. 45 especies, principalmente europeas, se consideran como colonizadoras recientes. 171 son consideradas nativas; de éstas, 34 especies y subespecies (21.8%) son endémicas, incluyendo 5 extintas. 114 especies (73%) crecen también en la alta California y sólo 5% en Baja California. 101 especies (65%) crecen en las islas de California, de las cuales 19 (12.2%) son endémicas insulares, y 6 de ellas tienen un parentesco cercano con las islas del sur de California (Moran 1996). Asimismo tiene bosques de especies o variedades endémicas de pino (*Pinus radiata* var. *binata*), cedro (*Quercus tormentella*) y ciprés (*Cupressus guadalupensis guadalupensis*) en la parte más alta y norteña de la isla. Amenazada por cabras ferales durante siglos, pero con un muy relevante y comprobado potencial de restauración (Moran 1996), la vegetación de la isla Guadalupe representa

florísticamente un tesoro y es un ejemplo más del capricho de la naturaleza de crear escenarios naturales de alto valor paisajístico (Figura 7).



Figura 7. Vista del lado este de la Isa Guadalupe.

Entre los tipos de vegetación presentes se incluyen el matorral costero y los bosques de coníferas y de palmares. En éstos últimos, gracias a la presencia de cabras ferales en la isla, no hubo reclutamiento de nuevas plántulas en más de un siglo (Moran 1996). Actualmente, gracias a la remoción casi total de la población de cabras, se reportan algunos datos sobre el reciente reclutamiento de algunas especies endémicas y nativas que se han documentado conforme avanzó la erradicación de ésta especie. Algunas de las plantas endémicas que se han visto beneficiadas con nuevos reclutamientos son: *Brahea edulis*, *Cupressus guadalupensis guadalupensis*, *Pinus radiata* var. *binata*, *Senecio palmerii*, *Stephanomeria guadalupensis* (Aguirre *et al.* 2005^b), todas ellas especies endémicas. Además se han redescubierto cuatro taxa considerados extintos y se ha visto una respuesta positiva en muchas especies que estaban al borde de la desaparición (Luna *et al* 2005).

Especies como *Lotus grandiflora*, *L. argophyllus*, *Sphaeralcea palmeri*, *S. sulphurea* y *Calystegia macrostegia* ahora dominan el paisaje, sobre todo en la porción más norteña de

la isla. Por otro lado, especies que desde la introducción de la cabra habían estado confinadas a lugares inaccesibles —riscos y cantiles—, como los endémicos *Perityle incana* y *Senecio palmeri* ahora se cuentan por cientos en planicies que antes solían dominar (Luna *et al* 2005).



Figura 8. Bosque de Palmas *Brahea edulis*.

6.1.4. Fauna

Isla Guadalupe posee una biodiversidad rica en aves marinas y terrestres. Los invertebrados —marinos y terrestres— y los mamíferos marinos también se encuentran bien representados. Sin embargo, la isla carece de mamíferos terrestres y reptiles nativos. Es claro, que su composición faunística fue determinada por su origen volcánico, su distancia del continente, su antigüedad y su tamaño. Además su altitud y su gran variedad de hábitats han ayudado a definirla (Aguirre *et al* 2003).

El caso de las aves de isla Guadalupe es realmente extraordinario. La isla es un importante centro de anidación de algunas especies oceánicas como el albatros de Laysan (*Phoebastria immutabilis*) (Gallo y Figueroa 1996), además alberga a la población entera de la subespecie anidante de invierno de petrel de Leach (*Oceanodroma leucorhoa cheimomnestes*). También es hábitat de algunas especies terrestres endémicas como el

junco de Guadalupe (*Junco insularis*), el pinzón de Guadalupe (*Carpodacus mexicanus ampulus*) y el saltaparedes roquero de Guadalupe (*Salpinctes obsoletus guadalupensis*). De las 133 especies de aves registradas para la isla, 51 son accidentales, 33 casuales, 3 se consideran posiblemente introducidas, 15 son raras y 20 anidantes comunes (Luna *et al*, en prensa).

Sin embargo, la isla también a lo largo del tiempo ha sufrido la desaparición de algunas de especies de plantas y animales. La destrucción de hábitat y las especies introducidas fueron la causa principal de estas extinciones (Aguirre *et al* 2003). Diez taxa de aves se han extinto, seis de ellos endémicos, a causa de la masiva pérdida y modificación del hábitat por las cabras y la presión de depredación por gatos ferales introducidos por el hombre en el siglo XVIII (Luna *et al* en prensa). Además, muchas de las colonias de aves marinas que anidan en la isla Guadalupe han sido extirpadas de varios de sus antiguos sitios de anidación. Actualmente y como consecuencia directa, sus rangos de distribución también se han reducido. Entre éstas se encuentran la pardela mexicana (*Puffinus opisthomelas*), el mérgulo de Xantus (*Synthliborhampus hypoleucus*), la alcuela oscura (*Ptychoramphus aleuticus*) el cormorán de Brandt (*Phalacrocorax penicillatus*). Esta reducción en sitios de anidación significa un serio incremento en el nivel de riesgo para estas especies (Aguirre *et al* 2003). Sin embargo, gracias al programa de restauración que se realiza actualmente en la isla, el provenir de sus especies de aves ya no es tan incierto. Muchas de ellas se verán beneficiadas con los programas de erradicación de especies exóticas y se espera, que al igual que las plantas, las poblaciones nativas de fauna comiencen una recuperación natural que las aleje paulatinamente de las amenazas que ahora enfrentan.

Tabla 2. Estatus actual de los taxa endémicos de las aves de Isla Guadalupe.

Nombre común	Nombre científico	Estatus
Petrel de Guadalupe	<i>Oceanodroma guadalupensis</i>	No se observa desde 1912
Petrel de Leach	<i>Oceanodroma leucorhoa cheimomnestes</i>	Reproductor
Caracara de Guadalupe	<i>Caracara lutosa</i>	Último colectado en 1900
Carpintero de Guadalupe	<i>Colaptes rufipileus auratus</i>	No se observa desde 1906
Saltapared de Guadalupe	<i>Thryomanes bewickii brevicauda</i>	No se observa desde 1903
Reyezuelo sencillo de Guadalupe	<i>Regulus obscurus calendula</i>	No se observa desde 1953
Rascador ojo rojo de Guadalupe	<i>Pipilo erythrophthalmus consobrinus</i>	No se observa desde 1897
Saltapared roquero de Guadalupe	<i>Salpinctes obsoletus (guadalupensis?)</i>	Reproductor
Junco de Guadalupe	<i>Junco (hyemalis) insularis</i>	Reproductor
Pinzón de Guadalupe	<i>Carpodacus mexicanus amplus</i>	Reproductor

En la isla hay, además, 11 caracoles terrestres endémicos (Pilsbury 1927). También hay destacados endemismos de invertebrados y una gran cantidad de colonias reproductoras de mamíferos marinos en varias de sus playas. Dentro de éstas últimas se incluyen: las dos únicas colonias reproductoras en el mundo del lobo de piel fina (*Arctostaphylus towsendii*), una de las más importantes colonias del elefante marino (*Mirounga angustirostris*), así como colonias destacadas de lobos marinos (*Zalophus californianus*) (Gallo *et al* 2005).

6.1.5. Fauna exótica

Uno de los principales problemas que enfrenta la isla son la presencia de especies exóticas de fauna y flora. Estas especies introducidas impactaron fuertemente a la flora y a las comunidades de aves. Entre las especies exóticas de la isla se encuentran gatos, perros, ratones y cabras. Todos ellos fueron introducidos por el hombre durante los últimos 150 años (Aguirre *et al* 2003). Sus poblaciones son muy variables. Mientras que para gatos y perros se estiman poblaciones en el orden de cientos, para los ratones mejor ni estimaciones se hacen, pues estos se encuentran por toda la isla. En el caso de las cabras será tratado a parte por haber sido la especie que más daños causó en este ecosistema insular.

6.1.5.1. Cabras ferales

Nadie sabe cuando las cabras llegaron a Guadalupe. La primera mención de su existencia en la isla fue hecha por Xantus en 1859 (Madden 1949, citado en Moran 1996). Se piensa, que al igual que en otras islas, los barcos balleneros o mercantes dejaron libres algunos ejemplares para que éstas se multiplicaran y pudieran contar con una reserva de carne fresca en cada uno de sus viajes. Y éstas se multiplicaron.

Una estimación hecha en 1870, bastante subjetiva, señala que quizá el número de cabras ferales alcanzaba los 100,000 individuos, y con una tasa de crecimiento como esa, en diez años bien pudieron haber alcanzado los 400,000. Las notas de algunos de los naturalistas de la época, señalan un declive exagerado de la vegetación durante los años siguientes (Moran 1996).



Figura 9. Manada de carbas ferales en Isla Guadalupe.

Debido al interés comercial que estos animales representan, en las décadas siguientes se presentaron varios intentos por aprovechar y mejorar las manadas ferales. Sin embargo, todos ellos fracasaron al encontrar dificultades de manejo mayores a las esperadas. Aun así la población de cabras se vio disminuida considerablemente (Moran 1996).

Sin embargo, su efecto fue devastador. Las cabras no solo provocaron la extinción de especies vegetales en la isla, sino que destruyeron su cobertura vegetal original y la cambiaron drásticamente. Su pastoreo excesivo impidió la reincorporación de materia orgánica al suelo, dejando el suelo expuesto a la evaporación por exceso de calor solar y al paso rápido del agua de lluvia, provocando la erosión inminente (Moran 1996). Esto encareció la reserva de nutrientes disponibles, aumentó la competencia e impidió el establecimiento de semillas. Además, la destrucción de las especies arbóreas provocó una disminución en la captación de neblina —la cual contribuye enormemente con el mantenimiento de las reservas de agua subterráneas— y la pérdida de hábitat para especies animales (Aguirre *et al* 2003).

Afortunadamente, la población de cabras ferales se encuentra en los límites de la extirpación ecológica. Desde el año 2004 se inició en la isla la erradicación efectiva de

cabras ferales. Ésta estuvo liderada por el Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C., pero en ella ha participado una gran red de instituciones civiles y gubernamentales nacionales e internacionales. Exitosamente, a la fecha se han erradicado cerca de 10,000 animales (Aguirre *et al* 2005^b). Por el momento, el proyecto está en su fase final de monitoreo con cabras centinelas. Quedando sólo algunas pocas cabras aisladas en zonas de acantilados (Luna *et al* 2005).

Sin embargo, aunque se pudiera pensar que los bosques remanentes ya se encuentran a salvo de la destrucción por parte de cabras ferales, la realidad es que los árboles continúan muriendo. La condición actual del bosque de ciprés es deprimente: árboles dispersos y viejos, y suelos pobres expuestos a la erosión. Esto hace necesario la implementación urgente de un programa de restauración que asegure la permanencia del bosque para muchos años más.

6.2. Descripción de la Especie

Cupressus guadalupensis S. Watson ssp. *guadalupensis*

Árbol entre 15-20 m de alto. De copa densa, ligeramente abierta, comúnmente redonda o subredonda. En árboles aislados es más ancha que alta, ocasionalmente terminada en punta. El eje principal se identifica cerca de la punta o se pierde entre las ramas. Tronco entre 2 y 5 dm. de diámetro, generalmente de 1 m y rara vez de 2 m, se han reportado hasta de 2.5 m. La edad es altamente fluctuante. Las ramas primarias generalmente ascienden entre 45-60°, la más baja entre 1-2 m arriba de la base. La corteza del tronco y de las ramas es suave; se muda anualmente con tiras no fibrosas, curvas y rígidas de 2 cm o más, tanto de ancho como de alto. La nueva corteza varía del color rosa al rojizo o verdoso, cambiando pronto a color gris o lavanda-gris; pero en algunos árboles la corteza de las ramas se mantiene suave mientras que la de corteza del tronco se muestra más persistente y fibrosa, a veces peluda, color café con hendiduras longitudinales. El follaje varía de verde a verde-azul glauco, esto último es altamente notorio en árboles jóvenes. Sus conos son ovalados, entre 24-40 mm de largo, generalmente con 8 o 10 escamas, con cuernos conspicuos de 6 mm de largo. A

Franceschi (1893) le llamó la atención la enorme variedad de los cipreses en hábitat y en color, también en tamaño y forma de los conos. Howell también notó esto.



Figura 10. Bosque de Ciprés de Guadalupe.

6.5. Aspectos sociales

Dentro de las actividades económicas que se desarrollan en la isla, se encuentran la pesca artesanal de abulón (Figura 11) y de langosta. Las especies explotadas son el abulón azul (*Haliotis fulgens*) y la langosta roja (*Panulirus interruptus*). Ambas actividades económicas se alternan durante el año y se realizan por la única comunidad pesquera que habita en la isla. Esta comunidad esta compuesta por cerca de 70 personas, entre pescadores y sus familias, quienes pasan en la isla 10 de los 12 meses del año.



Figura 11. Pesquería de Abulón azul.

Dentro de la isla también se cuenta con la presencia permanente del personal de la Secretaría de Marina—Armada de México. Seis o siete marinos resguardan la soberanía nacional en este territorio apartado. Ellos son los encargados de inspeccionar los barcos o aviones que llegan a la isla. Además cuentan con servicios de enfermería para la comunidad local.

Otro actor importante en la isla, desde finales del 2003, es el sector de la conservación. Desde el inicio del proyecto de restauración de isla Guadalupe, personal del Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C. —entre profesionistas y técnicos de campo— ha permanecido en la isla de manera constante. Mensualmente personal de esta institución es reemplazado. Sus actividades incluyen el mejoramiento de infraestructura y el monitoreo de especies nativas y exóticas. También la erradicación de cabras ferales está a su cargo. Ahora, después de dos años de presencia constante, ya son reconocidos por los locatarios como parte del entorno social.

6.6. Soberanía nacional

La isla, por su ubicación, es fundamental para la soberanía nacional. Gracias a su lejanía del continente (Figura 11), isla Guadalupe hace que se incremente notoriamente la Zona

Económica Exclusiva (ZEE) del país. A partir de su costa oeste, se inicia el conteo de las 200 millas de ZEE, dándole a ésta un incremento de 148,142 Km.², superficie equivalente a todo el estado de Sonora. Esto en consecuencia hace que el país cuente con una zona de pesca mucho mayor y que le sea posible aprovechar especies de amplia distribución oceánica (Aguirre *et al* 2003).

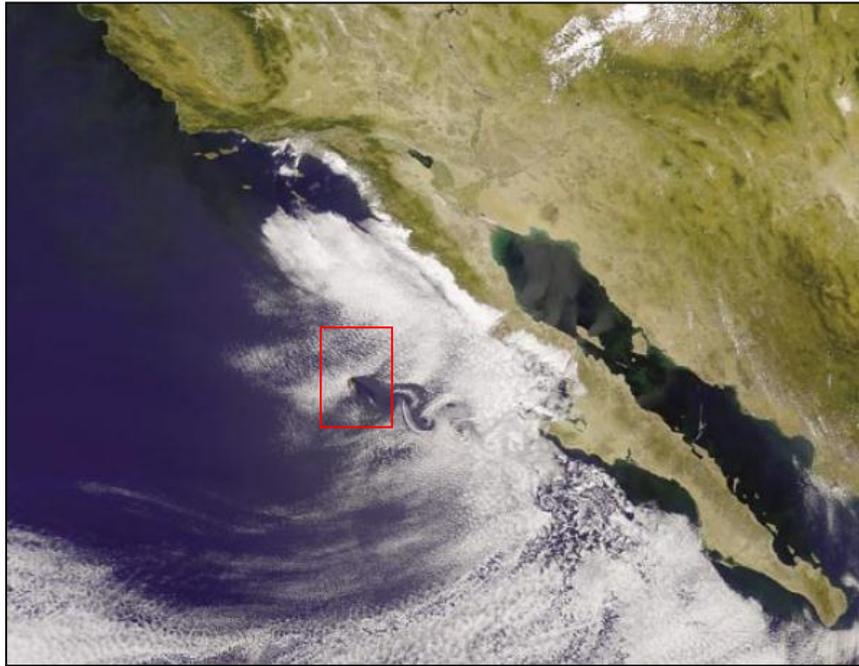


Figura 12. Ubicación de la Isla de Guadalupe (cuadro rojo).

6.7. Sitios de Muestreo

El bosque de *C. guadalupensis* se encuentra distribuido en tres rodales que se designan norte, central (ó Medio) y sur, los cuales se encuentran dentro de los 950 y los 1200 msnm y la superficie de los grupos principales en dichos fragmentos era de 160 ha antes del incendio (Rodríguez Malagón, 2006)(Figura 13).

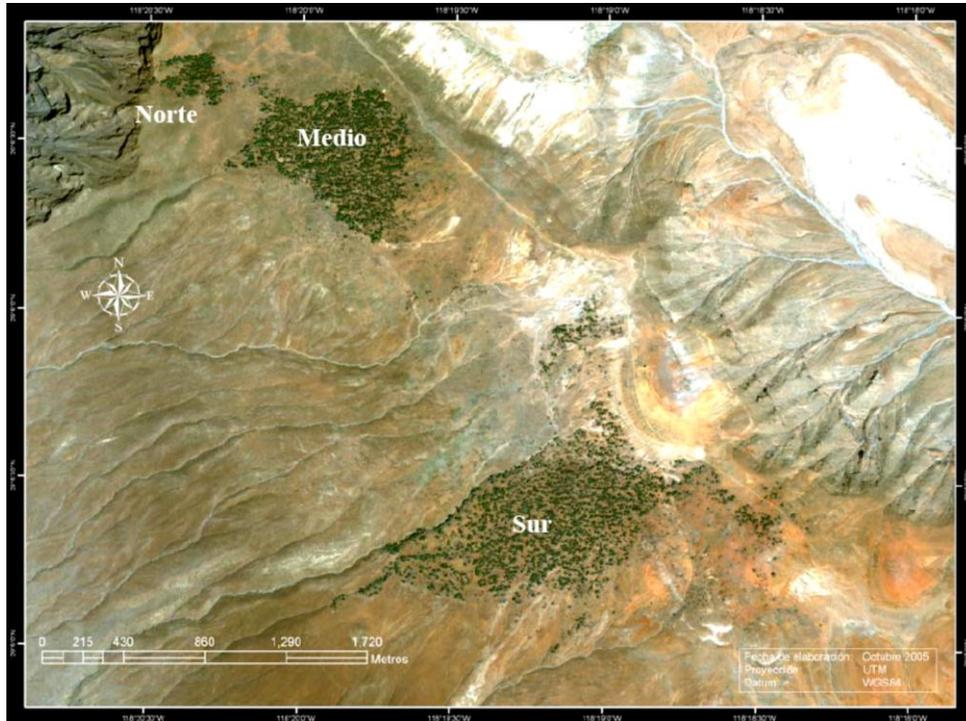


Figura 13. Mapa con los tres rodales del Bosque de Cipreses.

Se delimitaron los rodales correspondientes al bosque para distinguir las zonas afectadas por el incendio de aquellas donde se encuentra el bosque remanente. Se realizó un inventario forestal dentro de los rodales utilizando 140 puntos al azar previamente establecidos como parte de un programa piloto de monitoreo que realiza el Grupo de Ecología y Conservación de Islas, dichos sitios son circulares con un radio de 18 metros (equivalente a 1,017.87 metros cuadrados).

6.8. Morfometrías Adultos

En cada uno de los sitios se registró el diámetro, así como la altura de los individuos adultos y se tomaron datos correspondientes al estrato (dominante, co-dominante y suprimido) y al estado del individuo considerando si estaba sano, si presento daños causados por enfermedades ó por efectos del viento, así como el porcentaje del área afectada del individuo (Figura 14).



Figura 14. Toma de datos de individuos adultos.

6.9. Morfometrías Renuevos

Con respecto a los renuevos, se registraron en siete categorías de alturas establecidas, que son: (1) menores a 5 cm, (2) de 5.1 a 15 cm, (3) de 15.1 a 50 cm, (4) de 50.1 a 100 cm, (5) de 100.1 a 150 cm, (6) de 150.1 a 200 cm y (7) mayores a 200 cm.

6.10. Volumen

Con los datos de campo se realizó la determinación volumétrica de los individuos de *C. guadalupensis*. Para verificar si existen diferencias significativas entre los rodales en base a las morfometrías registradas, se realizó un análisis de varianza multifactorial (ANOVA). Una vez detectada la diferencia estadísticamente significativa entre los rodales, se realizó la prueba de rangos múltiples de Tukey para poder comparar los pares de medias

Para determinación volumétrica se usará la formula:

$$V = b_0 + b_1 * d^2 + b_2 * h + b_3 * d^2 * h$$

6.11. Carbono Almacenado

Se estimó la concentración de carbono en la biomasa de los árboles por individuos, familias y procedencias utilizando el método propuesto por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 1994), el cual fue desarrollado para estimar el contenido de carbono en rodales naturales considerando el volumen real por hectárea y la superficie de los rodales; dicha metodología fue adecuada por Mendizábal (2007) donde se tienen identificados cada uno de los individuos que las componen, con lo que el procedimiento fue el siguiente:

a) Cálculo de la biomasa multiplicando el volumen en m³ de cada individuo por la densidad de la madera (0.85 g/cm³ según Cordoba, 2005).

$$B = V * \text{Densidad} / 1000$$

b) Cálculo del contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea de los árboles multiplicando la biomasa encontrada por el factor de contenido de carbono (0.50).

$$\text{Carbono acumulado} = \text{Biomasa} * 0.50$$

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se evaluaron y georeferenciaron 140 sitios de muestreo, los cuales se ubicaron en los rodales previamente delimitados a continuación se muestra su ubicación en la figura 15.

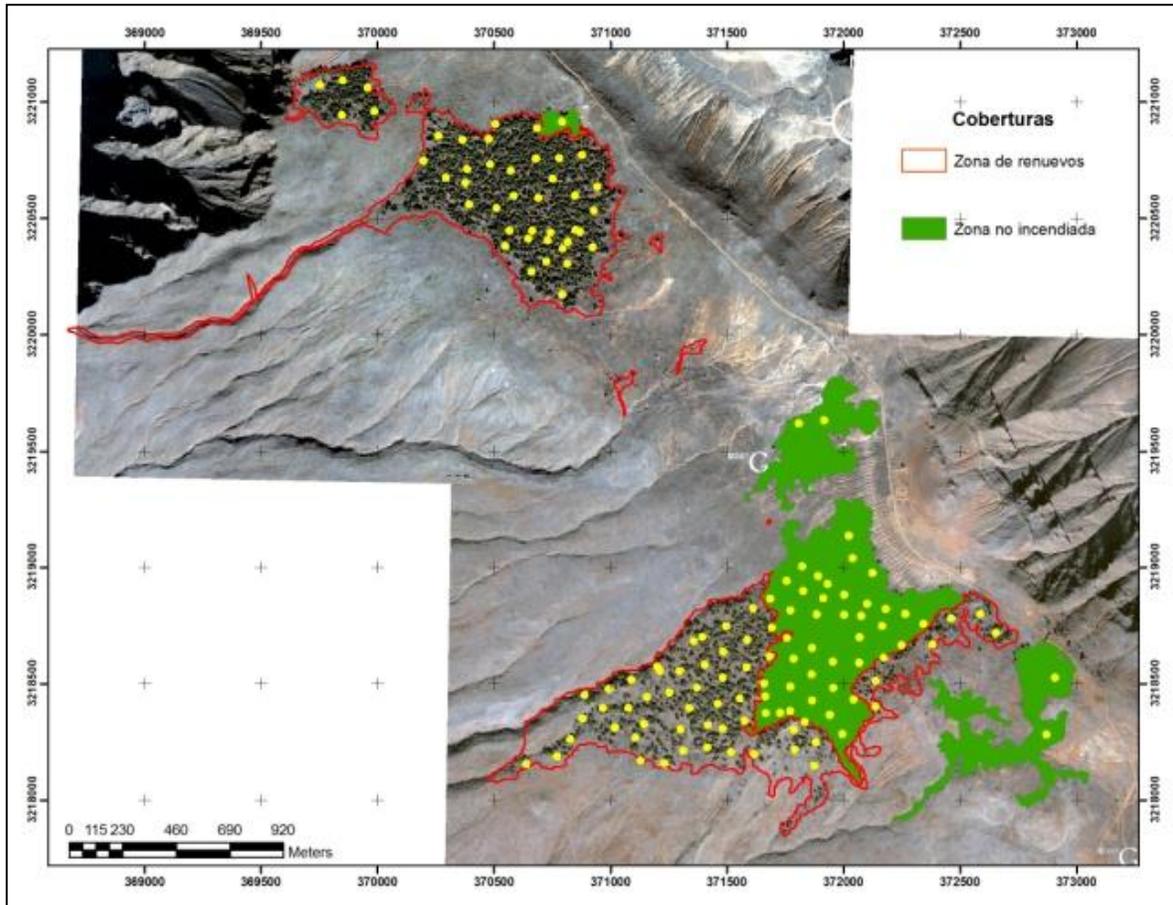


Figura 15. Ubicación de sitios de muestreo.

Una vez capturados los datos del GPS, se registraron las áreas que ocupaban los tres tipos de vegetación, Bosque Maduro No Quemado, Bosque Maduro Quemado y Renuevos. En las siguientes Figuras 16 y 17 se pueden observar las áreas mencionadas anteriormente y en la Tabla 3 aparece el área que ocupa cada uno de los tipos de vegetación.

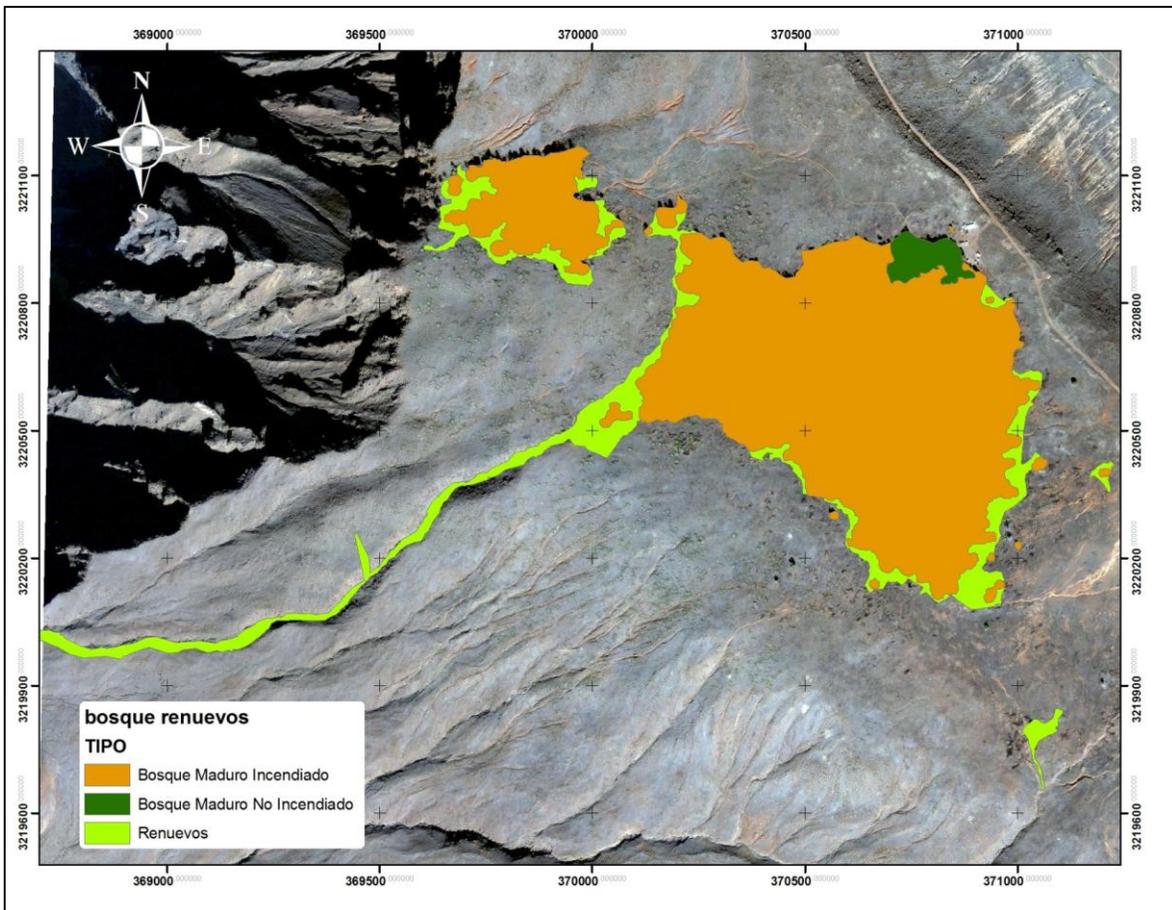


Figura 16. Mapa del rodal Norte y Central, en donde se observan las categorías de vegetación.

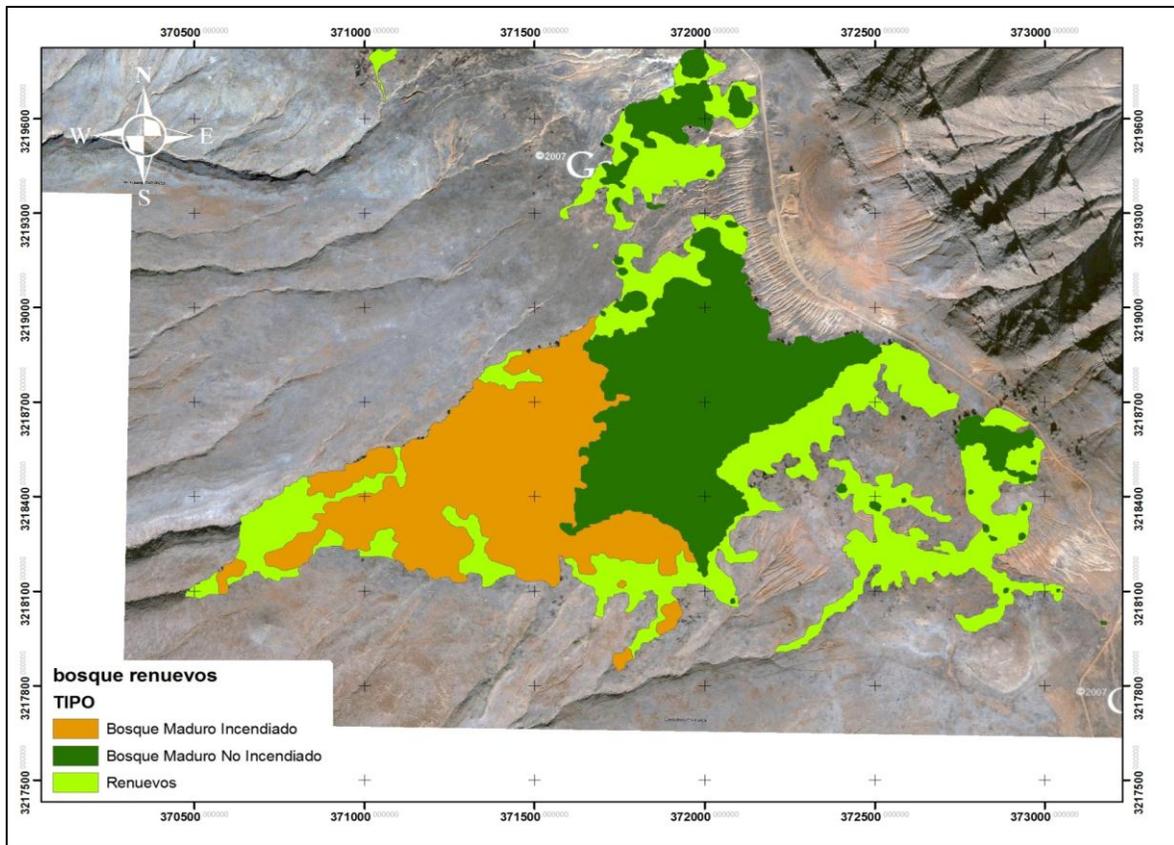


Figura 17. Mapa del rodal Sur, con las categorías de la vegetación.

Tabla 3. Áreas que ocupan las categorías del Bosque de Ciprés.

Tipo	Área
Bosque Maduro Incendiado	98.78 ha
Bosque Maduro No Incendiado	52.01
Renuevos	66.22
Total	217.01

Se registraron 370 individuos adultos los cuales solo aparecieron en 44 sitios de los 140 que se muestrearon. En promedio encontramos 8 árboles adultos por sitio y corresponde a 84 árboles por ha (Tabla 4).

Tabla 4. Número de individuos registraron de *C. guadalupensis*.

	Cantidad	Sitios	Por Sitios	Por ha
Arboles	370	44	8.409	84
Renuevos	50,521	124	407.42	4074.27

Se obtuvieron los valores de volumen registrado en los 44 sitios y se obtuvo un diámetro basal por hectárea de 22.2945 y un volumen de 235.91 m³ por hectárea. Considerando la densidad que reporta Cordoba (2005) de 0.85 g/cm³ se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 5. Volumen, Biomasa y Carbono almacenado en las categorías del Bosque de Ciprés.

	ha	g	V/m3	Biomasa	Carbono	CO2 (27 %)
Bosque Maduro No Incendiado	52.01	1159.69	12271.33	10.43	5.21	1.40
Bosque Maduro Incendiado	98.78	2202.41	1212248.35	1030.41	515.20	139.10
Renuevos	66.22	1476.52	15623.85	13.28	6.64	1.79

El Bosque Maduro No Incendiado se estimó que contiene almacenadas 5.21 toneladas de carbono en las 52.01 hectáreas que abarca de superficie en la meseta norte de la Isla. Por otro lado, encontramos que el Bosque Maduro Incendiado liberó a la atmosfera alrededor de 515.20 toneladas de carbono en el momento en que ocurrió el incendio del 2008. Lo

anterior considerando que la superficie afectada de Bosque fue de 98.78 hectáreas. Finalmente, en aquellas áreas en las que se ha observado una regeneración del Bosque y si consideramos que a futuro puedan prosperar los individuos de *C. guadalupensis* siguiendo los patrones de densidad observados actualmente, tenemos que el potencial de captura de carbono es de 6.64 toneladas de carbono.

La altura promedio de los individuos adultos fue de 13.94 m. Con un 95% de confianza se puede decir que los individuos del rodal central tiene una mayor altura promedio que aquellos del rodal sur ($F = 24.92$, p valor= 0.000). Los individuos del rodal central presentan una altura promedio de 17.13 m mientras que los del rodal sur 13.94 m (Figura. 18 y 19).

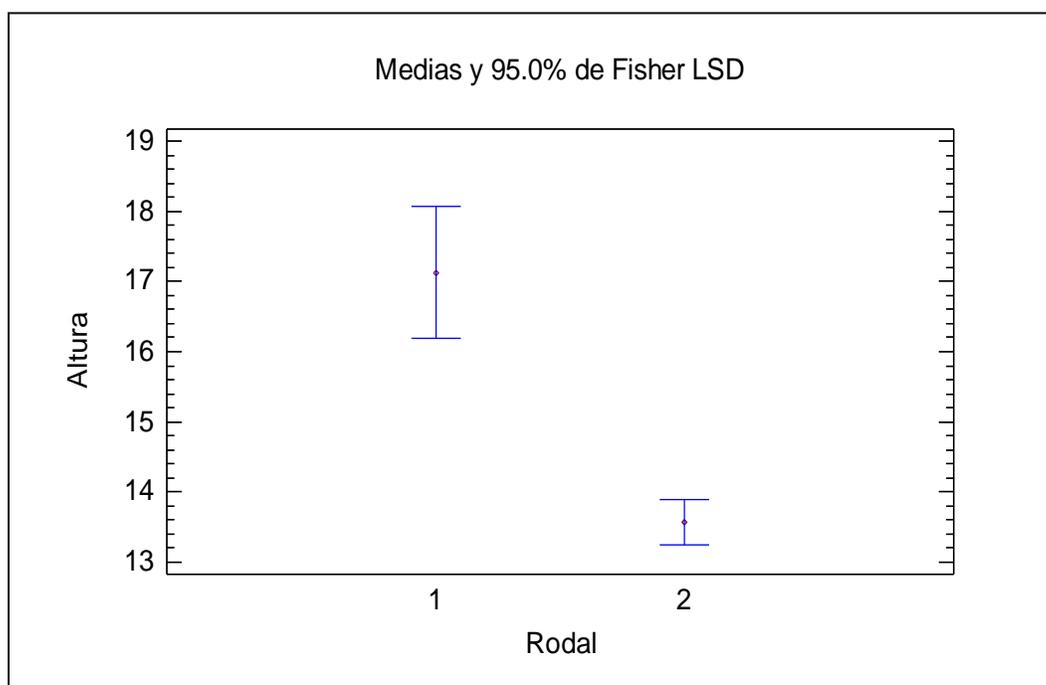


Figura 18. Altura promedio y sus intervalos de confianza (95%) para los rodales central (1) y sur (2).



Figura 19. Individuos del Rodal Central.

En cuanto al diámetro a la altura del pecho (DAP), los individuos del rodal central tienen un DAP promedio de 42.28 cm, mientras que los del rodal sur tienen un DAP promedio de 57.96 cm, por lo que se concluye con un 95% de confianza que los rodales difieren en cuanto a esta variable ($F=12.16$, p valor = 0.006).

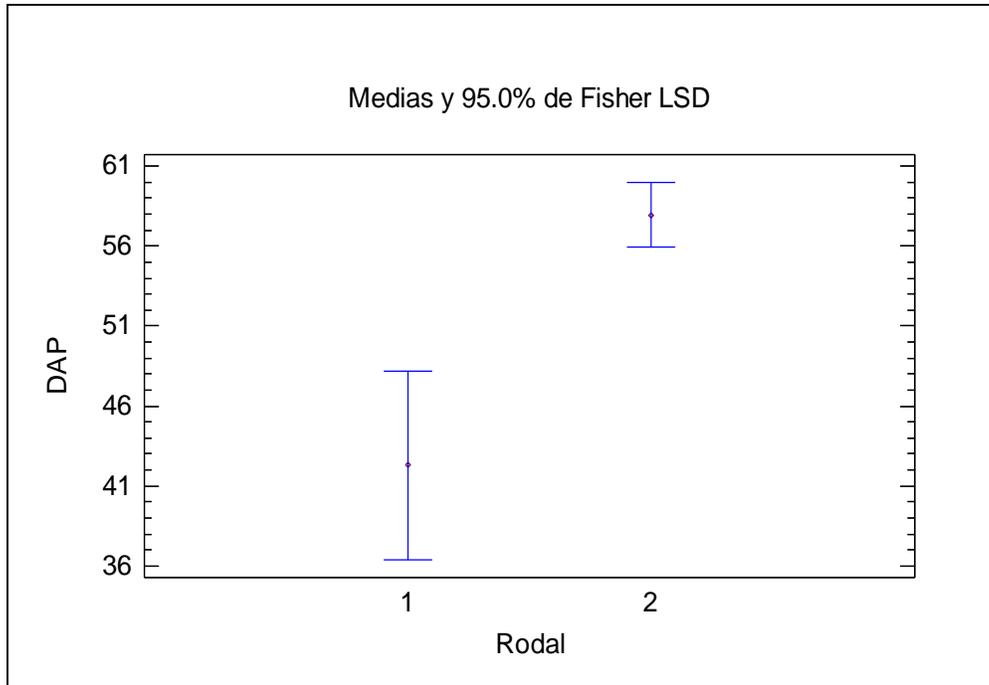


Figura 20. Diámetro a la altura del pecho (DAP) y sus intervalos de confianza (95%) para los rodales Central (1) y Sur (2)



Figura 21. Individuo de *C. guadalupensis* en el rodal Sur.

La categoría diamétrica que presentó la frecuencia más alta fue la del intervalo entre 40 y 49.9 centímetros. Solamente se registró un solo individuo con 184.3 centímetros de diámetro.

Para el caso de los renuevos se contabilizaron 50, 521 plántulas, siendo la categoría de 50 centímetros a 1 metro la más representada con 19 686 individuos. La categoría que menos registros obtuvo es la de mayores a 2 metros con solo 430 individuos. El sitio con mayor cantidad de renuevos fue el 34, ubicado en el borde oeste del rodal central.

La altura promedio de las plántulas difiere entre rodales ($F = 27.51$, p valor = 0.000), el rodal central presenta una altura promedio de 101.54 cm, mientras que el rodal norte y sur, tienen una altura promedio de 55.11 y 37.54 cm, respectivamente (Figura 22).

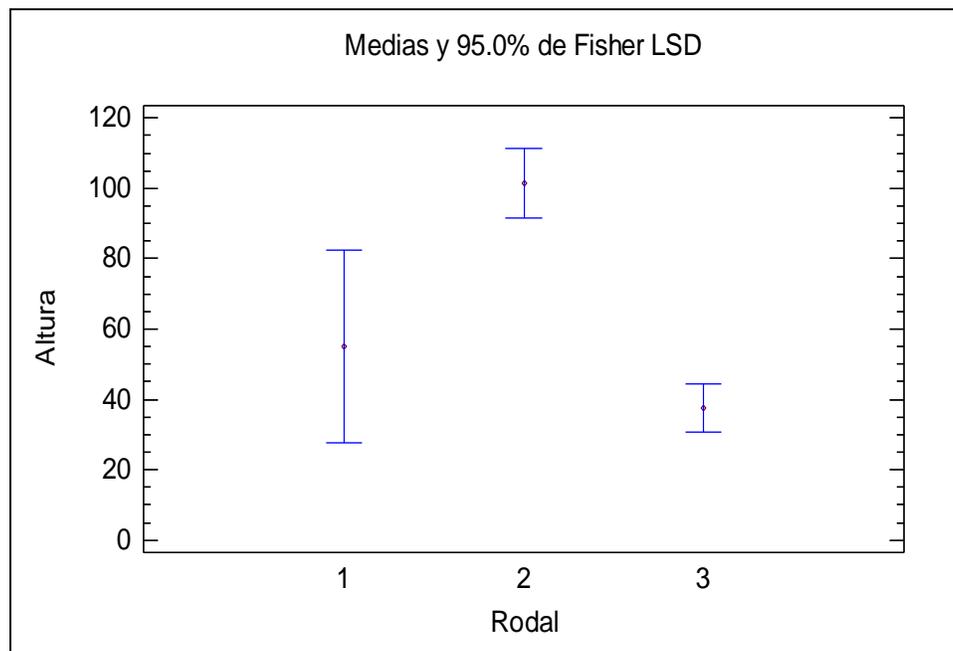


Figura 22. Altura promedio de las plántulas y sus intervalos de confianza (95%) para los rodales Norte (1) , Central (2) y Sur (3).

La distribución de los individuos en las categorías diamétricas se concentró principalmente en las de 40 a 50 cm de DAP, concentrando 148 individuos en dichas categorías.

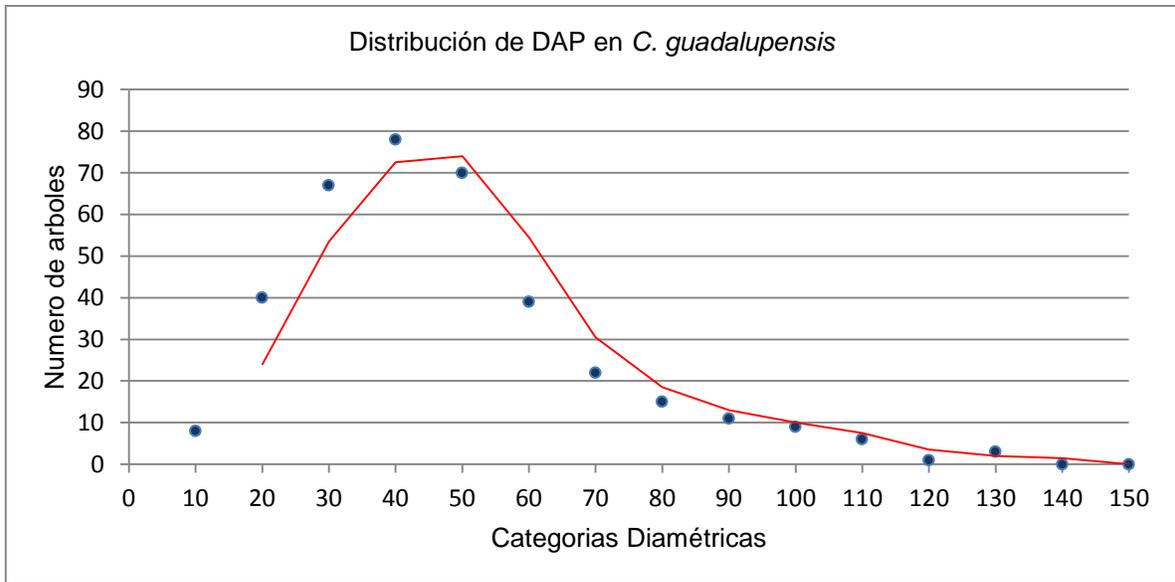


Figura 23. Distribución de DAP en *C. guadalupensis*.

Mientras que en las plántulas la mayor concentración de individuos se dio en las categorías de entre 50 y 100 centímetros con un total de 19 686 individuos.

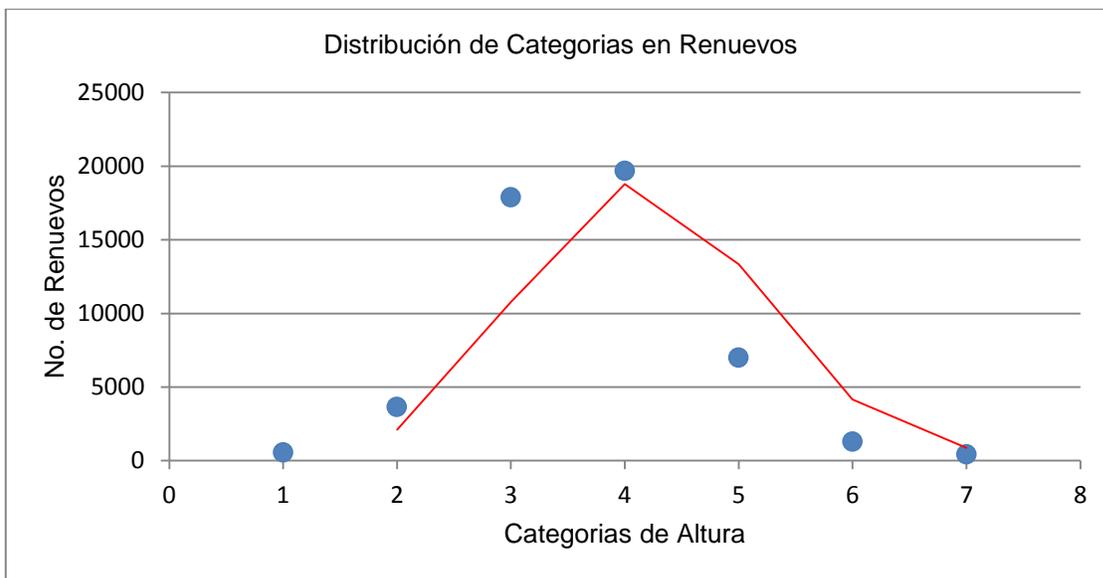


Figura 24. Distribución de categorías en Renuevos.

9. CONCLUSION

Según los resultados de los análisis se concluye que la regeneración del Bosque de Ciprés en Isla Guadalupe incrementará la captura de carbono almacenado. Se observó una gran cantidad de renuevos en las zonas afectadas por el incendio, con lo cual podemos concluir que los cambios generados a partir del incendio combinados con la erradicación de las cabras ferales propiciaron la germinación y aparición de un número inusualmente visto de plántulas. A partir de los recorridos que se hicieron se observó que el bosque se ha expandido 66.22 hectáreas.

Concluimos que las características de los rodales en donde se presenta *C. guadalupensis* afectan las morfometrías de los individuos. En el caso del Parche Central, se observó que los individuos presentaron mayores alturas que los del rodal Sur. De igual manera se afectan los diámetros a la altura del pecho, para el caso, fue el rodal Sur donde se presentaron los mayores valores de dicha característica.

Se concluye que los efectos derivados del incendio del 2008 fueron benéficos para la restauración de la comunidad vegetal en Isla Guadalupe. Esto debido muy probablemente a la deposición de nutrientes minerales a partir de los procesos propios de la combustión, así como, la apertura de claros en el dosel derivados de la muerte de los individuos sobremaduros. Debido a lo anterior, hubo una mayor cantidad de nutrientes disponibles para la semilla y las plántulas, así como un incremento en la cantidad de luz. Ambos factores muy importantes para el desarrollo de las plántulas.

Se recomiendan más estudios sobre la recuperación de esta comunidad vegetal, debido a que la expansión del bosque se ha dado de manera lenta y puede potencializarse si se promueven y adaptan acciones como el trasplante de individuos, la retención de suelos, la propagación de semillas, etc. Es de suma importancia la recuperación de esta comunidad vegetal de manera que los servicios ambientales que provee, sean restablecidos y no se comprometa la integridad del resto de los recursos naturales presentes en la Isla y que representan un patrimonio de la humanidad para nosotros y las generaciones futuras.

10. LITERATURA CITADA

Anthony, A W. 1925. Expedition to Guadalupe Island, Mexico in 1922. The birds and mammals. *Proceedings of the California Academy of Sciences*. Serie 4(14): 277-320.

Bassham, J. A. 1962. La ruta del carbono en la fotosíntesis. *Scientific American*. Traducido por J. Kohashi. 206(6): 88-100.

Bolin, B.; Döös, B. R.; Jäger, J. and Warrick, R. A. 1989. The greenhouse effect, climatic change, and ecosystems. Chichester: John Wiley & Sons. Scope No 29. 74 p.

BUN-CA. 2002. Manuales sobre energía renovable: Biomasa. San José, Costa Rica. 42 p.

Ciesla W., M. 1996. Cambio climático, bosques y ordenación forestal: una visión de conjunto. FAO. Roma. 146 p.

Córdoba, J.A., D. González, Y. Ramos, D. Serna, y N. Panesso. 2005. Regeneración natural en claros de un bosque pluvial tropical en Pacurita, Chocó - Colombia. *Revista Institucional*. Universidad Tecnológica del Chocó D.L.C. 23: 11-19

Dixon, R.K., S. Brown, R.A. Houghton, A.M. Solomon, M.C. Trexler y J. Wisniewski. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263: Pp 185-190.

Dudley, W. R. 1899. Report of the plants of Guadalupe Island. Pp. 280-283 in D.S. Jordan, *The fur seals and fur-seal islands of the North Pacific Ocean, Part 3* U.S. Govt. Printing Office, Washington, US. Pp. 45-167

FAO. 1995. Evaluación de los recursos forestales 1990, Países tropicales. Estudio FAO Montes, Roma, Italia. pp. 32-36.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2010. Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales. Departamento Forestal. Roma, Italia. Pp 122-205

Franceschi, F. 1893. Notes from the Guadalupe Island. *Zoe*. 4:130-39.

Gallo Reynoso, J.P., M.O. Maravilla Chávez, A.L. Figueroa Carranza. 2005. La población del lobo fino de Guadalupe en México. 2do Taller para la restauración de isla Guadalupe. Resúmenes de presentaciones. Centro de Investigación Científica y Estudios Superiores de Ensenada. México. Pp 13-87

Granados Sánchez / G. F. López Ríos / M. A. Hernández García. 2007. Ecología y silvicultura en bosques templados *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, enero-junio, año/vol. 13, número 001 Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México Pp. 67-83

Gray, A. 1876. Miscellaneous botanical contributions. *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences* 11: 71-104.

Greene, E.L. 1885. Studies in the botany of California and parts adjacent. *Bulletin of California Academy of Sciences* 1:179-228.

Hubbs, C. L. y J. R. Jehl Jr. 1976. Remains of Pleistocene birds from isla de Guadalupe. *Condor* 78: 421-422.

Hubbs, C. L. y A. R. Rehnitz. 1958. A new fish, *Chaetodon falcifer*, from Guadalupe island, Baja California, with notes on related species. *Proceedings of the California Academy of Sciences*. Serie 4(29): 273-313.

Intergovernmental panel on climate change ipcc. Climate Change 1995. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Inglaterra: Cambridge University Press, 1995. Pp 34-96

Jaramillo, J. B. 2005. El ciclo global del carbono *en* Cambio Climático: Una visión desde México. INE-SEMARNAT. México. Pp 523.

Keitt, B., S. Junak, L. Mendoza, and A. Aguirre. 2005. The restoration of Guadalupe island. *Fremontia*. 33: Pp20–25.

León de la Luz, J. L., J. Rebman, and T. Oberbauer. 2003. On the urgency of conservation on Guadalupe Island. Mexico: is it a lost paradise? *Biodiversity and Conservation* 12: Pp 1073-1082.

León, J., Rebman, P. y Oberbauer T.2006. Capítulo: El estado actual de la flora y la vegetación de isla Guadalupe. Libro Isla Guadalupe restauración y conservación. Primera Edición. Instituto Nacional de Ecología. Pp 55-66

Luna Mendoza, L., A. Aguirre Muñoz, B. Keitt, S. Junak, and B. Henry. 2007. The restoration of Guadalupe Island, revisited. *Fremontia* 35: Pp 14-17.

Markham Huey 1925. Guadalupe Island—An Object Lesson in Man-caused Devastation. *Science*, 61:1581, Apr. 17, 1925, Pp. 405-407

Mcvay, K. A. y Rice, C. W. 2006. El carbono orgánico del suelo y el ciclo global del carbono. Kansas State University Department of Agronomy. Pp 14-67 p.

Meling Lopez, A. E. 1985. Situación actual de la vegetación de Isla Guadalupe (1985). Tesis Profesional, Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada. 174 pp., 40 figs.

Mellink, E. y E. Palacios. 1990. Observations on Isla Guadalupe in November 1989. *Western Birds* 21: Pp 177-180.

Moran, R. 1996. The flora of Guadalupe Island, México. [La flora de la Isla de Guadalupe, México] *Memoirs of the California Academy of Sciences*. San Francisco, California, USA. 19: 1-190.

Oberbauer, Thomas. 2006. La vegetación de isla Guadalupe entonces y ahora. *Gaceta Ecológica*. Número 081. Instituto Nacional de Ecología. Distrito Federal, México. Pp 47-58.

Oberbauer, T., L. Luna Mendoza, N. Citlali Oliveres, L. Barbosa Deveze, I. Granillo Duarte, and S. A. Morrison. 2009. Fire on Guadalupe Island reveals some old wounds – and new opportunity. *Fremontia* 37: Pp 3-11

Odum, E. P. y Barrett, G. W. 2008. *Fundamentos de Ecología*. Traducción de María Teresa Aguilar Ortega. Editorial Cengage Learning. México, D. F. Pp 597.

Ordoñez D., J. A. B. 1999. Captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo Michoacán. INE-SEMARNAP. México, Pp 71

Ordoñez Díaz, J.A. y O. Masera. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*, primavera, año/vol. 7, número 001. Instituto de Ecología A.C. Xalapa, México. Pp. 3-12.

Ordoñez Díaz, J.A.2008. Como entender el manejo forestal, la captura de carbon y el pago de servicios ambientales. Ciencias, Núm. 90, abril-junio, 2008. Universisas Nacional Autónoma de México. Pp 37-42.

Odum, E. P. y Barrett, G. W. 2008. Fundamentos de Ecología. Traducción de María Teresa Aguilar Ortega. Editorial Cengage Learning. México, D. F. 597 p.

Pilsbry, H. A. 1927. Expedition to Guadalupe Island, Mexico, in 1922. Land and freshwater mollusks. Procedures of California Academy of Sciences. Ser. 4, 16:159-203.

Plass, G. N. 1979. Dióxido de Carbono y Clima. El hombre y la ecosfera: Selecciones de Scientific American. Madrid, España. pp. 195-201.

PNUMA. 1999. Para comprender el Cambio climático: Guía elemental de la convención Marco de las Naciones Unidas y el protocolo de Kioto, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y Secretaria Sobre el Cambio Climático (CMNUCC) Disponible en: www.unfccc.int/resource/beginner_02_sp.pdf (Fecha de consulta 15/octubre/2009).

Rodríguez-Malagón, M., A. Hinojosa-Corona, A. Aguirre-Muñoz, and C. García-Gutiérrez. 2006. The Guadalupe Island Cypress Forest: On the Recovery Track, ESRI Proceedings. 10 pages. gis.esri.com/library/userconf/proc07/papers/papers/pap_1960.pdf. revisada en junio 2011

Salisbury, F. B.; Ross, C. W. 2000. Fisiología vegetal. Editorial Iberoamérica. México, D. F. Pp 759

Smith, R. L. Y Smith, T. M. 2001. Ecología. Ed. Pearson. 4º edición. Madrid. Pp 642 .

Terradas, J. 2001. Ecología de la vegetación: de la ecofisiología de las plantas y la dinámica de comunidades y paisajes. Editorial Omega. Barcelona, España, Pp 703

Torres, J.M. y A. Guevara. 2002. El potencial de México para la producción de servicios ambientales: Captura de carbono y desempeño hidráulico. *Gaceta Ecológica*, abril-junio, número 063. Instituto Nacional de Ecología, Distrito Federal, México. Pp 40-59

UNEP-GEMS. 1992. Los gases que producen el efecto de invernadero (cambio climático global). Sánchez-Vélez A. y Gerón D., X. Traductores. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. Pp 41.

Watson, S. 1876. Botanical contributions. *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences* 11: 105-148.