

EL COLEGIO DE LA FRONTERA NORTE
MAESTRÍA EN
ADMINISTRACIÓN INTEGRAL DEL AMBIENTE
PROMOCIÓN 2004-2006

Balance de carbono en la región mediterránea de Baja California

Nombre del estudiante:

Miriam Heredia Osorio

Director de tesis:

Ph. D. Horacio Jesús de la Cueva Salcedo

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

Lector Interno

Luis Ernesto Cervera Gómez

El Colegio de la Frontera Norte

Lector externo

M. C. Alejandro Hinojosa Corona

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

Tijuana, Baja California, 05 de diciembre de 2006

ÍNDICE

Resumen ejecutivo	5
1. Balance de carbono en la región mediterránea de Baja California	6
1.1. Introducción.....	7
1.2. Definiciones.....	9
1.3. Preguntas de investigación.....	10
1.4. Hipótesis.....	10
1.5. Objetivos.....	11
1.6. Justificación.....	11
1.7. Alcances y límites de la investigación.....	12
2. Marco teórico	13
2.1. Antecedentes en algunos países, México y Baja California.....	13
2.2. Antecedentes metodológicos y metodología propuesta como primera aproximación al balance de carbono.....	14
3. Metodología	15
3.1. Área de estudio.....	15
3.2. Balance de carbono.....	18
3.2.1. Emisiones antropogénicas.....	19
3.2.1.1. Parque vehicular.....	19
3.2.1.2. Transporte y carga.....	20
3.2.1.3. Comisión Federal de Electricidad Rosarito: Planta Presidente Juárez.....	24
3.2.2. Incendios forestales.....	24

3.2.3. Crecimiento de la mancha urbana.....	28
3.2.4. Productividad/Acumulación.....	29
4. Resultados.....	43
4.1. Emisiones antropogénicas.....	43
4.2. Incendios forestales.....	47
4.3. Crecimiento de mancha urbana.....	50
4.4. Productividad/Acumulación.....	51
4.5. Resultados totales del balance.....	57
5. Discusión.....	58
6. Conclusiones.....	64
7. Recomendaciones.....	65
8. Bibliografía.....	69
8. 1. Páginas de Internet.....	74
9. Anexos.....	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ecuación balance de carbono.....	18
Figura 2. Hoja de balance de carbono: Síntesis de resultados.....	46

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. Emisiones antropogénicas: parque vehicular, transporte y carga (Métodos).....	23
Diagrama 2. Metodología para el cálculo de la productividad con los productos e	40

imágenes MODIS.....

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Reclasificación.....	33
Tabla 2. Promedio de hectáreas quemadas por tipo de vegetación.....	47
Tabla 3. Total de pérdida de cobertura por tipo de vegetación.....	48
Tabla 4. Crecimiento promedio de la mancha urbana para cada municipio.....	50
Tabla 5. Resumen de resultados de pérdida de captura de carbono debido la pérdida de cobertura por crecimiento de mancha urbana.....	51
Tabla 6. Productividad promedio por tipo de vegetación.....	51
Tabla 7. Productividad promedio en el grupo de bosques.....	52
Tabla 8. Productividad promedio en Chaparral.....	52
Tabla 9. Productividad promedio en el grupo de Matorral costero.....	53
Tabla 10. Productividad promedio para los tres tipos de vegetación.....	53

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. Ubicación de la zona de estudio: Región Mediterránea de Baja California.....	16
Mapa 2. Distribución de incendios en la región mediterránea de Baja California (2001-2005).....	49
Mapa 3. Productividad promedio (MODIS) en la región mediterránea de Baja California (2000-2004).....	54
Mapa 4. Comparación de la productividad promedio de los métodos MODIS y Lieth en la región mediterránea de Baja California.....	56

Resumen ejecutivo

El presente trabajo es una aproximación al balance de carbono en la región mediterránea de Baja California (RMBC). Como objetivo general se realizó un balance de carbono en la RMBC. Del objetivo general se derivaron los siguientes objetivos específicos: 1) Estimar la productividad anual y el almacenamiento de carbono en los tres tipos de vegetación principales de la región; 2) Estimar las emisiones antropogénicas; 3) Discutir las implicaciones del resultado obtenido.

La metodología seguida para este estudio, consistió en el uso de base de datos y un promedio de emisiones por vehículo para el número de vehículos en los cuatro municipios que se encuentran en la RMBC; se estimó la cantidad emitida de carbono por la planta termoeléctrica de la Comisión Federal de Electricidad de Rosarito. Para calcular la productividad en la vegetación de la región se utilizaron imágenes y productos de Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) y el método de Lieth con base en la precipitación; se utilizaron mapas digitales de precipitación. La pérdida de Carbono debida a la pérdida de cobertura vegetal por incendios y crecimiento de la mancha urbana fue calculada con información de base de datos y mediante el uso de las imágenes y productos de MODIS.

En esta primera aproximación se demuestra que año con año las emisiones antropogénicas y la pérdida de carbono debida a la pérdida de cobertura vegetal por incendios y crecimiento de mancha urbana, son menores que la productividad. Se concluye que la RMBC es un sumidero de carbono, es decir que en la región, la captura de carbono es mayor que la pérdida de este elemento.

1. Balance de carbono en la región mediterránea de Baja California

La captura de carbono es un servicio ambiental que se define como la capacidad de los componentes vegetales de los ecosistemas para capturar y almacenar el carbono atmosférico en forma de tejido vegetal leñoso (Wikipedia, 2006). Esto trae como consecuencia una reducción en los niveles de concentración de este elemento en la atmósfera (INE, SEMARNAT, 2001). Generalmente nos referimos a bosques cuando mencionamos la captura de carbono, pero cualquier ecosistema que retenga carbono a través de la fotosíntesis a largo plazo puede ser considerado que presta el servicio ambiental de captura de carbono. Este servicio también se basa en el manejo más adecuado de ecosistemas, evitando su conversión en fuentes emisoras de gases de efecto invernadero, principalmente como dióxido de carbono (Fondo Nacional del Ambiente-Perú, 2004).

Ecosistemas como los bosques que almacenan cantidades significativas de carbono en tiempos largos (de décadas a siglos), son una opción para mitigar las emisiones de los gases de efecto invernadero (Segura, M., 2000). Como lo indica el protocolo de Kyoto (INE, 2005), los países en vías de desarrollo con capacidad de almacenamiento de carbono pueden proveer ese servicio ambiental conservando o incrementando sumideros naturales de carbono mientras venden este servicio a los países desarrollados; que cuentan con regiones donde las emisiones de gases invernadero exceden su capacidad de absorberlos, ya sea por el exceso de producción o porque no tienen los ecosistemas con las características necesarias para igualar el balance.

La región mediterránea de Baja California es continua y contigua a una bioregión similar en el estado de California, Estados Unidos (Gobierno del estado de Baja California 2005a), un estado y país con los más altos índices de emisiones de carbono (INE, 2005a). Dentro de los Estados Unidos la economía californiana es de las más importantes y es de las economías más importantes del planeta. En un escenario futuro, podría plantearse la posibilidad

de que si el balance de carbono es positivo en el estado de Baja California, éste pudiese recibir ingresos y conservar su paisaje a través del servicio ambiental de captura de carbono.

Previo a la venta del servicio ambiental de captura de carbono en la región, es necesario conocer aproximadamente el balance de carbono: la cantidad de carbono que se captura o fija en la región, contra la cantidad de carbono que se pierde anualmente en la misma (Norverto, 2002). En ese sentido, para dar un contexto más local, se tiene que considerar la legislación federal con respecto a emisiones y captura de carbono. Cabe mencionar que hay plantas generadoras de energía eléctrica a partir de gas natural a lo largo de la frontera con EEUU, específicamente en Mexicali, estas plantas están contribuyendo con sus emisiones a la liberación de carbono a la atmósfera. Por razones biogeográficas que se darán mas adelante estas plantas se encuentran fuera del área de estudio. Eso nos deja con tres fuentes importantes de gases de carbono en orden incremental: Ensenada, la planta de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en Rosarito, el área conurbada Rosarito/Tijuana y Tecate. Este aspecto también tiene que tomarse en cuenta para el estudio, ya que las fuentes de emisiones en mención, pueden contribuir a que la región sea una fuente de carbono.

1.1. Introducción

El cambio climático y el calentamiento global son hechos debatidos en el ámbito científico y gubernamental. El aumento en la concentración de los gases efecto invernadero es la causa de estos cambios, por lo que se han hecho diversos esfuerzos por reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Dentro de los GEI, el dióxido de carbono (CO₂) es de singular importancia, ya que la quema de combustibles fósiles favorece el incremento de los niveles de este gas.

Las soluciones propuestas a este problema son la reducción de la quema de combustibles fósiles y el incremento de los sumideros de carbono. En los sumideros de carbono las plantas secuestran a largo plazo carbono por medio de la fotosíntesis, tomando o retirando el carbono atmosférico y asimilándolo en su biomasa; la consecuencia es la reducción de niveles de carbono en la atmósfera (MMA, 2006). La captura de carbono se ha definido como un servicio ambiental, susceptible de venta en el mercado internacional de captura de carbono. Según el protocolo de Kyoto, los países aptos para la venta de captura de carbono pueden vender este servicio a países donde sus niveles de emisiones exceden su captura. Previo a la venta del servicio ambiental de captura de carbono, se debe conocer el balance de carbono para ofertar el servicio ambiental de sumidero de dicho elemento.

Aquí se presenta una primera aproximación del balance de carbono, en la región mediterránea de Baja California (RMBC). Con el balance estimado se establecerá la factibilidad de la RMBC como un sumidero de carbono.

La RMBC fue considerada para este estudio, ya que es donde existe mayor concentración de masa vegetal en el estado de Baja California y es de gran importancia para la conservación de sus ecosistemas y su biodiversidad (Biodiversity Hotspots 2006a). Se estimaron las emisiones antropogénicas mediante el uso de base de datos de número de vehículos en el área estimando las emisiones promedio por vehículo. También se estimaron las emisiones de carbono de la planta termoeléctrica de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) “Presidente Benito Juárez” en Rosarito de acuerdo a la base de datos de esta institución y se estimó la pérdida de captura de carbono debido a la pérdida de cobertura vegetal por incendios según la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y crecimiento de la mancha urbana de acuerdo a datos proporcionados por los municipios incluidos en la

RMBC. La productividad de la vegetación fue calculada con técnicas de percepción remota, específicamente mediante el uso de productos e imágenes del sensor satelital Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) y el método de Lieth, que estima la productividad basado en la precipitación.

Las emisiones antropogénicas son menores que la productividad de carbono en la vegetación de la región. Del mismo modo, la pérdida de de carbono debida a la pérdida de cobertura vegetal por incendios y crecimiento de mancha urbana, son menores que dicha productividad; por lo que el balance de carbono resultó ser positivo. La primera aproximación indica que la RMBC es sumidero de carbono.

1.2. Definiciones

Estequiometría: Estudia las relaciones cuantitativas entre los reactivos y los productos que intervienen en una reacción química, tanto de reactivo como de producto. En dichas relaciones se puede analizar moléculas, moles de moléculas, masas y volúmenes. Puede calcularse también, cuánto producto se obtendrá de acuerdo al rendimiento de la reacción química; o cuánto reactivo se necesitará para obtener una cierta cantidad de un producto, si se conoce la pureza del reactivo (Fortunecity, 2003).

Fuente: Cualquier proceso o actividad, que libere un gas de efecto invernadero (como CO₂, dióxido de carbono) a la atmósfera. Un reservorio de carbono puede ser una fuente de carbono a la atmósfera si la cantidad de carbono que fluye hacia él, es menor respecto a la que sale (UNFCCC, 2003).

Gas de efecto invernadero: Se denomina gases de efecto invernadero o gases invernadero a los gases cuya presencia en la atmósfera contribuye al efecto invernadero. Dentro del grupo se incluyen vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxidos de nitrógeno (NO_x), ozono (O₃) y clorofluorocarburos (artificiales) (Wikipedia, 2006 a).

Servicios Ambientales: Son aquellos que dan beneficios económicos, ecológicos o socioculturales; inciden directamente en la protección y el mejoramiento del medio ambiente, propiciando una mejor calidad de vida de los habitantes (La Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, 1998).

Sumidero: Cualquier proceso, actividad o mecanismo, el cual remueva un gas de efecto invernadero (como CO₂) de la atmósfera. Cualquier reservorio puede ser un sumidero de carbono atmosférico, si durante un intervalo de tiempo, la cantidad de carbono que fluye hacia él, es mayor respecto a la que sale (UNFCCC *Op. cit.*), es decir, un sumidero es lo opuesto a una fuente de carbono. En este trabajo nos enfocamos a los sumideros terrestres de carbono, los cuales se refieren al carbono contenido en los ecosistemas forestales (Vargas *et al.*, 2004), o en ecosistemas similares, como describiremos más adelante.

1.3. Pregunta de investigación

¿Cuál es el valor del balance de Carbono en la región mediterránea de Baja California?

1.4. Hipótesis

H₀: Si el balance de Carbono es mayor o igual que cero, entonces, se puede decir que la región tiene un balance negativo y es fuente de Carbono.

H₁: Si el balance de Carbono es menor que cero, entonces, se puede decir que la región tiene un balance positivo y es sumidero de Carbono.

1.5. Objetivos

General:

Realizar el balance de Carbono en la región mediterránea de Baja California.

Específicos:

- 1.- Estimar la productividad anual y el almacenamiento de Carbono en los tres tipos de vegetación principales de la región mediterránea de Baja California: matorral costero, chaparral y bosque mixto de pino-encino.
- 2.- Estimar las emisiones antropogénicas: parque vehicular, vehículos de transporte y carga y planta termoeléctrica de la CFE en Rosarito.
- 3.- Discutir las implicaciones del resultado obtenido.

1.6. Justificación

Previo a la compra o venta de bienes o servicios, estos se deben cuantificar (Heal, 2000 en Bull, *et. al.*, 2005). Para poder desarrollar un mercado de Carbono, se deben entender las técnicas existentes para medir, entre otros, balances de Carbono en un ecosistema forestal (Bull *et. al.*, 2005). En el caso de la RMBC, para poder ofertar el servicio ambiental de captura de Carbono, se necesita tener un conocimiento, aunque sea a primera aproximación, del balance de Carbono de la región. Para este ejercicio, consideramos la región mediterránea que es donde existe mayor concentración de masa vegetal en el estado de Baja California y que además tiene gran importancia para la conservación de ecosistemas únicos (Biodiversity Hotspots, *Op. cit.*). En este sentido, se destaca que de acuerdo a la información revisada y en comunicación con

algunos investigadores sobre el tema, no se conocen estudios publicados de balance de Carbono para la región mediterránea de Baja California.

1.7. Alcances y límites de la investigación

Alcances

Este trabajo responde a primera aproximación cuál es el valor del balance de Carbono de la región mediterránea, y por ende, responde si la región es una fuente o un sumidero de Carbono; de ese modo, es posible saber si la región puede o no brindar dicho servicio ambiental como un componente de la conservación del área.

Limites

Se analizaron las áreas urbanas que afectan al área de estudio en territorio mexicano, ya que lo que nos interesó para este trabajo es la contribución de los ecosistemas mexicanos.

Este estudio se restringió a tres tipos de vegetación de la región, debido a que son los principales y más característicos de la misma.

Se analizaron cuatro municipios del estado de Baja California: Tijuana, Rosarito, Ensenada y Tecate debido a que son los que se encuentran dentro de la Región Mediterránea.

Para este estudio se manejó el año de 2003 en referencia a las emisiones antropogénicas, dado que fue el año para el cual se tenía la información disponible para los cuatro municipios.

En este trabajo no se tomó en cuenta la deforestación, entendida esta como tala, debido a la falta de datos, y a que los datos disponibles eran ilegibles. Además, según SEMARNAT (2006) en la región no se otorgan permisos para tala de árboles, y por último, de acuerdo a bibliografía referente al tema, la tala ilegal no es significativa (Minnich, *et. al.*, 1995), es decir la pérdida de Carbono por este medio no afecta significativamente el balance que se está calculando.

2. Marco teórico

En este apartado se exponen los antecedentes de trabajos de proyectos de Carbono en algunos países centroamericanos, México y en el estado de Baja California. Se expone la metodología propuesta como primera aproximación para obtener el balance de Carbono en la Región Mediterránea de Baja California.

2.1. Antecedentes en algunos países, México y Baja California

En países como Costa Rica y Guatemala se han hecho estudios acerca de la capacidad de secuestro de Carbono de sus selvas y bosques.

Según un documento de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (Segura, *Op. cit.*), en estudios hechos en Costa Rica, se ha cuantificado tanto física como monetariamente el almacenamiento y fijación del Carbono en plantas para saber si se puede o no brindar el servicio ambiental de captura de Carbono y para saber cuánto se podría obtener al brindar dicho servicio. Además, en este país se reconocieron oficialmente los servicios ambientales brindados por los bosques naturales y plantaciones, a través de un mecanismo de pago por servicios ambientales. Este mecanismo otorga un pago a los dueños de los bosques y plantaciones forestales por los servicios ambientales proveídos a la comunidad costarricense y mundial. En Guatemala se han hecho estudios de evaluación económica de servicios ambientales en bosques, entre esos servicios se encuentra el del secuestro de Carbono, e incluyen la estimación de la captura de dicho elemento (Eco-index, 2003).

En México también se han hecho algunos estudios en torno a este tema. En el estado de Oaxaca se han realizado proyectos de secuestro de Carbono en bosques de pino.

Los recursos para la realización de este proyecto provienen de organizaciones no gubernamentales como la Fundación Ford; institución que aportó un millón de pesos para dos años de asistencia técnica. La Comisión Nacional Forestal ha aportado otra pequeña parte a

través de talleres de capacitación. Además, se está explorando la posibilidad que el Banco Mundial pague por este servicio ambiental y después lo negocie en el mercado internacional (Mesoamérica, 2006).

Son tres las comunidades oaxaqueñas que aplican este proyecto y que además ya han recibido pagos por este servicio ambiental; aunque es muy poco lo que aún reciben por este servicio, lo obtenido por el secuestro de Carbono se reinvierte entre otras actividades para producir plantaciones, sostener los viveros y pagar los jornales. Este proyecto no sólo se constituye como una opción ambiental, sino como una forma de desarrollo (*Ibidem*).

Por otra parte, una característica importante de Guatemala, Costa Rica y Oaxaca, es que su precipitación es alta, mientras que Baja California se caracteriza por su baja precipitación. Esto sugiere que la lluvia es un factor limitante en la incorporación de Carbono a la biomasa del ecosistema bajo estudio (Terra, 2006).

Por último, resaltamos que no se cuenta con estudios publicados sobre el tema para la región mediterránea de Baja California.

2.2. Antecedentes metodológicos y metodología propuesta como primera aproximación al balance de Carbono.

Existen varias metodologías para estimar los balances de Carbono, generalmente se utiliza la productividad contra las emisiones de Carbono¹² (Norverto, *Op. cit.*). Estas metodologías varían en algunos aspectos como la obtención de los datos necesarios para los cálculos; algunas se valen de los datos de inventarios forestales. Sin embargo, según Churkina *et. al.* (2003) esto no siempre es tan eficaz, puesto que la frecuencia de actualización varía para cada país (entre

¹ La captación o fijación, que constituye la parte positiva del balance.

² La liberación ó pérdida, que constituye la parte negativa del balance.

10 a 15 años). Con los datos de estos inventarios no se pueden tener estimaciones actualizadas, además muchos de estos inventarios son especializados por tipo de región o por uso.

Por otro lado, los métodos que en la actualidad están cobrando fuerza para la estimación de captación de Carbono son los que utilizan sensores remotos. Estos sensores miden, entre otros, parámetros de biomasa en plantas (Peddle *et. al.*, 2001) y deforestación. Esta última se observa incluso a resoluciones lo suficientemente altas como para detectar la tala selectiva de árboles a pequeña escala; esta técnica ha sido usada recientemente en la selva del Amazonas (Asner, 2005).

Tomando en cuenta todo lo anterior, en el presente trabajo se estima el balance para la región mediterránea de Baja California comparando la productividad de Carbono contra las emisiones en esta región. Cabe señalar que la RMBC es parte de la de la región florística californiana (Gobierno del estado de Baja California, *Op. cit.*). Se debe hacer énfasis en que esta técnica a utilizar es una primera aproximación para establecer un balance de Carbono a una resolución de órdenes de magnitud por tipo de vegetación en la región por año. Integrar la acumulación a largo plazo, estimar con los datos disponibles la liberación de Carbono, hacer una resta entre estas dos y considerar las fuentes de error de este ejercicio.

3. Metodología

En este apartado se describe al área de estudio y se exponen los métodos utilizados para estimar el balance de Carbono en la región mediterránea de Baja California.

3.1. Área de estudio

La región mediterránea californiana ocupa en México la porción Noroeste del estado de Baja California, desde el límite internacional con los Estados Unidos de América hasta El Rosario, Baja California, y de la costa del Pacífico al parteaguas de las sierras de Juárez y de San Pedro

Mártir, algunos autores incluyen la Isla Guadalupe (*Ibidem*) pero no la consideraremos en el presente trabajo. Presenta un clima tipo mediterráneo, con inviernos templados y moderadamente húmedos, alternados con veranos secos y cálidos. Esta región cuenta con aproximadamente 795 géneros y 4,452 especies de plantas vasculares nativas, las comunidades vegetales presentes en esta región son: marismas, dunas, matorral costero, chaparral y bosque mixto de coníferas (Gobierno del Estado de Baja California, 2006b.). Es un área de gran biodiversidad, por ser parte del hotspot³ de la zona florística californiana (Biodiversity Hotspots, *Op. cit.*). Esto quiere decir que, como hotspot, es una región con mucha biodiversidad y especies endémicas, y generalmente es muy productiva (Wikipedia, 2005).

En el siguiente mapa se puede apreciar la ubicación de la zona de estudio.



Mapa 1. Ubicación de la zona de estudio (Biodiversity Hotspots, *Op. cit.*)

³ Hotspot: Sitios de gran biodiversidad (Biodiversity Hotspots, *Op. Cit*)

La región florística californiana es una de las veinte áreas del mundo (hotspots) que cubren menos del 2% del área de la tierra, pero contienen casi la mitad de la biodiversidad terrestre (Biodiversity Hotspots, *Op. Cit*). En Norteamérica sólo existen tres áreas que califican como importantes sitios de este tipo, una de ellas es la zona florística californiana. De esta zona, el área más diversa es la zona de la Costa Sur (*Ibidem*), es decir la zona mediterránea del sur de California y el norte de Baja California.

Tipos de vegetación de la zona de estudio:

Matorral costero: Tipo de vegetación de la costa sud-californiana que se caracteriza por presentar una flora subarborescente y aromática; son caducifolias de verano. Se distribuye principalmente en el noroeste de Baja California y el suroeste de California (INE, 2005b).

Chaparral: Nombre común a un tipo de vegetación característica de la región mediterránea californiana y bajacaliforniana, representada por una flora arbustiva, siempre verde y pirófila (*Ibidem*), alejada de la costa y limitada por los bosques de pino-encino.

Bosque de pino-encino: Este se localiza primordialmente en las altas montañas de clima frío-templado de la península. Su mayor incidencia es en el extremo norte, ocupando los lugares montañosos de las sierras de Juárez y de San Pedro Mártir. La vegetación del bosque de coníferas puede a su vez clasificarse de acuerdo a su componente florístico como sigue: Bosque de *Pinus*, de *Juniperus* y de *Cupressus* (Gobierno del Estado de Baja California, 2005b).

3.2. Balance de Carbono

Para cumplir con el primer objetivo de este estudio; se procedió a seguir los métodos expuestos a continuación; este trabajo surgió como una primera aproximación, para estimar un balance de Carbono en la región mediterránea de Baja California.

Para estimar el balance de Carbono, se calculó la productividad anual de Carbono en la vegetación; así mismo, se estimó la pérdida anual de Carbono correspondiente a emisiones y pérdida de cobertura vegetal debida a incendios y crecimiento de mancha urbana. Estos datos también permitieron obtener la acumulación de Carbono en la vegetación de la región. Con los resultados obtenidos se procedió a efectuar el balance de Carbono: productividad anual de Carbono en la vegetación menos la pérdida anual de Carbono por emisiones y pérdida de cobertura vegetal.

La figura 1 ilustra en resumen el procedimiento seguido para estimar el balance de Carbono.

$$BC = P_{tv} - P$$

Donde:
BC = Balance de Carbono
P_{tv} = Productividad de Carbono en la vegetación
P = Pérdida anual de Carbono

Figura 1. Ecuación Balance de Carbono (Fórmula adaptada con base en Norverto *Op. cit.*).

Los siguientes apartados describen en detalle el procedimiento para obtener los cálculos de las componentes que integraron el balance de Carbono: productividad anual por tipo de vegetación y pérdida anual de Carbono por emisiones y por pérdida de cobertura vegetal debida a incendios y a crecimiento de la mancha urbana.

3.2.1. Emisiones antropogénicas

Para cumplir con el objetivo específico 3.2.3 se procedió de la forma que se muestra a continuación:

Para la estimación de las emisiones antropogénicas se consideraron los datos del parque vehicular y los de transporte y carga de los municipios de Tijuana, Ensenada, Rosarito y Tecate. Al igual que los datos de las emisiones de la planta termoeléctrica de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) de Rosarito. Los datos correspondieron al año 2003, por ser éste el año más reciente en que se encontraron reportes completos para todos los aspectos contemplados.

El proceso de la estimación de las emisiones antropogénicas fue apoyado por una base de datos de la producción anual de autos por país, un programa de cómputo para el cálculo de emisiones vehiculares, el uso de cálculos estequiométricos y el tratamiento estadístico de los datos.

3.2.1.1. Parque vehicular

Para las estimaciones de las emisiones del parque vehicular (número de autos), se procedió de la siguiente forma:

(1) Mediante la base de datos de la producción de autos por país, se obtuvieron los datos sobre los principales productores de autos de Estados Unidos. Se procedió de esta forma debido a los cuatro municipios en estudio se encuentran ubicados en la zona fronteriza México-Estados Unidos y se puede importar vehículos usados de California y otros estados de los Estados Unidos. Razón por la cual se supuso que la mayoría de los vehículos que circulan en Tijuana, Ensenada, Rosarito y Tecate proceden de Estados Unidos.

(2) Haciendo uso de la calculadora de emisiones vehiculares de dióxido de Carbono (CO₂) Terrapass (Terrapass 2006) se obtuvieron las emisiones anuales de dióxido de Carbono (CO₂) en libras por auto, esto se convirtió a unidades SI (sistema internacional). Como insumos previos requeridos para el uso de la calculadora, se contó con los datos obtenidos mediante la

base de datos para seleccionar los fabricantes de autos; la edad promedio del vehículo, que en este caso se supuso fue de 15 años; publicaciones en línea del diario frontera con fecha 1 de septiembre de 2005 respaldan el supuesto (Diario Frontera, 2005); la selección de modelos de autos por fabricante, que fue obtenida aleatoriamente; y las millas recorridas por auto, que en este caso correspondieron a 12000 millas (19,300 km) promedio, según Terrapass (*Op. cit.*) es lo que recorre en promedio un norteamericano en un año.

(3) Con los resultados anteriores, se procedió a elaborar una base de datos en Excel. Y se procedió a convertir las emisiones anuales de CO₂ en libras por auto, a toneladas por auto.

(4) Mediante cálculos estequiométricos, se obtuvo la proporción anual de Carbono en toneladas por auto.

(5) Los datos obtenidos de proporción anual de Carbono en toneladas por auto, se sometieron a un proceso estadístico. Así, se obtuvo la media. La desviación y el error estándar fueron calculados para verificar la confiabilidad de la estimación de la media. Se calculó una regresión lineal para verificar qué tan dispersos estaban los datos.

(6) Con la media o promedio anual de Carbono en toneladas por auto obtenido, multiplicándola con los datos del parque vehicular para los cuatro municipios se obtuvieron las emisiones anuales de Carbono en toneladas del parque vehicular por municipio. Los datos del parque vehicular fueron suministrados por el Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN) de Tijuana, el Instituto Municipal de Investigación y Planeación (IMIP) de Ensenada, el H. Ayuntamiento de Rosarito y el H. Ayuntamiento de Tecate.

3.2.1.2. Transporte y carga

Para las estimaciones del transporte y carga se procedió de la siguiente forma:

1) Se obtuvo el promedio de millas recorridas al año (12000 millas, 19,300km). El dato se adquirió de Terrapass (*Op. cit.*).

2) Se obtuvo el promedio de emisiones CO₂ en libras por milla por vehículo de transporte y carga. El valor fue obtenido a partir de los datos del promedio de emisiones de camiones para pasajeros con capacidad de carga menor a 25 asientos y con capacidad de carga de 25 a 35 asientos. Ambos promedios correspondieron a un mismo valor (9.7 libras (4.4 Kg.) de CO₂ por milla por vehículo) y fueron tomados de Travelmatters.org (2006).

La extrapolación del promedio de emisiones de CO₂ surgió del supuesto de una capacidad de pasajeros semejante para los vehículos de transporte y carga en los cuatro municipios.

3) Se hizo la conversión del promedio de emisiones de CO₂ en libras por milla por vehículo de transporte y carga, a toneladas por milla por vehículo de transporte y carga.

4) El resultado anterior, se multiplicó por 12000 millas (19,200km) (promedio de millas que recorre un norteamericano al año, dato cuya fuente es Terrapass). Así, se obtuvieron las emisiones promedio de CO₂ en toneladas anuales.

5) Mediante cálculos estequiométricos, se obtuvo la proporción promedio anual de Carbono en toneladas por vehículo de transporte y carga.

6) Con el promedio anual de Carbono en toneladas por vehículo de transporte y carga resultante, multiplicado con los datos totales de vehículos de transporte y carga para los cuatro municipios se obtuvieron las emisiones anuales de Carbono en toneladas de los vehículos de transporte y carga por municipio. Cabe mencionar que el transporte y carga incluye los taxis; sin embargo, para obtener las emisiones de estos últimos, se procedió de la misma forma que con el parque vehicular, es decir, se multiplicó el número de taxis por la media o promedio anual de Carbono en toneladas por auto.

Los datos de los vehículos de transporte y carga (número de vehículos de transporte y carga) fueron suministrados por el Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN) de Tijuana, el Instituto Municipal de Investigación y Planeación (IMIP) de Ensenada, el H. Ayuntamiento de Rosarito y el H. Ayuntamiento de Tecate.

Posteriormente, al total de las emisiones anuales de Carbono en toneladas para el parque vehicular, se le sumó el total de emisiones anuales de Carbono en toneladas para los vehículos de transporte y carga de los cuatro municipios del estudio. El resultado fue el total anual de emisiones de Carbono en toneladas para el parque vehicular y vehículos de transporte y carga. En el diagrama 1, se sintetiza el procedimiento para las estimaciones de las emisiones del parque vehicular, y de los vehículos de transporte y carga.

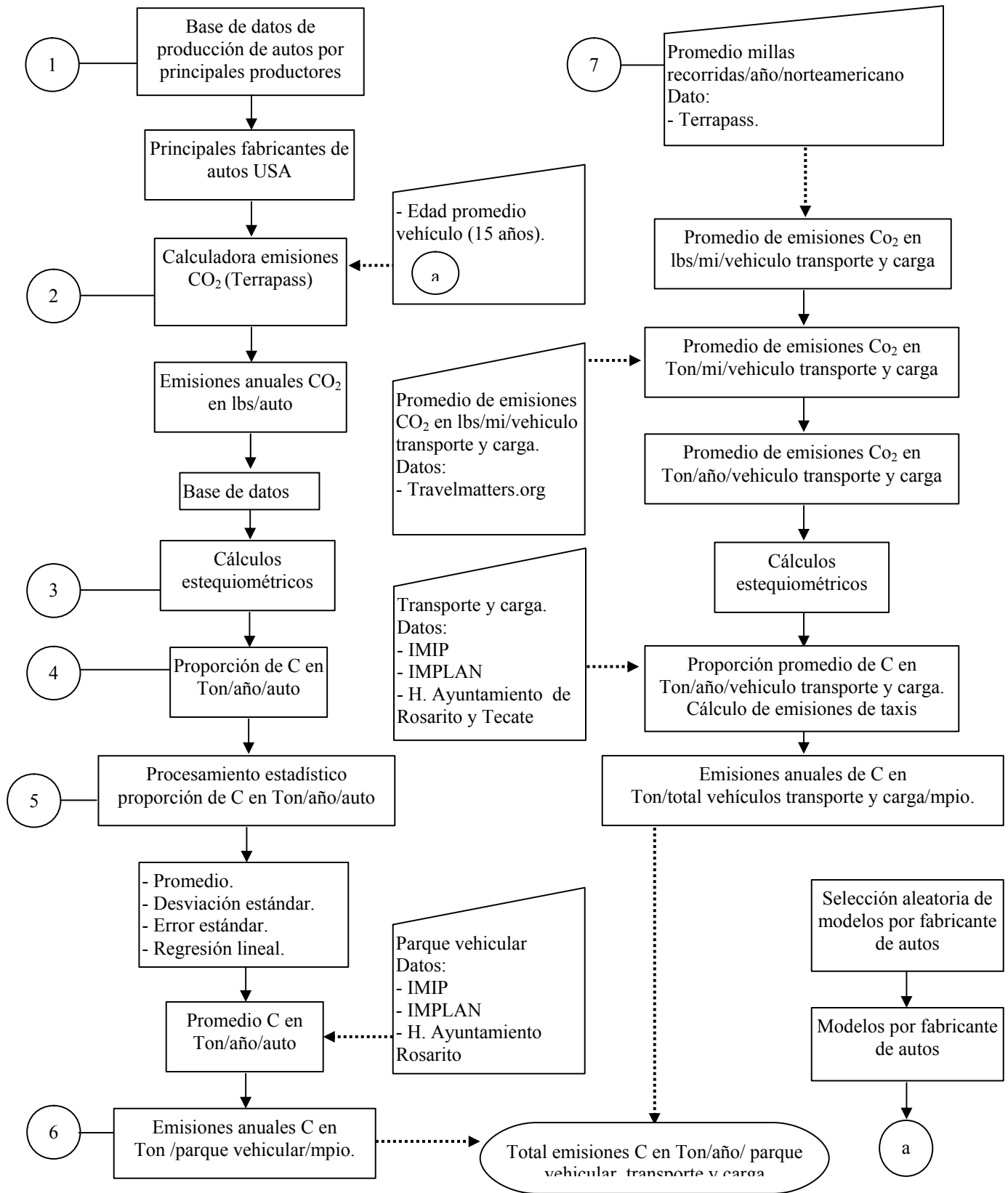


Diagrama 1. Emisiones antropogénicas: parque vehicular, transporte y carga (Métodos).

3.2.1.3. Comisión Federal de Electricidad Rosarito: Planta Presidente Juárez

Para estimar las emisiones de carbono en toneladas anuales de la Planta termoeléctrica de la CFE Presidente Juárez localizada en Rosarito, se procedió de la siguiente forma:

1) Se obtuvieron de fuentes oficiales de las emisiones de la planta para el año 2003. Los datos de las emisiones de la planta Presidente Juárez fueron obtenidos de la página de la Comisión Federal Electricidad⁴ la cual proporciona las emisiones de gases de la planta en toneladas por año.

2) Posteriormente, se seleccionaron las emisiones de gases que contenían carbono en su compuesto, siendo estas las siguientes: Metano (CH₄), Dióxido de carbono (CO₂) y Monóxido de carbono (CO). Con base en esto y mediante cálculos estequiométricos se obtuvo la proporción de carbono para cada compuesto en toneladas por año. Se realizó una suma de la proporción de carbono de todos los compuestos y se obtuvo el total de carbono en toneladas por año para la planta Presidente Juárez.

3.2.2. Incendios

Para estimar la pérdida de carbono correspondiente a la pérdida de cobertura vegetal incendiada en la zona de estudio, se hizo uso de una base de datos de incendios registrados del año 2001 al 2005 para los municipios de Ensenada, Rosarito, Tecate y Tijuana por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) en Baja California (2006).

Explicación de algunos campos de la base de datos:

La base de datos de incendios contiene la ubicación de cada incendio en coordenadas geográficas de latitud y longitud y con proyección transversa de mercator (UTM). Sin embargo, estas coordenadas dan la localización en puntos, es decir, un punto para cada

⁴ http://www.energia.gob.mx/work/resources/LocalContent/4977/1/EM_PC_2005.xls

incendio, por lo que no se toma en cuenta el área total quemada en la representación de cada punto. La base de datos también contiene el número de hectáreas quemadas por incendio. Sin embargo, no contempla propiamente el tipo de vegetación para cada evento.

Se depuró y procesó la base de datos de la siguiente manera:

1) Se llevó a cabo un proceso de normalización y estandarización de la base de datos de la siguiente forma: Con la herramienta de Word Pad, se quitaron valores o características innecesarias que pudiesen obstaculizar el manejo y procesamiento de los datos; se removieron símbolos, espacios y encabezados en las tablas correspondientes a cada año de la base de datos; así mismo, se corrigieron errores en el texto y en los datos en general de la base mencionada.

2) Posteriormente en el programa Access, se abrió y “ligaba” (con la función “link”) la tabla de datos para un determinado año. En este programa, con el cualificador de texto, se verificaba que los campos de la tabla estuvieran en el formato y tipo de dato correcto. Por ejemplo, el campo correspondiente a “fecha” debía estar en el orden del tipo “día, mes, año” y en formato de texto.

3) Con el programa de Access también se procedió a asignar un identificador o secuencial a la tabla de cada año; esto se obtuvo agregando una columna a una tabla determinada, dicha columna se tituló como FID. Lo anterior se hizo con el fin de facilitar las consultas o “querie” en las tablas de los distintos años de la base de datos, Las consultas agilizan la depuración y procesado de los datos, ya que permiten obtener información específica para una tabla o tablas determinadas, así mismo, se pueden hacer consultas de consultas previamente elaboradas, o bien, se pueden hacer consultas combinadas. Sin embargo, para poder hacer esto, las tablas deben tener un campo en común por medio del cual se puedan relacionar para hacer la consulta de la información en sus distintos campos.

4) Se obtuvo el tipo de vegetación mediante las coordenadas de latitud y longitud ya depuradas. Para esto fue necesario abrir la base de datos (ya depurada y previamente cambiada a formato DBase IV⁵) en Arc Map del programa Arc GIS 9. Una vez abierta la tabla sobre una “vista” nueva, aparecen los puntos de acuerdo a las coordenadas de latitud y longitud. Posteriormente, se procedió a convertir estos puntos en una capa de formato shapefile⁶ (este shapefile corresponde a formato tipo raster ya que se trata de puntos). Sobre la misma “vista”, añadimos una capa de vegetación (esta capa también está en formato shapefile, pero corresponde a vectores, se trata de un polígono o figura) y sobre ésta, proyectamos el shapefile de los puntos, de esta manera se puede identificar el tipo de vegetación al que corresponde cada punto. La capa de vegetación mencionada corresponde a un mapa de Uso de Suelo y Vegetación para Baja California de INEGI (Cita).

5) Se agregó el campo de tipo de vegetación a la tabla de atributos de los puntos. Para ello se hizo uso de la opción “Intersect point” que se encuentra en la herramienta de “Hawth’s tool”. Esto se hizo con el shapefile de los puntos proyectados en la capa de vegetación en Arc Map. De esta manera, se seleccionó la herramienta de “Hawth’s tools”, luego se seleccionó la opción “Analysis Tools” y después se seleccionó la opción “Intersect point”. Posteriormente se seleccionó el archivo tipo raster a intersectar en el polígono elegido; en este caso corresponde al shapefile de los puntos y al polígono de vegetación respectivamente. El procedimiento a seguir, fue seleccionar el campo de la tabla de

⁵ DBase fue el primer sistema de manejo de base de datos ampliamente utilizado para microcomputadoras. Un mayor legado de DBase es su archivo de formato .dbf, que ha sido adoptado para otras aplicaciones. Por ejemplo el formato shapefile desarrollado por ESRI para datos espaciales en sistemas de información geográfica, utiliza archivos .dbf para guardar los atributos característicos de los datos (Wikipedia, 2006b).

⁶ Shapefile: El Shapefile, es un popular formato de datos de vector geoespacial para sistemas de información geográfica. Los shapefiles describen espacialmente puntos, polígonos y polilíneas, por ejemplo, pueden representar lagos y ríos. Cada uno de estos ítems puede tener atributos que describen cada ítem (Wikipedia, 2006c).

atributos del polígono a intersectar en el archivo tipo raster, en este caso el campo elegido fue “tipo” que corresponde al tipo de vegetación que se encuentra en la tabla de atributos del polígono del mapa de uso de suelo y vegetación mencionada en un inicio. De ese modo, se agregó el campo denominado “tipo” a la tabla de atributos de los puntos. Con la herramienta de Intersect Point también se minimiza el error de hectáreas quemadas por tipo de vegetación representadas en un punto, ya que esta herramienta intersecta los píxeles de los shapefiles y la información de la tabla de atributos para cada punto y tipo de vegetación, obteniendo así las hectáreas de cada tipo de vegetación según las tablas de atributos y píxeles y no solamente la información de la representación de un punto.

6) Al proyectar el shapefile de los puntos sobre la capa de vegetación en el programa de Arc GIS, en su versión 9, se observó que las tablas de la base de los datos presentaron un error de posición en las coordenadas de latitud longitud (ver mapa 1 en resultados), a pesar de la depuración exhaustiva a la que fue sometida la base de datos. Se optó por resolver este problema, indicando el error de posición de los puntos, en lugar de eliminarlos. De haber hecho esto último, se habría perdido mucha de la información. Para indicar el error de posición, en el programa Access, se procedió a añadir una columna a la tabla de atributos, esta columna se tituló como “position” e indica el error de posición de un punto determinado en la tabla correspondiente. Para ello, se especificó en el programa que este campo fuese de tipo numérico; asignando el número 0 para los puntos que no tienen error de posición y 1 para los que sí lo tienen.

7) Una vez que la tabla obtenida contaba ya con el campo de identificación de error de posición y con el campo de tipo de vegetación añadido en los pasos anteriores, se obtuvo el número de hectáreas quemadas por tipo de vegetación por año. Esto se hizo por medio de

consultas a la tabla, especificando en la consulta los campos con información de interés para este fin.

8) Con los datos de hectáreas quemadas por tipo de vegetación por año, haciendo uso del programa Excel, se hicieron los cálculos del total de hectáreas quemadas por año, para cada tipo de vegetación correspondiente a bosques, chaparral y matorral costero; posteriormente se obtuvo un promedio anual de dichos cálculos para cada tipo de vegetación mencionada.

9) Estos datos fueron multiplicados por el total de productividad promedio para bosques, matorral costero y chaparral respectivamente, este dato es dado en toneladas por hectárea al año (ver apartado de productividad). El resultado obtenido para cada tipo de vegetación fue sumado, obteniendo así, el total agregado de la productividad promedio en toneladas al año, correspondientes a las hectáreas quemadas de bosques, chaparral y matorral costero en el área de estudio. Lo anterior se traduce en la pérdida de carbono debido a la pérdida de cobertura vegetal por incendios en el área mencionada.

3.2.3. Crecimiento de Mancha Urbana

Para calcular la pérdida de cobertura vegetal por crecimiento de mancha urbana, se procedió de la siguiente forma:

1) Se obtuvieron los datos del crecimiento promedio anual de la mancha urbana (ha) para cada municipio del área de estudio. Los datos fueron proporcionados de forma directa por IMIP de Ensenada y el H. Ayuntamiento de Rosarito para su respectivo municipio; IMPLAN de Tijuana y el H. Ayuntamiento de Tecate proporcionaron el documento de los Planes de desarrollo de Centros de Población (H. Ayuntamiento de Tijuana, 2002; Gobierno del Estado de Baja California *et al.*, 2002); con estos documentos se obtuvo el crecimiento promedio anual de la mancha urbana para Tijuana y Tecate respectivamente.

2) Con estos datos se sumó el crecimiento promedio anual de la mancha urbana en hectáreas de todos los municipios; obteniéndose así el total del crecimiento promedio de la mancha urbana de todos los municipios; obteniendo el total del crecimiento promedio de la mancha urbana en hectáreas anuales para toda el área de estudio.

3) El total del crecimiento promedio de la mancha urbana para los cuatro municipios, se dividió entre dos, para calcular la pérdida de cobertura vegetal en dos de los tipos de vegetación del área de estudio. Suponemos que se pierde cobertura de chaparral y de matorral costero debido al crecimiento de la mancha urbana en la RMBC, y no hay pérdida significativa de bosques en la región (Minnich, *et al*, 1995) debido a su distancia de las manchas urbanas.

4) Para calcular la pérdida anual por crecimiento urbano, el dato obtenido anteriormente, fue multiplicado por la suma de la productividad promedio en toneladas por hectárea al año para chaparral y matorral costero respectivamente (ver apartado de productividad), estos dos resultados fueron sumados.

3.2.4 Productividad/Acumulación

Se estimó la productividad primaria neta (NPP por sus siglas en Inglés) por dos métodos: el uso de productos de mosaicos de MODIS⁷ y el modelo de Lieth; a continuación se describe en que consiste cada uno de estos métodos.

⁷ MODIS: “Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer” es un instrumento clave abordo de los satélites Terra (EOS AM) y Aqua (EOS PM). El satélite Terra gira alrededor de la Tierra, pasa de norte a sur sobre el ecuador en la mañana, mientras que Aqua pasa de sur a norte sobre el ecuador en la tarde. Terra MODIS y Aqua MODIS visualizan toda la superficie de la Tierra cada 1 a dos días, adquiriendo datos en 36 bandas espectrales, o grupos de longitudes de ondas. Estos datos pueden mejorar el entendimiento de las dinámicas globales y procesos ocurridos en la tierra, océanos y en la atmósfera. MODIS juega un rol vital en el desarrollo de modelos de sistemas validados, globales e interactivos que pueden predecir cambios globales con suficiente precisión para asistir a los hacedores de políticas para la toma de decisiones concernientes a la protección del ambiente (NASA, 2006).

Para estimar la productividad en la Región Mediterránea de Baja California (RMBC) por tipo de vegetación se delimitó el área de estudio, siguiendo criterios de ubicación propuestos por el gobierno del estado de Baja California (2006a) para la región, en referencia a los límites norte y oeste; para el límite este se siguieron los criterios de ubicación mencionados por Mellink (2002) y también por el gobierno del estado Baja California (2006b); el criterio para delimitar la parte sur, se basa en consulta con expertos⁸ y revisión bibliográfica (Schmidt 1989; Mellink, *Op. cit.*). El límite resultante hacia el norte, fue la frontera con Estados Unidos⁹; la costa del océano Pacífico correspondió al límite en la parte oeste; en el este el límite correspondió al parteaguas peninsular de las sierras de Juárez y de San Pedro Mártir, mientras que hacia el sur, el límite resultante fue el arroyo de El Rosario.

Una vez definidos los límites de la zona de estudio se procedió a dibujar un polígono para esta región, éste fue construido con el programa Arc View 3.2 sobre una capa digital de vegetación (CONABIO 2004). Una vez obtenido el polígono de la RMBC, se hizo un corte con éste último, sobre la capa de vegetación de INEGI, esto se realizó con la función llamada “clip” del programa en mención, que permite hacer un corte de un tema sobre otro sin perder las características o atributos de cada uno de ellos. De este modo, se obtuvo el polígono de la Región Mediterránea de Baja California con los atributos de vegetación que le corresponden a esa región, de acuerdo a las capas de vegetación (CONABIO *Op. cit.*).

⁸ Consulta con expertos en el tema: Ernesto Franco Vizcaíno, Stephen Bullock: Investigadores titulares del departamento de Biología de la Conservación del Centro de Investigación Científica y Estudios Superiores de Ensenada. Consulta 2006.

⁹ Cabe mencionar que este límite es meramente dado por la división política, debido a que nuestro estudio no abarca los ecosistemas que se encuentran en Estados Unidos.

Posteriormente, el polígono obtenido en formato shapefile, se re proyectó al sistema coordinado conocido como WGS1984, en la zona 11 de la región norte.

MODIS

Se hizo uso de productos¹⁰ de mosaicos¹¹ de MODIS: MOD17A3 (Heinsch *et. al.* 2003) que se refieren a la productividad Primaria Neta Anual¹². Los productos de mosaicos MODIS (Numerical Terradynamic Simulation Group, 2003) aparecen contenidos en archivo hdf (Hierarchical Data Format)¹³ y los archivos hdf que corresponden a nuestra área de estudio para los años de 2001-2004 son los siguientes:

MOD17A3.A2001365.h08v05.105.2003351171133.hdf

MOD17A3.A2002365.h08v05.105.2003352233005.hdf

MOD17A3.A2003365.h08v05.105.2004026183816.hdf

MOD17A3.A2004366.h08v05.105.2005087153717.hdf

Con el uso de la herramienta “MODIS reprojection tool” (Land processes distributed Active Archive Center 2006) se hizo la reproyección de sinusoidal a proyección geográfica

¹⁰ Productos: En este trabajo productos de MODIS se refiere a las imágenes y algoritmos de MODIS. Algoritmo es un esquema numérico que se usa para resolver un problema (Glosario para el análisis geoespacial, 2006).

¹¹ Mosaicos: Imagen grande, montada a partir de segmentos. Cada segmento puede provenir de distintas fuentes, y tener diferente tamaño de celdas y ángulo de orientación, pero todos los segmentos deben estar rectificadas geoméricamente y calibrados a un mismo sistema de coordenadas. El proceso mosaico rota y re-escala cada pieza y crea un objeto individual combinado. Si todos los segmentos están georeferenciados a la misma proyección cartográfica, éstos pueden ser automáticamente mosaiqueados basado en su calibración geográfica sin ajustes adicionales (*Ibidem*).

¹² Productividad Primaria Neta Anual: Producción de materia seca de la vegetación en un intervalo de tiempo expresado en g/m2/año o en Kg (Ton)/ha/año (Universidad de Chile, 2006). Se diferencia de la productividad primaria bruta en que esta última incluye la respiración (Heinsch, *et. al.*, *Op. cit.*).

¹³Hierarchical Data Format (hdf): Es un formato de archivo multi-objeto y biblioteca. El hdf puede tener una mezcla de objetos relacionados a los que se puede acceder en grupo, o de forma individual. Un archivo hdf soporta muchos diferentes modelos de datos, incluyendo rangos multidimensionales, imágenes raster y tablas. El hdf se usa para la transferencia de datos gráficos y numéricos entre computadoras (Wikipedia, 2006d).

(latitud-longitud) convirtiendo el archivo de formato hdf a tiff¹⁴ en un mismo paso. Con los archivos obtenidos, se procedió de la siguiente manera:

1) En Arc Map, Arc Gis 9, sobre una vista nueva se añadió la capa del polígono de la RMBC elaborado en un inicio. Posteriormente se añadieron los archivos en formato tiff en latitud-longitud.

2) Posteriormente, se seleccionó la herramienta “Spatial Analyst” y se eligió la función “Options”, en la opción “General” se indicó un directorio para los archivos temporales o efímeros, en la opción “Analysis Extent” se indicó que la extensión sea la misma que la capa del polígono de la RMBC (para que las coordenadas del resultado de esta operación sean iguales que las de la RMBC, es decir, en coordenadas UTM). Posteriormente en la opción “Cell Size” se eligió “As Specified Below” y se indicó un “Cell Size” de 1000, que se refiere a metros.

3) Posteriormente, con la misma herramienta de “Spatial Analyst” se eligió la opción de “Raster Calculator” y en “Layers” se seleccionó el archivo tiff en latitud-longitud en el que trabajará (por ejemplo el archivo correspondiente al año 2000) y se multiplica por 0.1 que se refiere a una conversión a grados (esto se hizo debido a que MODIS suministra esta unidad en 0.0001 grados). Se seleccionó la opción “Evaluate” y en el menú de la vista de Arc Map aparece como resultado un archivo que se titula arbitrariamente como “Calculation” y hace referencia al cálculo recientemente elaborado; el archivo es efímero, se deja así sobre el menú de la vista de Arc Map para su uso posterior.

¹⁴ Tagged Image File Format (tiff): Es un formato de archivo para almacenar principalmente imágenes, incluyendo fotografías. Este soporta ampliamente aplicaciones de manipulación de imágenes y procesamiento de datos, entre otras. Tiff es un formato popular para imágenes de colores de alta profundidad. (Wikipedia, 2006e)

4) Con la herramienta de “Spatial Analyst” se selecciona la función “Raster Calculator” se toma el archivo tiff en el que se ha estado trabajando, se selecciona el símbolo “<” y se tecllea el número 30000; con esta acción se eliminan los valores altos, esto es acotando los datos en un rango válido y positivo (Heinsch *et al. Op. Cit*, especifican que el rango válido llega hasta 32766,).

5) Se genera el archivo titulado arbitrariamente “calculation”. Este archivo tiene dos clases (máscara binaria 1 que corresponde a cero y 2 que corresponde a uno) que se deben reclasificar en una sola. Se eliminan los ceros se crea una sola clase, para ello se utiliza el “Spatial Analyst” seleccionando la función “Reclassify”. . A continuación se elige “Input Raster” donde es utiliza el archivo “Calculation” generado anteriormente. En el menú “Reclassify field” se elige la opción “Value”, la única que aparece. Posteriormente con los “Old values” que aparecen, cambiamos los “New Values”, estos deben de quedar como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. Reclasificación

Valores anteriores	Valores nuevos
0	No datos
1	1
No datos	No datos

Como resultado de esta acción, en el menú de la vista aparece un archivo efímero titulado arbitrariamente como “Reclassify of Calculation”, el archivo se debe convertir en permanente, con el botón derecho se elige la opción “Make Permanent” y se guarda en el

directorio renombrándolo con el nombre de Mask2000 (suponiendo que ese es el año correspondiente al archivo en que se está trabajando). Este archivo es agregado a la vista del menú. A continuación, con el botón derecho, se remueve el archivo efímero del cálculo anterior titulado “Reclassify of Calculation”.

6) El archivo de máscara para el año deseado (siguiendo el ejemplo anterior, este sería Mask2000), se multiplica este por el archivo efímero de gramos obtenido en el paso 3.

Esta multiplicación se hace con el “Spatial Analyst”; se selecciona la función “Raster Calculator” y la máscara 2000, se elige el símbolo de multiplicar “*” seguido de la selección de el archivo efímero de gramos. El resultado es un archivo nombrado arbitrariamente como “Calculation”, este resultado corresponde a la productividad primaria neta (net primary productivity, es abreviada como npp por sus siglas en Inglés) en gramos; el archivo se hace permanentemente, renombrándolo como npp2000grs (con el ejemplo seguido hasta ahora). Cabe mencionar que los valores altos y bajos para la productividad primaria neta de cada año varían; se debe hacer una máscara para cada año, esta máscara binaria permite quitar los valores altos y acotar nuestros datos a un rango válido y positivo. Así mismo, la máscara nos permite cambiar a gramos la productividad primaria neta. El procedimiento seguido hasta ahora, es decir desde el paso 1 hasta el presente paso 5 se realiza para los años 2000 al 2004.

7) Se multiplica la máscara de un año determinado por su npp en gramos del mismo año. Con el “Spatial Analyst”, se elige “Raster Calculator”, se selecciona el archivo de la máscara de un año determinado y se indica el signo de multiplicar seguido por el archivo de la npp del mismo año en gramos (por ejemplo “mask2000” * “npp2000grs”); los archivos resultantes de estos cálculos se nombran como “mask_npp” y el año determinado (por ejemplo “mask_npp2000”). Posteriormente estos resultados se suman y dividen entre

5 para obtener un promedio de la productividad primaria neta en gramos, este se archivo se tituló “Prom_mask_npp”. Así mismo, también se hizo un promedio sumando todas las npp de cada año y dividiéndolas entre 5. Esto permitió comparar los dos métodos para buscar consistencia en datos y metodologías. La comparación resultó en que ambos promedios fueron iguales.

8) Se cambió el tipo de dato de floating (estos son datos con decimales, se puede ver el tipo de dato que es en propiedades) a latitud-longitud; el programa Arc Map pide números enteros para hacer cálculos de estadísticas por polígonos (éste corresponde al próximo paso) ya que los archivos originales de MODIS tenían números enteros. Para poder convertir los archivos a números enteros se eliminaron los decimales de los datos con la herramienta “Hawth’s tools”; seleccionamos la función “Raster Tools” .En “Raster data type conversion” aparece “Raster data set to convert” en él se indica el npp en gramos promediado en el paso 6, “Prom_mask_npp”, en la opción “Output raster format” se indica que sea GRID, en la opción “Output raster data set” se renombra el archivo como “ipromnpp”, la letra “i” al inicio, se refiere a que es dato entero, es decir, que no tiene decimales. Posteriormente en la opción Output data type se indica que sea INTEGER [SHORT] (signed 16bit;+/-32768) y en “New NoData Value” indica -32768. Estos valores de +/-32768 y el “NoData” que es una palabra de restricción que no permite valores de -32768 se refieren al rango de MODIS de 32766, con esta acción, no habrá valores mayores que 32768 ni valores negativos de esa cifra.

9) Con los datos enteros, se procede a hacer las estadísticas por polígono. En este proceso se obtiene la productividad correspondiente a cada polígono, que en este caso sería en la capa del polígono de la RMBC Se da doble click a ese archivo en la vista del menú y aparece la caja de propiedades, se seleccionan “Categories”, “Unique Values” y en la

opción “Value Field” se selecciona “T1_COM_LEY” y se da click en “Aceptar”. Con “Hawth’s tool” se selecciona la función “Raster Tools”, “Zonal Statistics” en la opción de “Zonal Polygon Layer” se elige el polígono de la RMBC en coordenadas UTM, en “Raster Layer” se elige el archivo entero de “ipromnpp”, en “Output table dbf” se indica dónde se desea guardar la tabla en formato dbf (dbase file) resultante de este proceso y la se renombra como “Suminpp”, se da click en OK.

10) Posteriormente se une la tabla de “Suminip” con la tabla del polígono de la RMBC en UTM. Con el botón derecho se elige la opción “Join and relates” en la tabla de atributos en “Options” en “¿What do you want to join to this layer?” se da la opción “Join attributes from a table”; en la opción “Choose the field in this layer that the join will be based on” se indica el campo denominado “FID”; en la opción de “Choose the table to join this layer, or load the table from disk” se indica “Suminpp”, en la opción de “Choose the field in the table to base te join on” se indica el campo “Poly FID”, aparece una caja que indica si se desea crear un índice, se indica que no. La unión de las dos tablas se puede observar en la tabla de atributos del polígono de la RMBC en el sistema coordenado UTM que se utiliza para realizar este proceso.

11) Se hace una actualización de áreas de las tablas que fueron unidas en el paso anterior. Esto fue necesario, ya que la tabla de atributos unida en el paso anterior, presentó muchos códigos repetidos, debido a que el polígono elaborado de la RMBC tenía estos códigos repetidos. Este error ocurrió durante el corte o “clip” del proceso de elaboración de ese polígono. Para quitar las áreas repetidas a la tabla, se procede a quitar el “join” previamente elaborado, ya que el programa no permite trabajar con él para este proceso. Esto se hace con el botón derecho y la opción “Join and Relates”, se selecciona “Remove Joins”. Posteriormente, se abre la tabla de atributos de la RMBC en UTM y se selecciona

la columna de áreas. Usando el botón derecho y eligiendo la opción “Calculate Values”, se selecciona la opción de “Área” y se le da OK. Con esta acción se actualizan las áreas en la tabla de atributos. Se rehace el “join” que se había quitado, tal como se hizo en el paso anterior y se hace una copia de seguridad de esta tabla usando la herramienta “Arc catalog”, se le titula “NPPveg”. Se exporta en la tabla de atributos abierta, en “Options” se selecciona “Export”, “All data”. En “Output table” se selecciona el lugar donde se desea guardar.

12) Con las áreas actualizadas se procede a quitar los valores repetidos en la tabla de atributos; este proceso se lleva a cabo en el programa “Access”. En este programa, se crea una nueva base de datos, titulada “NPP por tipo” que se refiere a la productividad primaria neta por tipo de vegetación.

13) En “File” se elige la opción “Get external data” y con la opción “Link”, se liga la tabla “NPPveg”. Posteriormente, eliminar los valores repetidos, se crea una nueva consulta o “query” a partir la tabla ligada. Se selecciona crear una nueva consulta, en la opción “Mostrar tabla” se selecciona la tabla se cierra. En consulta de selección se escoge el campo de “Área” de la tabla añadida y se coloca este campo en la primera y segunda columna. Se selecciona la función de “Agrupar” y en la segunda columna de Área se indica la opción “Count of Area”, se procede a correr la consulta o “query”. Se abre la consulta, se selecciona la columna “Count of Area” y con el botón derecho, se indica la opción “Sort Descending”. De este modo, aparecen dos columnas de Área y de “Count of Area”, así se puede notar cuáles son las áreas que se repiten, en orden descendente.

14) Posteriormente, en “Arc Map”, sobre la tabla “Nppveg” que se trabajó en “Access”, se selecciona “Options”, “Select by attributes”, se indicó la siguiente fórmula:
“Suminpp.ZSTATS_CNT” ≠ 1 and Sum <>-999

De este modo, quedan seleccionadas unas características en la tabla. Posteriormente, con el botón derecho en la capa de la RMBC en UTM en el menú de la vista y se selecciona, “Data”, “Export data”, “Selected features” y la se guarda como “vegrmbcfiltrados”, que se refieren a los datos filtrados para la tabla de “RMBC UTM” con el “join” que se elaboró en el paso 12.

15) Sobre la tabla dbf titulada “vegrmbcfiltrados”, se crea un campo llamado “Área Km²” que corresponde a el Área dividida entre un millón, (el área venía originalmente en hectáreas). Posteriormente, se procede a multiplicar el Área por su NPP promedio, es decir una columna por la otra. Esto se hace en Access o en la tabla dbf en “Arc Map” con “Calculate values”. La tabla ya depurada y filtrada se renombra como “Vegefilt” y las unidades de productividad son gr/m². Con esta tabla se obtienen las estadísticas para la productividad, esto se logra haciendo una consulta específica para ello. En el anexo 2 se ilustra el diseño a seguir para obtener estas estadísticas. Posteriormente, para obtener la productividad primaria neta promedio en toneladas y las hectáreas correspondientes a esta, se procede a hacer una nueva consulta a la misma tabla de “Vegefilt”, el diseño de esta se ilustra en el anexo 3.

16) Con el resultado de las consultas de Access en la tabla titulada “Vegefilt”, se procede a calcular la productividad promedio por tipo de vegetación. Estos cálculos fueron hechos en el programa Excell, obteniendo el total de productividad neta promedio para las hectáreas correspondientes a los 4 tipos de bosques, los cuales fueron reagrupados en un solo grupo denominado bosques, el total para chaparral y el total para los dos tipos de matorral costero que también se reagruparon en un solo grupo denominado matorral costero.

Las reagrupaciones mencionadas, se hicieron de acuerdo a la distribución del tipo de vegetación referente a la altura sobre el nivel medio del mar. El matorral costero se

consideró en un rango de la costa hasta los 800 msnm (SAGARPA, 2006). Los bosques se consideraron distribuidos en un rango altitudinal de 1400 a 2600 msnm (Minnich *et al.* 1995). Para efectos de este trabajo el chaparral se consideró desde los 800 hasta los 1400 metros sobre el nivel del mar, dada la distribución de para matorral costero y bosques en referencia a la altura sobre el nivel del mar.

En el diagrama 2 se sintetiza de la metodología a seguir para el cálculo de productividad con los productos de MODIS.

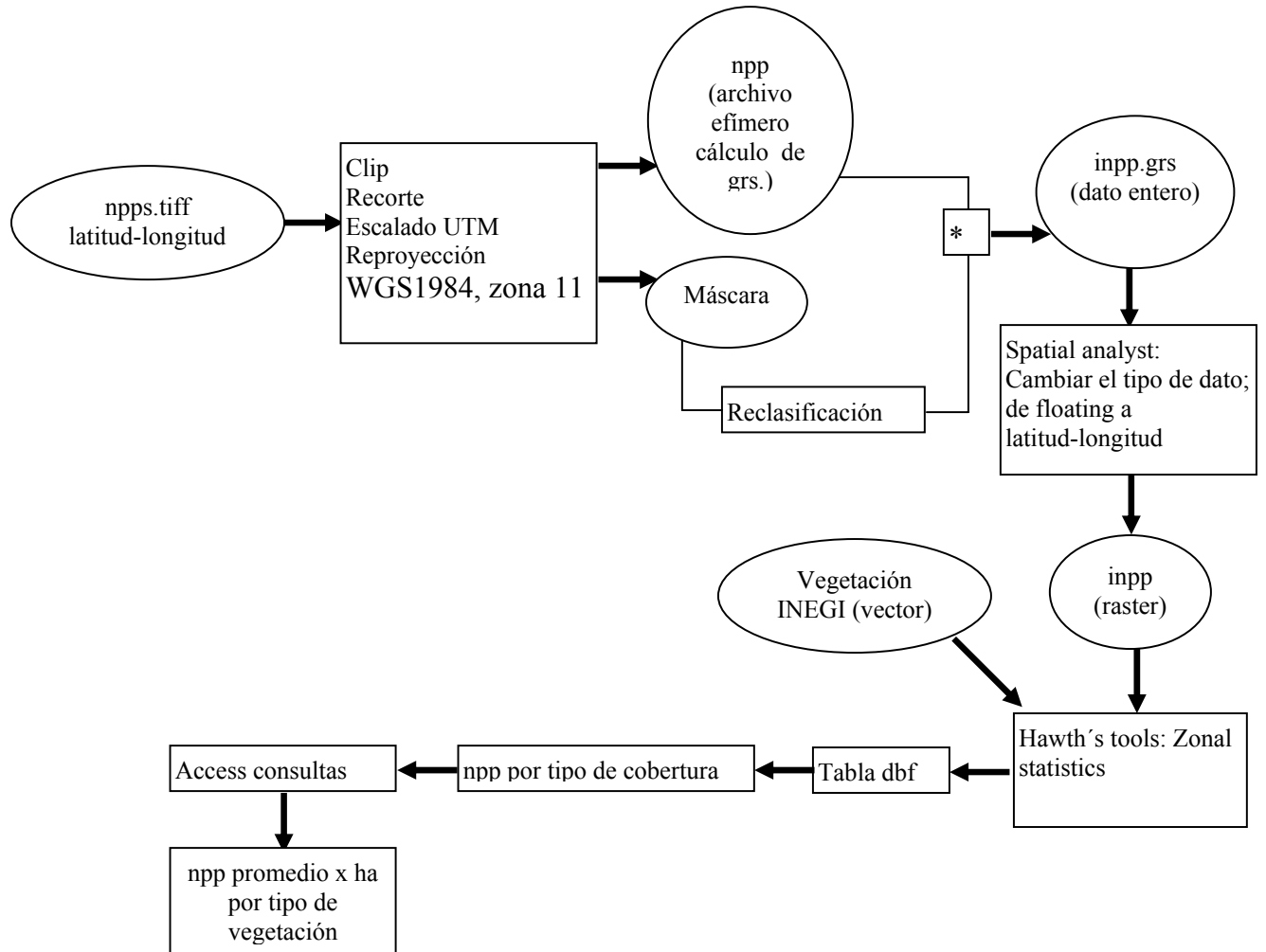


Diagrama 2. Metodología para el cálculo de la productividad con los productos e imágenes MODIS.

Lieth:

El modelo de Lieth estima la productividad basada en la precipitación (Lieth, 1972). La fórmula para calcular la productividad con base en este modelo es:

$$P = Y - 20$$

Donde “P” es la productividad en unidades de gr/m², la “Y” corresponde a la precipitación promedio (*Ibidem*). En este trabajo también se hizo una resta o diferencia de la productividad estimada con MODIS menos la productividad obtenida a partir de Lieth. Cabe mencionar que según varios autores MODIS sobreestimada la productividad. Lieth solo toma en cuenta el parámetro de precipitación y no toma en cuenta el tipo de la vegetación para obtener la productividad. La resta se hizo para comparar las estimaciones obtenidas con ambos métodos. La comparación se hizo con el propósito de enriquecer la discusión y aportes de resultados de este trabajo, por lo que ambos métodos para estimar la productividad son confrontados en el apartado de discusión.

Para obtener la productividad a través del modelo de Lieth, se procedió de la siguiente manera:

- 1) Sobre la misma vista en la que se ha trabajado, se añade el archivo tiff correspondiente a la precipitación anual para Baja California del año 2003 (North American Atlas, 2006). Este archivo se nombra “Precipannual.tif”
- 2) Se hace una máscara binaria y una reclasificación para eliminar los valores negativos convertir a coordenadas UTM. No fue necesario restringir estos datos dentro de un rango válido como se hizo en el paso 3 del procedimiento anterior, ya que estos datos no corresponden a MODIS, sino que fueron obtenidos de un Atlas de precipitación (North American Atlas, *Op. cit.*). Para construir la máscara se usó el “Spatial Analyst”, en

“Options” se eligieron las mismas opciones que en el paso 2 del procedimiento con MODIS para las opciones de “General”, “Analysis Extent” y “Cell Size”.

3) Con el “Spatial Analyst” se eligió la función de “Raster Calculator” y se indicó la fórmula: $\text{Precipannual.tif} \geq 0$ con esta acción se eliminan los valores negativos.

4) Para reclasificar el archivo de dos clases que se obtiene como resultado del paso anterior, con el “Spatial Analyst” se usa la herramienta “Reclassify” y se hace el mismo cambio de “Old Values” y “New Values” que en el paso 4 del procedimiento con MODIS. Se renombra el archivo resultante como “Maskprecipita”, se hace permanente y se borran los archivos efímeros.

5) Posteriormente se multiplica el archivo de “Precipannual.tif” utilizado en el inicio de este procedimiento por el archivo de “Maskprecipita”. Esto se hace con el “Spatial Analyst”. Se elige el “Raster Calculator” como se vio en el paso 6 del procedimiento con MODIS. El archivo resultante de este cálculo se tituló como “Precipannual”, se hizo permanente y se borraron los archivos efímeros.

6) Procedemos a hacer la resta o diferencia del método MODIS – Lieth. El cálculo de la productividad según Lieth y de la diferencia entre los dos modelos, se llevaron a cabo en un mismo paso. Para esto fue necesario despejar la fórmula de Lieth con la resta ya integrada. Los cálculos se realizaron en Arc Map. Con el “Spatial Analyst”, se elige el “Raster Calculator” y se indica la fórmula despejada, con la diferencia ya integrada:

$$[“ipromnpp”] - [\text{precipannual}] + 20$$

Este resultado se guarda como “modis-Lieth”.

7) Se hace un cálculo para descubrir diferencias en la productividad estimada por cada método. Se procedió a elaborar una máscara binaria con la que se eliminaron valores

negativos. La máscara se elaboró con el “Spatial Analyst”, seleccionado “Raster Calculator” con la siguiente fórmula:

$$[\text{modis-Lieth} < 0]$$

Se genera una máscara con clases “0” y “1”. A éstas últimas se les renombra dando un click largo, al número de clase en el menú, se libera y se puede renombrar como sigue:

“0” equivale a “Modis > Lieth”

“1” equivale a “Leith > Modis”

Con el cálculo realizado se pueden observar las diferencias de estimación de productividad. Esto se puede apreciar mejor sobre la capa de vegetación “Vegefilt”, resultante del paso 15 del procedimiento con MODIS (Ver mapa 3, en resultados).

4. Resultados

4.1. Emisiones antropogénicas

El promedio anual de Carbono en toneladas por auto, resultó ser de 1.49; los resultados para cada municipio en estudio se presentan en este apartado. También se muestran los resultados correspondientes a transporte y carga y a la planta termoeléctrica de la CFE de Rosarito.

El municipio de Tijuana presentó un total anual de emisiones de Carbono de 657,330.57 toneladas que corresponden al agregado de las emisiones del parque vehicular y de vehículos de transporte y carga¹⁵. A este total de emisiones de Carbono, el parque vehicular de 385,194 autos, contribuye con 573,939.06 toneladas de Carbono anuales. Mientras que los 11,567 vehículos de transporte (incluyendo taxis) y carga del municipio, contribuyen con 83,391.51 toneladas anuales.

¹⁵ Parque vehicular de Tijuana: Poder ejecutivo de Baja California. 2003. Transporte y carga: H. Ayuntamiento de Tijuana. 2004. Ambos datos fueron facilitados por el Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN).

El total de las emisiones de Carbono por año del parque vehicular y de vehículos de transporte y carga de Ensenada¹⁶ fue de 1,252,876.50 toneladas. Las contribuciones del parque vehicular de 151,870 autos al total agregado de las emisiones fueron de 226,286.3 toneladas de Carbono anuales. De igual forma, las contribuciones al total agregado de las emisiones que corresponden a los 64,972 vehículos de transporte y carga del municipio, fueron de 1,026,590.20 toneladas de Carbono anuales.

Rosarito con un parque vehicular¹⁷ de 23,387 autos y 8,975 vehículos de transporte y carga presentó emisiones respectivas de 34846.63 y 141657.6 toneladas de Carbono anuales. La suma total de las emisiones del parque vehicular y de vehículos de transporte y carga del municipio de Rosarito es de 176,504.23 toneladas de Carbono anuales.

El municipio de Tecate con un parque vehicular de 34,17 autos, presentó emisiones de 50,913.3 toneladas de Carbono anuales. Las emisiones de los 16,751 vehículos de transporte y carga del municipio fueron de 264,821.99 toneladas de Carbono al año. La suma total de las emisiones del parque vehicular y de los vehículos de transporte y carga¹⁸ de Tecate corresponde a 315,735.29 toneladas de Carbono anuales.

La planta termoeléctrica de la CFE en Rosarito presentó emisiones de un total anual de 201,970.7 toneladas de Carbono¹⁹. La suma total de las emisiones anuales de Carbono acumuladas del parque vehicular y transporte y carga de los cuatro municipios y de la planta CFE Rosarito en el año 2003 es de 2,593,462.81 toneladas.

¹⁶ Número de autos y de transporte y carga: Instituto Municipal de Planeación de Ensenada, 2005.

¹⁷ Parque vehicular: Poder ejecutivo de Baja California. 2003 (Datos facilitados por el Instituto Municipal de Planeación). Estimación de vehículos de transporte y carga a partir de datos de estadísticas municipales de Rosarito: INEGI, 2004.

¹⁸ Parque vehicular: Poder ejecutivo de Baja California. 2003 (Datos facilitados por el Instituto Municipal de Planeación). Estimación de vehículos de transporte y carga a partir de datos de estadísticas municipales de Tecate: INEGI, 2004.

¹⁹ Obtenido a partir de datos publicados de la Secretaría de Energía (SENER). 2005.

En la hoja de balance, se resumen los resultados obtenidos de las estimaciones de productividad de los tres tipos de vegetación, las emisiones del parque vehicular, y de los vehículos de transporte y carga, además de los de la termoeléctrica de la CFE de Rosarito así como el resultado del balance.

Figura 2. Hoja de Balance de Carbono: Síntesis de resultados

Componentes				Balance C				
				Pérdida C Ton/año		Productividad/Acu- mulación C		Balance C Ton C año
				Pérdida C Ton/año	Total pérdida	Productividad vegetación/año		
P é r d i d a d e c o b e r t u r a v e g e t a l y E m i s i o n e s P a r t e	Emisiones Antropogé- nicas	Parque vehicular	Tijuana	573939.06	2658544.9 1	Chaparral	6301466 .82	
			Ensenada	226286.3		Matorral costero	1828665 .44	
			Rosarito	34846.63		Bosques	614834. 64	
			Tecate	50913.3		Subtotal	8744966 9	
			Subtotal	885985.29		Acumulación C Ton		
		Transporte y carga	Tijuana	83391.51		Chaparral	18904400 4.7	
			Ensenada	1026590.2		Matorral costero	30763006 07	
			Rosarito	141657.6		Bosques	28757648 1.7	
			Tecate	264821.99		Subtotal	50738349 2.5	
			Subtotal	2402446.59				
	CFE Rosarito		201970.7					
	Subtotal		2604417.286					
	Pérdida de captura de Carbono por pérdida de cobertura vegetal	Incendios forestales	Chaparral	42400.5				
			Matorral Costero	392.4772				
Bosques			4393.3					
Subtotal			47186.26					
Deforestación								
Crecimie nto de mancha urbana		Chaparral	2738.796409					
		Matorral costero	4202.546828					
		Subtotal	6941.343237					
Subtotal		54127.60324						
Total pérdida de Carbono				2658544.91			6086422 Positivo	

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de IMIP, IMPLAN, H. Ayuntamiento de Rosarito, H. Ayuntamiento de Tecate y CFE.

4.2 Incendios

Los resultados de la pérdida de Carbono por incendios se muestran en el anexo 1.

El promedio resultante para el total de los tres tipos de bosques existentes en la base de datos fue de 246.92 hectáreas quemadas al año. El promedio anual de hectáreas quemadas para Chaparral fue de 10335.84; el promedio correspondiente al matorral costero fue de 62.35 hectáreas quemadas al año. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2. Promedio de hectáreas quemadas por tipo de vegetación

Promedio total de hectáreas quemadas al año para los tres tipos de bosques	Promedio de hectáreas quemadas al año para Chaparral	Promedio de hectáreas quemadas al año para Matorral costero
246.92	10335.83	62.35

Fuente: Elaboración propia a partir de datos provenientes de la Comisión Nacional Forestal (*Op. cit.*)

El resultado de las hectáreas quemadas por tipo de vegetación por año, multiplicadas por la productividad promedio por tipo de vegetación mencionado, fue de 4393.30 toneladas de Carbono correspondientes a bosques; 42400.48 para chaparral y 392.48 toneladas de Carbono para matorral costero. El resultado correspondiente a la suma total de las hectáreas quemadas en los tres tipos de vegetación fue de 47,186.26 toneladas de Carbono. En la siguiente tabla se resumen los resultados del cálculo realizado.

Tabla 3. Total de pérdida de cobertura por tipo de vegetación

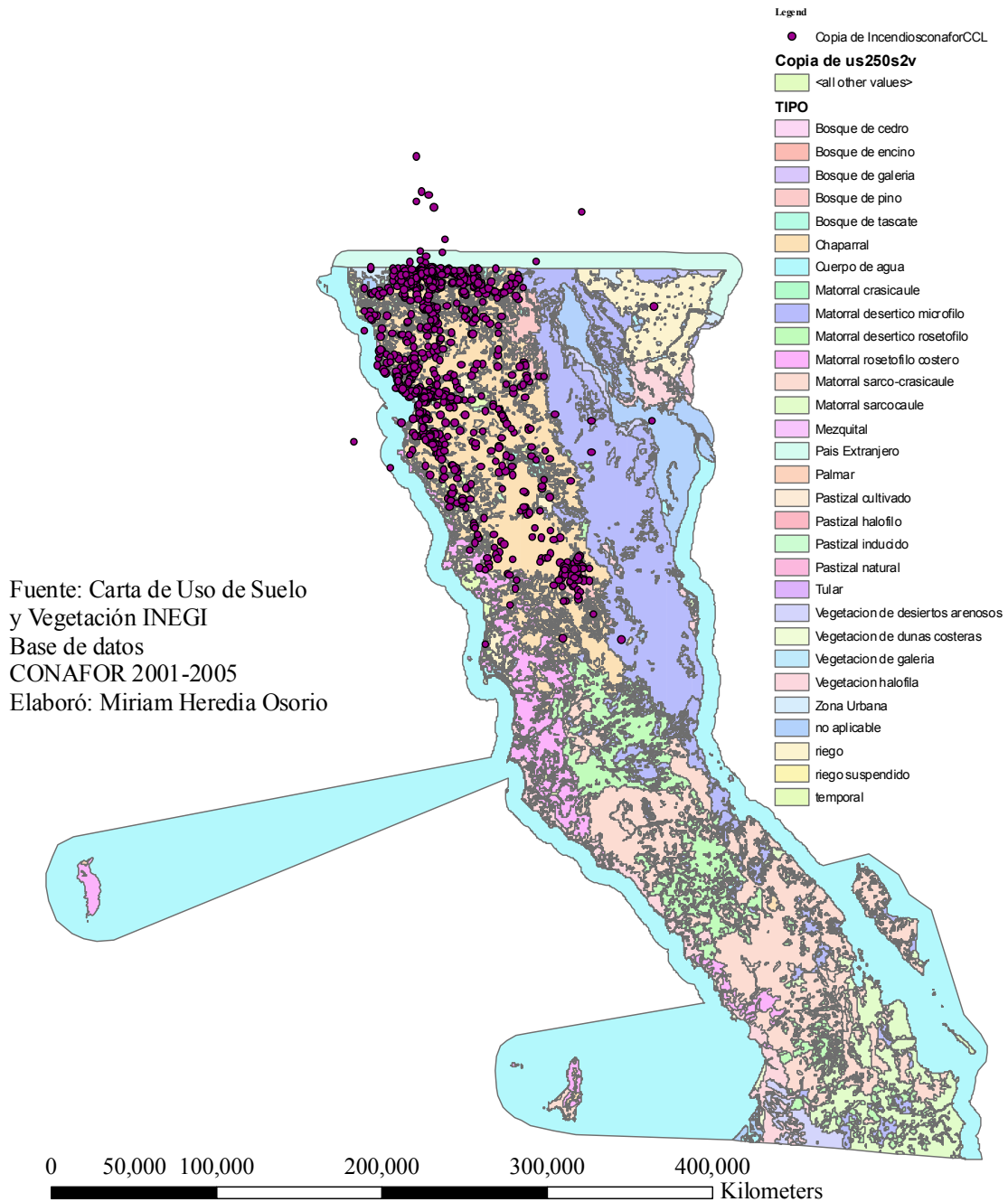
Pérdida de C debido a has quemadas de bosques (toneladas anuales)	Pérdida de C debida a has quemadas de Chaparral (toneladas anuales)	Pérdida de C debido a has quemadas de matorral costero (toneladas anuales)	Total de pérdida de Carbono debido a incendios (toneladas anuales)
4393.3	42400.5	392.48	47186.26
Multiplicación: (Productividad promedio en Ton por has año) (has quemadas por tipo de vegetación)			

Fuente: Elaboración propia a partir de datos provenientes de la Comisión Nacional Forestal (*Op. cit.*) y de cálculos de productividad (ver apartado de productividad).

En el siguiente mapa, se pueden apreciar los incendios según la base de datos de CONAFOR 2001-2005

Mapa 2. Distribución de incendios en la región mediterránea de Baja California 2001-2005

Distribución de incendios en Baja California 2001-2005



4.3. Crecimiento de la Mancha Urbana

El municipio de Tijuana presentó un crecimiento promedio anual de la mancha urbana de 821.25 has, del mismo modo, Ensenada, Rosarito y Tecate mostraron un crecimiento promedio de la mancha urbana de 266.45 has, 159.43 has, y 88.13 has anuales respectivamente. En la siguiente tabla se pueden apreciar estos resultados.

Tabla 4. Crecimiento promedio de la mancha urbana para cada municipio

Municipio	Crecimiento de Mancha Urbana Has/año
Tijuana	821.25
Ensenada	266.45
Rosarito	159.43
Tecate	88.13
Total	1,335.26

Fuente: Elaboración propia a partir de datos provenientes de IMPLAN *et al.*, *Op. Cit*

La suma total del crecimiento promedio anual de la mancha urbana en hectáreas para todos los municipios, resultó ser de 1335.26 hectáreas anuales. Como resultado de la división de este dato entre dos, tenemos la cifra de 667.63 hectáreas al año. De manera que la multiplicación de este último dato por la suma de la productividad promedio en toneladas por hectárea al año fue de 2738.80 y 4202.55 en toneladas para esa área en chaparral y matorral costero respectivamente.

El resultado de la suma de estos dos últimos datos, es decir la pérdida total de toneladas de Carbono por año debido al crecimiento de la mancha urbana fue de 6941.34.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los cálculos hechos en este apartado con sus respectivos resultados.

Tabla 5. Resumen de resultados de pérdida de captura de Carbono debido la pérdida de cobertura por crecimiento de mancha urbana.

Mancha urbana total Ha al año (dividida entre dos)	Chaparral Ton/año	Matorral costero Ton/año	Pérdida total de C por crecimiento de mancha urbana (Toneladas anuales)
667.63	2738.80	4202.55	6941.34

Fuente: Elaboración propia a partir de datos provenientes de IMPLAN *et al.*, *Op. Cit.* y de cálculos de productividad (ver apartado de productividad).

4.4 Productividad/Acumulación

Productividad MODIS

Los resultados de la consulta realizada a la tabla dbf “Vegefilt” para la npp promedio por tipo de vegetación por hectárea por año en toneladas, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6. Productividad promedio por tipo de vegetación

Tipo de vegetación	Toneladas de Carbono	Área Hectáreas	Promedio NPP Ton/Ha/año
Bosque de encino	11115.06	1802.39	6.17
Bosque de pino	547953.67	143499.91	3.82
Bosque de pino-encino (incluye encino-pino)	2323.47	525.08	4.43
Bosque de táscate	53442.43	15802.10	3.38
Chaparral	6301466.82	1536089.35	4.10
Matorral rosetófilo costero	1714435.17	441308.07	3.88
Matorral sarcocrasicaule	114230.27	47401.43	2.41

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de MODIS (Heinsch, *et al.*, 2003; Numerical Terradynamic Simulation Group, 2003), CONABIO (2004), INEGI (CITA)

La productividad promedio del Bosque de encino corresponde a 6.17 Ton/ha/año; del Bosque de pino 3.82 Ton/ha/año; del Bosque de pino-encino (incluye encino-pino) 4.43 Ton/ha/año; y Bosque de táscate 3.38 Ton/ha/año. La productividad para el chaparral 4.10 Ton/ha/año. Para el matorral rosetófilo 3.88 Ton/ha/año; la productividad de matorral sarcocrasicaule 2.42 Ton/ha/año. Estos resultados se ilustran por grupo de vegetación en las siguientes tablas:

Tabla 7. Productividad promedio en el grupo de bosques

Bosques	Total Promedio NPP Ton/ha /año
Bosque de encino	6.16
Bosque de pino	3.82
Bosque de pino-encino (incluye encino-pino)	4.43
Bosque de táscate	3.38
Suma	17.80

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la tabla anterior.

Tabla 8. Productividad promedio en Chaparral

Chaparral	Total Promedio NPP Ton/ha/año
Chaparral	4.10
Suma	4.10

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la tabla primer tabla de este apartado.

Tabla 9. Productividad promedio en el grupo de Matorral costero

Matorral costero	Total Promedio NPP Ton/ha/año
Matorral rosetófilo costero	3.88
Matorral sarcocrasicaule	2.41
Suma	6.29

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la tabla primer tabla de este apartado.

La productividad promedio para el total de bosques fue de 17.79 Ton/ha/año. El chaparral 4.10 Ton/ha/año. La productividad promedio de Matorral costero 6.29 Ton/ha/año. En la siguiente tabla se sintetizan los resultados:

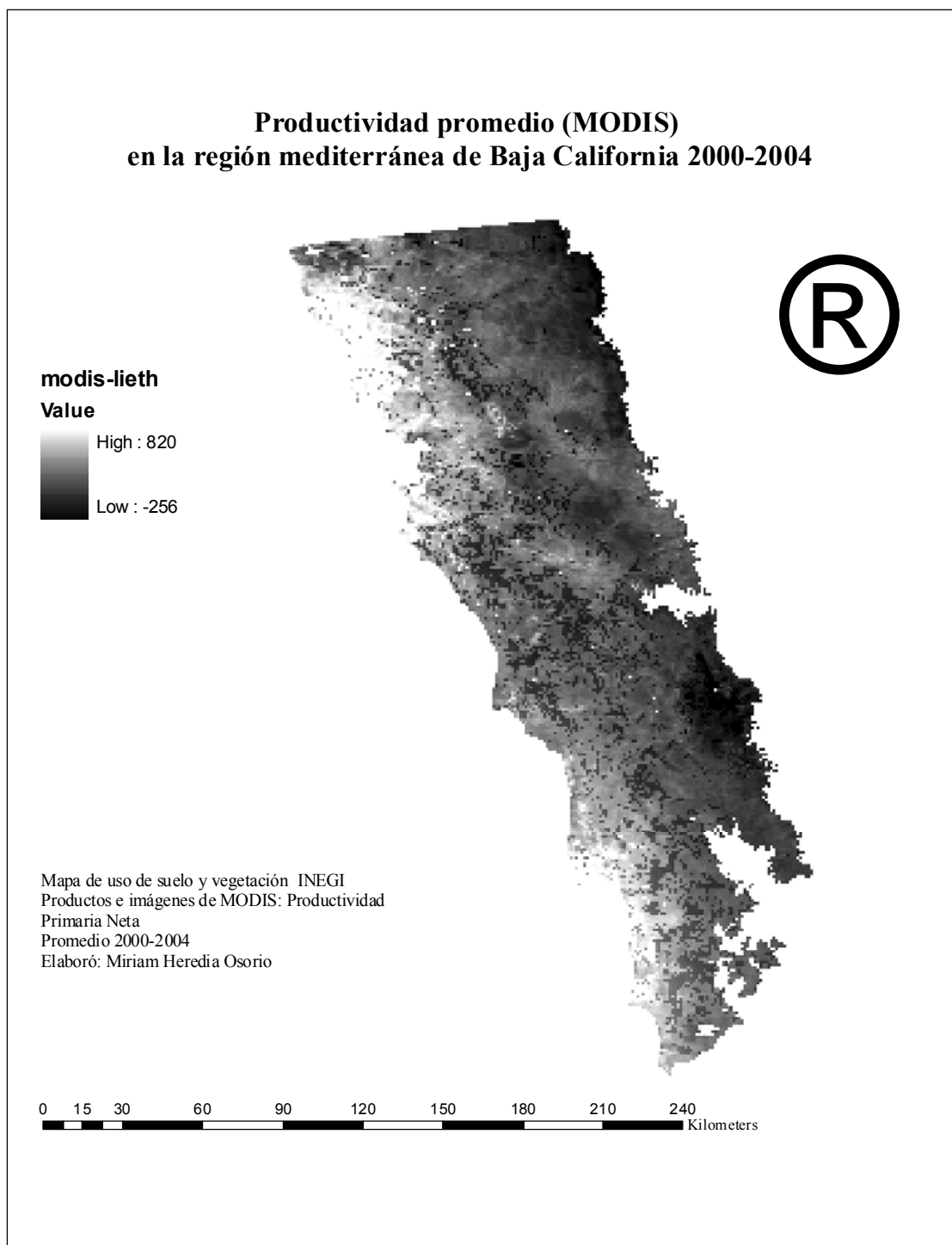
Tabla 10. Productividad promedio para los tres tipos de vegetación

Tipo de vegetación	Toneladas de Carbono	Área Hectáreas	Promedio NPP Ton/ha/año
Bosques	614834.64	161629.48	17.79
Chaparral	6301466.82	1536089.35	4.10
Matorral costero	1828665.44	488709.50	6.29
Total	8744966.9	2186428.34	28.19

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la tabla primer tabla de este apartado.

En el siguiente mapa se muestra la productividad promedio de acuerdo a las imágenes y productos de MODIS.

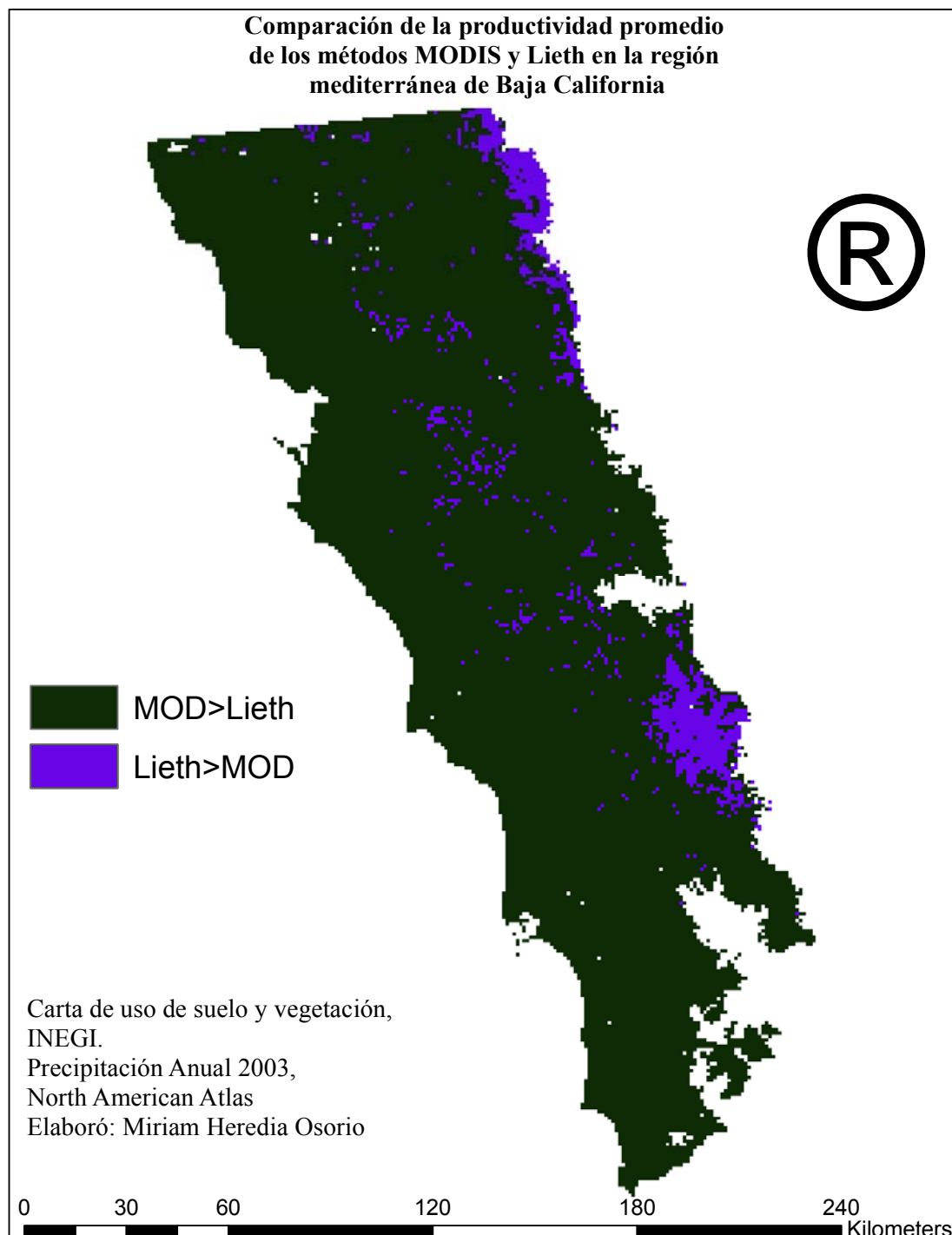
Mapa 3. Productividad promedio (MODIS) en la región mediterránea de Baja California
2000-2004



Productividad Lieth

La productividad calculada por MODIS resultó ser mayor que Lieth en un 93.45% de los casos y Lieth es mayor que MODIS en el 6.55% restante. Esto se puede apreciar en el siguiente mapa.

Mapa 4. Comparación de la productividad promedio de los métodos MODIS y Lieth en la región mediterránea de Baja California



Acumulación de Carbono

La estimación de Carbono acumulado en bosques, considerando una edad de 100 años (Minnich, *et. al.*, 1997), resultó en 1779.23 toneladas por hectárea. El resultado del Carbono acumulado para el total de hectáreas de este tipo de vegetación se estimó en 28,7576,481.7 toneladas.

Los resultados para chaparral, considerando una edad de 30 años (Minnich, 1983), corresponden a 123.07 toneladas de Carbono acumulado por hectárea. Los resultados de Carbono acumulado para el total de hectáreas de este tipo de vegetación se estimaron en 189,044,004.7 toneladas.

El matorral costero, considerando una edad de 30 años (se consideró la misma edad que para chaparral), tuvo resultados de 188.84 toneladas de Carbono acumuladas por hectárea. La acumulación de Carbono estimada para el total de hectáreas de matorral costero es de 92,289,018.21 toneladas.

El resultado correspondiente para el total de Carbono acumulado en el total agregado de hectáreas en los tres tipos de vegetación se estimó en 568,909,504.6 toneladas.

4.5 Resultados totales Balance

Los resultados para las emisiones antropogénicas correspondieron a 2,604,417.27 toneladas de Carbono anuales. La pérdida de Carbono debida a la pérdida de cobertura vegetal, los incendios forestales y crecimiento de la mancha urbana correspondieron a un total de 2,658,544.91 toneladas anuales de Carbono.

La captura de Carbono por productividad anual de la vegetación, fue de 8,744,966.9 toneladas anuales.

El resultado para el total de Carbono acumulado en el total agregado de hectáreas en los tres tipos de vegetación se estimó en 568,909,504.6 toneladas.

El balance de Carbono, resultó ser positivo, con una diferencia de 6,086,421.99 toneladas anuales, correspondientes a la diferencia o resta de la productividad anual menos la pérdida de Carbono por emisiones y pérdida de cobertura vegetal.

5. Discusión

Los aportes de este trabajo son el diseño de una metodología a primera aproximación para calcular el balance de Carbono de la RMBC, siendo este el aporte más importante de esta investigación ya que es transferible a otras regiones de las cuales se puedan definir los límites geográficos y se tengan datos equivalentes a los obtenidos para realizar este estudio.

La diferencia entre éste y otros trabajos relacionados a la captura de Carbono, es que la mayoría de ellos son realizados en lugares con alta precipitación. Por ejemplo, los realizados en Costa Rica (Segura. *Op. cit.*) y en México, en Michoacán y Chiapas (Ordóñez, 1999; SEMARNAT *et. al.* 2003). En ese sentido, este constituye otro de los aportes del trabajo: un balance de Carbono realizado en un lugar de baja precipitación (CONAGUA, 2006). Hasta el momento se ha considerado que es necesario que haya precipitación abundante para que haya una acumulación significativa de Carbono. Con este trabajo demostramos, de forma indirecta, que la producción no depende exclusivamente de la precipitación, sino también de la iluminación. La península de Baja California se caracteriza por recibir muchas horas de sol por año (BDILCE, 2006).

A continuación se discuten las implicaciones metodológicas:

El uso de productos de mosaicos de MODIS para calcular la productividad primaria neta (PPN por sus siglas en inglés): La información de la PPN esta sobreestimada por este

sensor (Heinsch, *Op. cit.*; Cheng *et. al.* 2006). Por esta razón también calculamos en este estudio la productividad por medio del modelo de Lieth. Este último no sobreestima la productividad. Sin embargo, este modelo calcula la productividad basado exclusivamente en la precipitación²⁰ sin tomar en cuenta las diferencias en productividad por tipos de vegetación.

Por estas razones, en este estudio calculamos la diferencia de la productividad obtenida por ambos métodos. Esto nos permitió descubrir que en la región Lieth sobreestima a MODIS en menos de 10% de los casos. De acuerdo a las curvas de nivel y al mapa resultante para este cálculo esta diferencia se aprecia sobre todo en las partes altas correspondientes a las crestas en las montañas, probablemente porque la precipitación es más alta que en el resto de la zona mediterránea.

La estimación de la productividad fue calculada con métodos considerados válidos para ello. Los métodos que incluyen el uso de sensores remotos son cada vez más requeridos para este tipo de estudios (Peddle *et. al.*, *Op. cit.*), consideramos que aunque fue una primera aproximación debíamos utilizar los mejores métodos disponibles a nuestro alcance.

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que la captura de Carbono es de 28.18 toneladas de Carbono por año por hectárea. En un estudio realizado en el Parque Nacional Desierto de los Leones, en el Distrito Federal, México (PROFEPA, 2003), se obtuvo una captura de 0.190 toneladas de Carbono por hectárea por año en los tipos de vegetación de pino, oyamel y pastos.

²⁰ Para este estudio no fue necesario tomar en cuenta la evaporación en el modelo, de acuerdo a consulta con experto en el tema: Dr. Stephen Bullock. Investigador titular del Departamento de Biología de la Conservación del Centro de Investigación Científica y Estudios Superiores de Ensenada. 2006.

Para la RMBC se estimó una producción de 17.79 toneladas anuales de Carbono por hectárea en bosques; este resultado es mayor que el obtenido en el parque del Desierto de los Leones, incluso cuando sólo consideramos el tipo de vegetación de bosque para la región estudiada.

Las edades para calcular la acumulación de Carbono en bosques, son similares en ambos estudios, ya que se consideró la edad de 80 a 100 años en el parque y 100 años para la RMBC. Estas diferencias en la magnitud de captura de Carbono, en ambos lugares, probablemente se deba a la salud deteriorada de la vegetación del parque Desierto de los Leones; según ese estudio, el 40% de los árboles inventariados en el parque presentan alguna avería física. Además, la vegetación de ese lugar se encuentra afectada por la contaminación de la ciudad de México; para realizar una comparación más concreta, haría falta realizar una investigación de las condiciones de salud de la vegetación en la RMBC, aunque se sabe que menos del 5% del arbolado está plagado (H de la Cueva. Com. Pers.); sería interesante saber cuál es el balance de Carbono del Desierto de los Leones, comparado con el de la RMBC.

La delimitación de la RMBC fue necesaria para el cálculo de productividad y acumulación de Carbono. Cabe señalar que existe un gran debate en cuanto los límites de la misma, especialmente, en el límite sur hacia El Rosario. Autores como Schmidt (*Op. cit.*) ilustran los límites de la región según diversos autores, ver anexo 3. Sin embargo, los criterios para delimitar el área en este estudio son los que propone el gobierno del estado de Baja California para la parte Norte, Este y Oeste de la región. Este último trabajo no menciona el límite sur como tal se utilizó el límite propuesto por Mellink (*Op. cit.*), el arroyo El Rosario. Decidimos tomar éste como límite para la RMBC para efectos de este

trabajo, debido a que nos pareció la mejor forma de delimitar el área de la región, y para ello nos respaldamos con la información mencionada.

Para la estimación de Carbono acumulado en la RMBC se usaron los datos correspondientes a rangos de edades a las que la vegetación se vuelve inflamable, ya que este es el límite superior de edad de la vegetación para la región. Para el matorral costero se supuso que su comportamiento era igual al del chaparral para calcular la acumulación de Carbono. Sin embargo, para amortiguar errores en los cálculos, se procedió a utilizar la primera edad de combustión reportada en el rango de cada tipo de vegetación, para realizar una estimación conservadora de la cantidad de Carbono que acumula.

Emisiones Antropogénicas

Para estimar la producción de Carbono para el parque vehicular, obtuvimos la información disponible de instituciones municipales y de otras fuentes. La información no es confiable respecto al número de vehículos, los datos oficiales indican que hay más vehículos en el municipio de Ensenada que en el de Tijuana. Este último tiene una población mayor que la del primero. Además el tipo información recabada era distinta entre las instituciones municipales y la reportada por el gobierno estatal. Un ejemplo de esto lo constituye la información del número de los vehículos de transporte y carga para nuestro estudio, ya que no se encontraron datos completos de esta información para camiones de pasajeros y taxis para todos los municipios. Se optó por calcular las proporciones del número de autobuses y taxis a partir de datos disponibles de otros municipios que sí contaban con esta información.

Los resultados de las emisiones para Tijuana y Ensenada tienen un grado de error desconocido. Este dato puede estar subestimado para Tijuana y sobreestimado para Ensenada, que reporta un número mayor de vehículos para transporte y carga que Tijuana,

según la información obtenida de fuentes oficiales. Sabemos que Tijuana tiene más vehículos de transporte que Ensenada, ya que es un municipio por donde se exportan productos a los Estados Unidos por medio de transporte de carga, por lo que puede ser probable que haya menos vehículos registrados, pero mayor número de vehículos que pasan por ese lugar.

Comparación de nuestra metodología con la utilizada por el Inventario Nacional de Emisiones de México 1999 (SEMARNAT et. al, 2006)

En el Inventario Nacional de Emisiones de México (INEM) los factores de emisión para los vehículos²¹, la edad de los mismos y la información referente de vehículos a diesel y a gasolina se obtuvieron como insumos para el modelo MOBILE 6-México y así se estimaron las emisiones de vehículos automotores (*Ibidem*). En el estudio del INEM la edad de los vehículos fue obtenida a partir de varios supuestos de edades de vehículos y de la comparación de ventas de vehículos en el país, así como de registro vehicular reciente. Del mismo modo, en el INEM se señala que la información de la distancia recorrida en kilómetros por vehículo es muy limitada a nivel estatal y municipal y que al no encontrarse información disponible para México se recurrió a información de Estados Unidos (*Ibidem*).

En el estudio actual se tomó una edad de 15 años para los vehículos, incluyendo los de transporte y carga. Para calcular las emisiones de estos últimos tomamos factores de emisión reportados para Estados Unidos. Las emisiones del parque vehicular se obtuvieron por medio de una calculadora de emisiones, utilizando el número de vehículos por el número de millas que recomendaba este modelo. No existe información sobre edad de vehículos o kilometraje anual recorrido para los municipios en estudio. Dado todo lo

²¹ Vehículos se refiere a los vehículos en general; tanto los de transporte y carga, como los del parque vehicular privado.

anterior, se debe señalar que nuestra estimación para el factor de emisión promedio por vehículo pasó por un proceso estadístico, teniendo un error estándar de +/- 2 a 3 por ciento (%), Para el cálculo de las toneladas de Carbono liberada se refiere, el error estándar sería de +/- 0.04 toneladas, por lo que el factor de emisión estimado para este estudio, es considerado como un estimado confiable. Con mejores datos se puede usar un mejor estimador del kilometraje recorrido y de la composición de edad de los vehículos en cada municipio.

Los resultados obtenidos por el INEM en cuanto a emisiones vehiculares son menores que los obtenidos en nuestro estudio. Esto puede deberse a los diferentes mecanismo de los modelos para calcular las emisiones y a errores en la información disponible. Las diferencias también pueden deberse a que son zonas económicas distintas y al poder adquisitivo de vehículos en las zonas estudiadas por el INEM y la región de nuestro estudio son diferentes, los vehículos usados son más baratos en Baja California.

Con respecto a los datos de emisiones de la planta de la Comisión Federal de Electricidad de Rosarito, se debe señalar que se tomó como base el año de 2003, para igualarlo con el año utilizado para el cálculo de las emisiones vehiculares. No sabemos si este es un año típico de producción de electricidad, si se usan los mismos combustibles o si ha aumentado la producción de energía o de emisiones. Los cálculos se pueden realizar de acuerdo a estas diferentes condiciones.

Pérdida de la cobertura vegetal por incendio

La base de datos proporcionada por CONAFOR presentó errores en cuanto a los datos. Aún después de la depuración de datos de esta base que se realizó para este estudio se siguieron presentando nueve casos erróneos. Sin embargo, se trata de 9 en un total de

1039 casos, por lo que estos errores no se consideran significativos. Los errores se pueden apreciar en el mapa de incendios para la región.

Pérdida de cobertura vegetal por crecimiento de la mancha urbana

Se hicieron los estimados de pérdida de cobertura vegetal con información incompleta, pues ninguna oficina gubernamental en el área de estudio cuenta con datos exactos del crecimiento de la mancha urbana y por lo tanto de la pérdida de cobertura vegetal por cambio de uso de suelo por municipio. Sin embargo, aunque la pérdida de vegetación por crecimiento de mancha urbana pudiese estar sobreestimada, los resultados obtenidos de productividad en este estudio, son mayores que el crecimiento de la mancha urbana. La pérdida de productividad y acumulación de Carbono por pérdida debida al crecimiento de la mancha urbana no es grande y bastante menor que la productividad total.

6. Conclusiones

La metodología utilizada en este estudio, permitió lograr los objetivos propuestos y probar, a primera aproximación, la hipótesis de que la RMBC es un sumidero de carbono.

Se concluye que la productividad anual de Carbono en los tres tipos de vegetación considerada, es mayor que la pérdida anual de cobertura vegetal por incendios y por crecimiento de la mancha urbana. Del mismo modo, la acumulación de Carbono en la vegetación es clave para que la RMBC sea un sumidero de Carbono., ya que de la productividad derivada de su cobertura depende la producción anual de Carbono.

Las emisiones antropogénicas correspondientes a los vehículos de transporte y carga, parque vehicular, y planta CFE en Rosarito, en ese orden de magnitud de liberación de Carbono, son menores que la productividad anual de la vegetación en la RMBC.

Se concluye que con el balance positivo de Carbono de la RMBC, esta tiene actualmente la capacidad de brindar el servicio ambiental de sumidero de Carbono. Así mismo, se concluye que respecto a este tema falta información confiable para hacer una estimación más detallada.

Se concluye que dentro de los valores de uso de suelo de conservación, se debe considerar el valor de uso de suelo del servicio ambiental de sumidero de carbono, ya que estos servicios no tienen precio fijo.

Se concluye que en la RMBC hay un servicio ambiental que potencialmente puede venderse, sin embargo, para ello deben hacerse esfuerzos en cuanto a mantener bajas las emisiones de carbono de origen antropogénico y conservar y restaurar la vegetación y ecosistemas de la región para proteger el sumidero de carbono que resultó ser la región mediterránea de Baja California.

Se concluye que la principal limitante para este estudio, es la falta información confiable y legible para hacer una estimación más detallada.

7. Recomendaciones

Debemos realizar cálculos de balances de Carbono anuales, con el objeto de saber cómo van cambiando las emisiones y captura de Carbono de la vegetación de la región. También se requiere hacer proyecciones de futuros con más sumideros o fuentes y con base en esta información, tomar decisiones para que la RMBC pueda ejercer el servicio ambiental de captura de Carbono.

Con el fin de mejorar las estimaciones de productividad y acumulación de Carbono, se recomienda complementar los métodos de MODIS y Lieth utilizados con medidas

directas de la vegetación en campo y laboratorio. Es decir, medir el Carbono en la planta directamente, aunque esto implique el método destructivo, se recomienda hacerlo en árboles que se caen por tormentas, esto con el fin de no tener que talarlo, Esto fue hecho en una reserva de Costa Rica (Segura. *Op. cit.*). También se recomienda la complementación de los métodos utilizados en este estudio con otros métodos que usan sensores remotos, como las imágenes de Airborne Visible Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS), para mejorar las estimaciones de productividad y acumulación de Carbono (ver Cheng *et. al. Op. cit.* y Zhao *et. al.* 2002).

En cuanto a acumulación de Carbono se refiere, además de utilizar los métodos que incluyen sensores remotos, se recomienda el uso de métodos directos para estimar la edad de la vegetación, como las técnicas dendrocronológicas (en árboles caídos por tormentas por ejemplo). Esto se ha realizado en trabajos como los de González (2005). También será importante saber si existen formas de datar con precisión las plantas leñosas del matorral costero y el chaparral.

El uso de productos e imágenes de sensores remotos también es recomendado para obtener estimados más detallados de la pérdida de vegetación por incendios y por crecimiento de mancha urbana y cambio de uso de suelo en general; esto se debe complementar con mediciones hechas en campo que confirmen y permitan calibrar los métodos de estimación de los sensores remotos.

Para poder tener datos sobre las condiciones en general de la vegetación en la RMBC se recomienda actualizar los inventarios forestales existentes.

Con respecto a los datos para la edad, distancia recorrida al año, número y características en general de los vehículos (incluye autos, transporte y carga) se recomienda

hacer estudios sobre estos aspectos en los municipios, ya que no se encontró información completa, confiable o legible sobre el tema.

Es necesario que las instituciones presenten información útil, legible y actualizada. En el caso de este estudio, no se encontró información para deforestación en los cuatro municipios. Para el estado de Baja California la información de SEMARNAT no era legible ni actual. En lo que respecta a CONAFOR, la base de datos otorgada tuvo que depurarse, debido a su diseño, no podía ser utilizada para el manejo y procesado de datos en ese estado. En cuanto a la pérdida de cobertura vegetal por cambio de uso de suelo por municipio, se encontró que para los cuatro municipios del área de estudio hay una carencia de dicha información, incluso no hay mapas de uso de suelo y vegetación para tres de ellos. La información de pérdida de cobertura vegetal por cambio de uso de suelo se encontró únicamente para una porción de Tijuana; la información fue proporcionada por el IMPLAN.

En cuanto a la información para edad del parque vehicular no se encontraron datos en las oficinas de tránsito municipal que es la oficina encargada de registrar los vehículos de transporte y carga. Estos datos tampoco se encuentran en las oficinas de recaudación de rentas del estado, que es donde se registran los autos del parque vehicular. No se encontraron ni datos ni estimaciones para la distancia promedio recorrida al año por vehículo en ninguna institución encargada de estos asuntos en los municipios. Así mismo, los datos de número de vehículos varían para un municipio. Por ejemplo, la información del gobierno del estado y los planes municipales de desarrollo de cada municipio no son consistentes.

Pese a lo anterior, con la depuración de la base de datos se disminuyeron errores en los datos de CONAFOR. En cuanto a la información de pérdida de vegetación por el

cambio de uso de suelo, se debe señalar que con el estimado de la mancha urbana de cada municipio fue posible realizar este cálculo en una forma aproximada. En cuanto al dato de productividad, este fue solicitado a la Universidad de California, en Riverside, obteniendo respuesta varios meses después, argumentando que saldrían publicados los estudios referentes al tema, meses después; dado el factor tiempo para finalizar el trabajo de tesis, no se pudo esperar a la publicación de los estudios de Riverside; por ello se hizo uso de datos de sensores remotos, que están disponibles en la página de la NTSG.

8. Bibliografía:

Asner, G. P., Knapp, D. E., Broadbent, E. N., Oliveira P. J., Keller, M. y Silva, J. N. 2005. Selective Logging in the Brazilian Amazon. *Science*. 310 (5437): 480-482

Comisión Nacional Forestal, Región 1: Península de Baja California. 2006.

Bull, G.; Harbin, Z. y Wong, A. en Instituto Nacional de Ecología. 2005. Capítulo XI El desarrollo de un mercado de Carbono forestal en la Columbia Británica.

Cheng, Y.; Gamon, J. A.; Fuentes, D. A., Mao, Z.; Sims, D. A.; Qiu, H.; Claudio, H.; Huete, A. Y Rahman, A. F. 2006. A multi-scale analysis of dynamic optical signals in a southern California chaparral ecosystem: a comparison of field, AVIRIS and MODIS data. *Remote Sensing of Environment*. 103(2006)369-378.

Churkina, G., Tenhunen, J., Thornton, P., Falge, E., Elbers, J., Erhard, M., Grünwald, T., Kowalski, A., Rannik, U., and Sprinz, D. 2003. Analyzing the Ecosystem Carbon Dynamics of Four European Coniferous Forests Using a Biogeochemistry Model. *Ecosystems* 6: 168–184

Comisión Nacional Forestal, Región 1: Península de Baja California. 2006.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 2004. Mapa Base de Baja California. Limite estatal, localidades, Caminos, Cuerpos de Agua, Ríos, Curvas de Nivel y Vegetación. Escala 1:250,000. Creados con información del

Instituto Mexicano del Transporte, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática y Comisión Nacional del Agua.

González, M. E. 2005. Fire history data as reference information in ecological restoration. *Dendrochronologia* 22:149-154

Heinsch, F. A., Reeves, M., Votava, P., Kang, S., Milesi, C., Zhao, M., Glassy, J., Jolly, W. M., Loehman, R., Bowker, C. F., Kimball, J. S., Nemani, R. R. y Running, S. W. 2003. User's guide GPP and NPP (MOD17A2/A3) products NASA MODIS Land Algorithm. NTSG, University of Montana.

H. III Ayuntamiento de Rosarito. 2006.

H. XVII Ayuntamiento de Tecate, Gobierno del Estado de Baja California, y el Consejo de Desarrollo Económico de Tecate. 2002. Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Población de Tecate, 2001-2022

H. XVII Ayuntamiento de Tijuana. 2004. Plan Municipal de desarrollo 2005-2007.

H. XVII Ayuntamiento de Tijuana. 2002. Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Población de Tijuana 2022-2025.

Instituto Municipal de Investigación y Planeación de Ensenada (IMIP). 2006.

Instituto Municipal de Investigación y Planeación de Ensenada. 2005. Solicitud de donación de proyecto regional de transporte sostenible para América Latina: Plan Maestro de Vialidad y transporte del municipio de Ensenada, Baja California, México. Estudio no publicado.

Lieth, H. 1972. Modeling the primary productivity of the world. *Nature and Resources* 8:5–10.

Lincoln, R. J., Boxshall, G. A. y Clark, F. P. 1995. Diccionario de ecología, evolución y taxonomía. Fondo de Cultura Económica. México.

Mellink, E. 2002. El límite sur de la región mediterránea de Baja California, con base en sus tetrápodos endémicos. *Acta Zoológica. México* (n.s.) 85:11-23

Minnich, A. R. 1985. Fire mosaics in southern California and northern Baja California. *Science*, 219 (4590): 1287-1294

Minnich, A. R., Barbour, M. G., Burk, J. H. y Fernau, R. F. 1995. Sixty years of change in Californian conifer forests of the San Bernardino Mountains. *Conservation Biology*, 9(4): 902-914

Norverto, C. 2002. Metodologías para el Análisis Costo-Beneficio de usos del Suelo y Fijación de Carbono en Sistemas Forestales para el Mecanismo de Desarrollo Limpio. Proyecto Forestal de Desarrollo (SAGPyA/BIRF). No. 25

Peddle D.R., Brunke, S.P. and Hall, F.G. 2001. A Comparison of Spectral Mixture Analysis and Ten Vegetation Indices for Estimating Boreal Forest Biophysical Information from Airborne Data. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 27 (6): 627-628

Poder ejecutivo de Baja California: Secretaria de Planeación y Finanzas. Padrón de vehículos. 2003.

Poder ejecutivo de Baja California. 2003. Padrón de vehículos al 31 de diciembre de 2003.

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA). 2003. Valoración económica de la captura de CO₂ en el Parque Nacional Desierto de los Leones.

Schmidt, R. H. 1989. The Arid Zones of Mexico: climatic extremes and conceptualization of the Sonoran Desert. *Journal of Arid Environments*. 16: 241-256

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en Baja California, 2006. Entrevista telefónica con Lic. Juan Carlos Avitia.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Instituto Nacional de Ecología (INE), Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2003. La venta de servicios ambientales forestales.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Instituto Nacional de Ecología (INE), United States Environmental Protection Agency, Western Governors' Association, North American Commission for Environmental Cooperation. 2006. Inventario Nacional de Emisiones 1999. México.

Segura, M., M. En: Departamento de Montes, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2000. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2000. Documento de trabajo 22. Roma. 71-83 pp.

Zhao, M., Running, S. W., Nemani, R. R., Kimball, J. S., Kang, S. 2003. Validation of the MODIS MOD17 Algorithms for Estimating Global Net Primary Production. American Geophysical Union, Fall Meeting 2002, abstract núm. B61B-0729.

8.1. Páginas de Internet:

Biblioteca Digital. Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa (BDILCE), 2006. En línea:

<<http://66.94.231.168/search/cache?p=omega.ilce.edu.mx&R=on&ei=UTF-8&fr=ieas&u=omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/119/htm/sec_6.htm&d=DBuJbpIFNq_8&icp=1&intl=mx>>

Biodiversity Hotspots, 2006. En línea:

<<<http://www.biodiversityhotspots.org/xp/Hotspots/resources/glossary.xml>>>

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2006. En línea:

<<<http://www.cna.gob.mx/eCNA/Espaniol/Regionales/BajaCalifornia.aspx>>>

Diario Frontera, 2005. En línea:

<<<http://www.frontera.info/buscar/traernotanew.asp?NumNota=347066>>>

Eco-Index, 2003. En línea:

<<<http://www.eco-index.org/search/resultss.cfm?ProjectID=417>>>

Fondo Nacional del Ambiente-Perú, 2004. En línea:

<< <http://www.fonamperu.org/General/Bosques/scuestro.asp>>> (2004)

Fortunecity, 2003. En línea:

<<<http://www.fortunecity.com/campus/dawson/196/esteq1.htm>>>

Glosario para el análisis geoespacial. Productos TNT. 2006.

<< www.microimages.com/documentation/miglossary/glossary_esp.pdf >>

Gobierno del estado de Baja California, 2005*a*. En línea:

<<<http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro-estado/recursos/flora.jsp>>>

Gobierno del estado de Baja California, 2005*b*, En línea:

<<<http://www.bajacalifornia.gob.mx/ecologia/nuestrot/flora.htm>>>

Instituto Nacional de Ecología (INE), 2005. En línea:

<<www.ine.com.mx>>

Instituto Nacional de Ecología (INE), 2005*a*. En línea:

<<<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/437/arvizu.html>>>

Instituto Nacional de Ecología (INE), 2005*b*. En línea:

<<<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/451/glosario.html>>>

Instituto Nacional de Geografía e Informática. 2004. Estadísticas municipales Rosarito. En

línea:

<<<http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/cem04/estatal/bc/m005/index.htm>

>>

Instituto Nacional de Geografía e Informática. 2004. Estadísticas municipales Tecate. En línea:
<<<http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/cem04/estatal/bc/m003/index.htm>
>>

La Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, 1998. Proyecto de ley de valoración y retribución por servicios ambientales de la Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.
En línea:
<<<http://ns.mideplan.go.cr/Concertacion/documentos/legislacion/Proyecto-de-ley-13472.doc>>>

Land processes distributed Active Archive Center, 2006. En línea:
<<<http://edcdaac.usgs.gov/tools/modis>>>

Mesoamérica, 2006. En línea:
<< <http://www.mesoamerica.org.mx/Noticias/Carbono.htm>>> (2001)

Ministerio de Medio Ambiente de España (MMA), 2006. En línea:
<<http://www.mma.es/portal/secciones/cambio_climatico/areas_tematicas/flexibilidad/sumideros/index.htm>>

National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2006. En línea:
<<<http://modis.gsfc.nasa.gov/about/>>>

North American Atlas, 2006. En línea:
<<<http://nationalatlas.gov/mld/prism0p.html>>>

Numerical Terradynamic Simulation Group (NTSG), 2003. En línea:

<<<http://images.ntsug.umt.edu/>>>

Ordóñez Díaz, B. A. 1999. Tesis de maestría: Captura de Carbono en un bosque templado: el caso de San Juan, Nuevo Michoacán. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”. En línea:

<<<http://www.ine.gob.mx/dgicurg/cclimatico/download/414.pdf>>>

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), 2006. En línea:

<<<http://www.sagarpa.gob.mx/dlg/bajacalifornia/principal/nuestro%20estado/florayfauna.htm>>>

Secretaría de energía. 2005.

<<http://www.energia.gob.mx/work/resources/LocalContent/4977/1/EM_PC_2005.xls>>

Terra, 2006. En línea:

<<<http://www.terra.com.mx>>>

Terrapass, 2006. En línea:

<<<http://www.terrapass.com.mx>>>

Travelmatters.org, 2006. En línea:

<<http://www.travelmatters.org/calculator/transit/fta-data4.php?state=CA&ntd_id=9026&show_m6=1&submitted_p=1&submit_btn.x=169&submit_btn.y=9>>

UNFCCC. 2003. Glosario del IPCC para el Cambio Climático. En línea:

<<<http://www.greenfacts.org/es/cambio-climatico/toolboxes/glossary.htm>>>

Universidad de Chile, Ciencias agronómicas, consulta 2006. Actualización del glosario de vocablos ecológicos. En línea:

<<http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias_agronicas/l20024151820glosario20022.doc>>

Vargas, A., Amescua, M. y Yáñez, A. La captura de Carbono en bosques: ¿Una herramienta para la gestión ambiental? En línea:

<<<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/432/captura.html>>>

Wikipedia, 2005, en línea:

<< http://en.wikipedia.org/wiki/Biodiversity_hotspot >>

Wikipedia, 2006, en línea:

<<http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_sequestration>>

Wikipedia, 2006*a*, en línea:

<< http://es.wikipedia.org/wiki/Gases_de_efecto_invernadero>>

Wikipedia, 2006*b*, en línea:

<<<http://en.wikipedia.org/wiki/Dbf>>>

Wikipedia, 2006*c*, en línea:

<< <http://en.wikipedia.org/wiki/Shapefile>>>

Wikipedia, 2006*d*, en línea:

<<<http://en.wikipedia.org/wiki/HDF>>>

Wikipedia, 2006*e*, en línea:

<<<http://en.wikipedia.org/wiki/TIFF>>>

9. ANEXOS

Anexo 1.

Resultados arrojados por la consulta realizada a la tabla de la base de datos, para obtener el número de hectáreas quemadas por tipo de vegetación por año.

Año	Tipo	Total hectáreas quemadas
2001		30
2001	Bosque de pino	12.5
2001	Bosque de táscate	1.5
2001	Chaparral	1412.4
2001	Matorral desértico micrófilo	49
2001	Pastizal inducido	138.5
2001	riego	3
2001	temporal	175.5
2001	Vegetacion de galeria	8
2001	Zona Urbana	7.8

Año	Tipo	Total hectáreas quemadas
2002		45.5
2002	Bosque de pino	197.726
2002	Bosque de táscate	6
2002	Chaparral	5120.448
2002	Matorral desértico micrófilo	8731
2002	Matorral rosetófilo costero	16
2002	Pastizal inducido	46.25
2002	riego	2.5
2002	temporal	435.59
2002	Vegetación de galería	13
2002	Zona Urbana	6.15

Año	Tipo	Total hectáreas quemadas
2003		73
2003	Bosque de encino	140
2003	Bosque de pino	6.68
2003	Bosque de táscate	2
2003	Chaparral	12678.06
2003	Matorral rosetófilo costero	26
2003	no aplicable	1
2003	Pastizal inducido	9468
2003	riego	49
2003	temporal	4738
2003	Vegetación de galería	5
2003	Zona Urbana	22.5

Año	Tipo	Total hectáreas quemadas
2004		51
2004	Bosque de encino	1
2004	Bosque de pino	782.2
2004	Chaparral	5797.775
2004	Cuerpo de agua	3
2004	Matorral desértico micrófilo	0.5
2004	Matorral desértico rosetófilo	1
2004	Matorral rosetófilo costero	4.25
2004	Pastizal inducido	35
2004	riego	30
2004	temporal	27.435
2004	Vegetación de galería	25
2004		17.0

Anexos 2.

Microsoft Access - [Productividad por tipo Veg : Consulta de selección]

Archivo Edición Ver Insertar Consulta Herramientas Ventana ?

Todo

Vegefit

- *
 - AREA
 - PERIMETER
 - FN_VEG76W_
 - FN_VEG76W1

Campo:	T1_COM_LEY	MinNPP: ZSTATS_A'	MaxNPP: ZSTATS_A	AvgNPP: ZSTATS_A	StDevNPP: ZSTATS	SumOfAREA: AREA
Tabla:	Vegefit	Vegefit	Vegefit	Vegefit	Vegefit	Vegefit
Total:	Agrupar por	Mín	Máx	Promedio	DesvEst	Suma
Ordenar:						
Mostrar:	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Criterios:						
o:						

Microsoft Access - [NPPTipoton : Consulta de selección]

Archivo Edición Ver Insertar Consulta Herramientas Ventana ?

Todo

Productivida...

- MinNPP
- MaxNPP
- AvgNPP
- StDevNPP
- SumOfAREA

Campo:	T1_COM_LEY	AvgNPP	SumOfAREA	fon C: [Productivid.]		
Tabla:	Productividad por ti	Productividad por ti	Productividad por ti			
Ordenar:						
Mostrar:	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Criterios:						
o:						

Anexos 3. Zonas desérticas según varios autores (Schmidt, *Op. cit.*)

