



WWF

MÉXICO

2012

ESTA PROPUESTA
SE GENERÓ EN
CONJUNTO CON:



Embajada Británica
en México



The Nature
Conservancy 
Protecting nature. Preserving life.™

Propuesta Metodológica para Normar la Evolución de la Evaluación de la Tasa de Deforestación y Degradación Forestal en México

AGRADECIMIENTO

Las organizaciones participantes agradecen el financiamiento de la Embajada Británica en México a este proyecto.

Autores: Alejandro Velázquez, Juan Manuel Nuñez Hernandez, Stéphane André Couturier y Gerardo Bocco Verdinelli

Coordinación y supervisión: Juan E. Bezaury Creel, Sergio Madrid Zubirán, Liliana Dávila Stern, Jorge Rickards Guevara y Juan Francisco Torres Origel

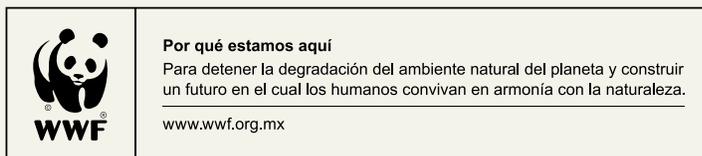
Edición: Vanessa Pérez-Cirera y Lina Dabbagh

Diseño: Mariana López

Cómo citar esta publicación:

Velázquez, A. *et al.*, 2011. Propuesta metodológica para normar la evaluación de la tasa de deforestación y degradación forestal en México. WWF, CCMSS, TNC, Centro Geo y CIGA UNAM.

La visión de los autores no necesariamente refleja aquella de la organización.



© 1986 Logotipo del Panda de WWF World Wide Fund for Nature (Inicialmente World Wildlife Fund)
® "WWF" es una Marca Registrada de WWF.
WWF México, Av. México #51, Col. Hipódromo, México, D.F., C.P. 06100— Tel. (55) 5286-5631.
Para más información visite www.wwf.org.mx

Indice

Presentación	4
Introducción	5
Antecedentes	6
Justificación	8
Objetivo	8
Marco de Referencia Territorial	9
Metodología	12
Análisis de Resultados	18
Recomendaciones Finales	22
Glosario	23
Referencias Bibliográficas	24

Presentación

En México uno de los temas ambientales de mayor controversia en los últimos años es la magnitud y el ritmo del fenómeno de deforestación. Lo vasto y heterogéneo del territorio nacional, la inaccesibilidad en algunas de sus regiones, la compleja dinámica de cambio de la vegetación y las dificultades asociadas a las definiciones formales del marco legal forestal han obstaculizado el establecimiento de una metodología única que genere estadísticas con alto grado de confiabilidad en cuanto al tema. Un torrente de estimaciones discordantes (aunque no necesariamente incorrectas) de las tasas de deforestación es el resultado de diversas aproximaciones conceptuales, metodologías, insumos y áreas de estudio; cuyos resultados generan debilidad institucional a falta de una normatividad inequívoca.

El presente documento tiene como objetivo la formulación de mecanismos de cuantificación robusta con respecto a los cambios en la cobertura vegetal, que se basa en los últimos avances científicos en producción y evaluación de cartografía, con el propósito de aportar hacia el establecimiento de la medición sólida, transparente y reproducible sobre la tasa a la que ocurren los diferentes procesos de deforestación en diferentes partes del país. La propuesta retoma tanto el marco ecológico como geográfico del tema forestal, incluye una serie de nomenclaturas acerca de los diversos tópicos de deforestación tratables y su cuantificación, en función de una serie de criterios que definen las diversas clases a ser cartografiadas de acuerdo con los criterios detectables en las escalas correspondientes. Una sección final da cuenta de las perspectivas de aplicación en cuanto a su manejo por proceso socio-ambiental, tipo de vegetación y ecorregión.

Introducción

La deforestación es un proceso de “gradientes de perturbación” de la estructura de las zonas forestales que incluye modificaciones que van desde el empobrecimiento en la composición florística, la destrucción de los bosques ocasionada por incendios, tala clandestina y plagas, hasta la completa eliminación del estrato arbóreo con fines de cambio en el uso de suelo. El conocimiento de la deforestación en su relación con el deterioro de las condiciones sociales, económicas y ambientales de las comunidades humanas es un tema de interés mundial, y la reducción de emisiones derivadas de la deforestación y degradación forestal (REDD, por sus siglas en inglés) en los países en desarrollo ha ocupado un lugar central en el debate sobre el cambio climático a nivel internacional durante los últimos años.

La tecnología de percepción remota combinada con las mediciones en el terreno representan el único método práctico para el monitoreo de la deforestación a nivel nacional (DeFries et al. 2006). Los dos enfoques más utilizados son la cartografía de cobertura total y las técnicas de muestreo. En el primer enfoque se trata de monitorear todo un país o su área forestal, mientras que la segunda es especialmente adecuada cuando la deforestación se concentra en áreas específicamente definidas de un país o región. No obstante, un enfoque no excluye al otro y es recomendable la combinación de ambos enfoques.

México como país ha logrado avanzar en el análisis de la dinámica de la cubierta vegetal como base para el reporte de las tendencias y proyecciones de las tasas de pérdida o deforestación. Sin embargo, este tipo de análisis para ser considerados robustos y refutables en su cuantificación, deben de ser validados bajo procesos estadísticamente comparables (Couturier 2007).

Tal proceso de validación cartográfica está aún ausente en el concierto nacional, por lo que al instrumentarlo como eje central del presente documento, se trata de abonar a las propuestas de normatividad de la evaluación de la tasa de deforestación y degradación forestal en México.

Antecedentes

En el Informe del proyecto “Fundamentos para los lineamientos metodológicos para medir la tasa de deforestación y degradación en México” elaborado en 2010 por el Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA), se establece que, después de una revisión bibliográfica de 317 citas relacionadas con los temas de cambio de uso de suelo en México, en 34 de ellas se tocaba como tema la deforestación y en las 18 revisadas a profundidad se explicaban las diversas aproximaciones metodológicas sobre este tema. Las fuentes de error son diversas pero en general se concluye categóricamente que:

- No existe concordancia entre las leyendas empleadas tanto en la cuestión categórica como en la nomenclatura (incompatibles temáticamente).
- Se utilizan esquemas técnicos diferentes, tales como insumos, escalas y proyecciones, entre otros.

En suma, esto las hace incomparables para el fin de establecer una metodología unificada que genere estadísticas con alto grado de confiabilidad. Como resultado, las estimaciones de tasas de deforestación son contradictorias y el resultado es la baja credibilidad de las fuentes de generación de los datos y la consecuente debilidad institucional para definir una normatividad inequívoca.

Estas discrepancias sobre el tema se resumen en la Tabla 1, que muestra las diferencias numéricas en las estimaciones sobre deforestación entre fuentes académicas y fuentes oficiales mostradas en el Informe del proyecto antes mencionado.

Tabla1. Tasas estimadas de deforestación en México para las últimas tres décadas

Fuentes académicas		Fuentes oficiales	
Fuente	(ha/año)	Fuente	(ha/año)
Grainger, 1984	1,600,000	FAO, 1988	615,000
Repetto, 1988	460,000	SARH, 1992	365,000
Castillo et al., 1989	746,000	SARH, 1994	370,000
Myers, 1989	700,000	FAO, 1995	678,000
Toledo, 1989	1,500,000	FAO, 1997	508,000
Masera et al., 1992	668,000	CONAFOR, 2004	260,000
Velázquez et al., 2002	550,000	FAO (Torres R.J.M.) 2004	775,800
Sánchez et al., 2008	484,000	SEMARNAT, 2006	365,000
Suma	6,708,000	Suma	3,936,800
Media	838,500	Media	492,100
Desviación Estándar	451,417	Desviación Estándar	181,851

Nota: Esta tabla no considera la cifra correspondiente a SEMARNAT, 2001 que indicaba 1,200,000 ha/año.

Más allá de abonar a la incertidumbre sobre el dato preciso sobre deforestación, lo anterior pone de manifiesto un asunto de mayor profundidad relacionado con las diferencias en metodologías, aproximaciones, escalas, insumos y definiciones de lo que como deforestación se pretende resumir en una cifra.

No obstante, como país hemos logrado resarcir algunos de estos problemas, principalmente aquellos observables en cuanto a la normalización (fuentes comparables) de las tres más recientes Cartas de Uso de Suelo y Vegetación, cartografía nacional a escala 1:250,000 producida por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) para los años 1993, 2002 y 2007 en donde la metodología de trabajo y el sistema de clasificación de la vegetación y usos del suelo empleados por el INEGI se han mantenido sin cambios.

De acuerdo con el documento titulado “Visión de México sobre REDD+” publicado por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) a finales de 2010, el país pasó de perder en promedio anualmente 354,035 ha de bosques y selvas para el periodo 1993-2002 a 155,152 ha para el periodo 2002-2007. Esto significa una disminución en las tasas de deforestación de más del 50%, resaltando el hecho de que para este último periodo de 5 años el 99.9% de la deforestación reportada haya ocurrido exclusivamente en selvas. Es de notar que esta cifra de deforestación está construida con base en la interpretación visual a escala 1:250,000 de imágenes de satélite Landsat para las dos primeras series, e imágenes de satélite SPOT para la última, por lo tanto el proceso está estimado para la escala de 1:250,000, por lo que es incomparable con la medición de bosque/no-bosque según la FAO, que contempla una superficie y, por otra parte, la estimación carece de margen de error.

Justificación

No obstante los esfuerzos arriba mencionados, la confirmación de la tendencia hacia valores mínimos de deforestación dependerá de la velocidad de transición de México hacia una economía orientada al desacoplamiento de la dependencia al alto valor agropecuario de áreas inicialmente boscosas y al aprovechamiento de los servicios ambientales que brindan. En este contexto y con el establecimiento próximo de esquemas de rendición de cuentas en la escena internacional como REDD+ existe la necesidad de ofrecer un marco robusto en cuanto a la medición, no sólo de tasas de deforestación sino acerca de la degradación de los bosques en México. La necesidad surge en tiempos en los cuales se vislumbra el desarrollo y aplicación de esquemas de confiabilidad mucho más estrictos y detallados en la producción de cartografía por las agencias nacionales (Stehman et al. 2003).

Es precisamente bajo esta premisa de rendición de cuentas transparente y robusta que la presente propuesta intenta reunir elementos para la instrumentación de una forma sólida de medir y reportar deforestación y degradación en México, dejando de lado el origen de las controversias y ampliando el espectro de grados de perturbación que se pueden estimar, poniendo principal énfasis en aquellos esquemas técnicos que pueden estar normados. Esta propuesta marca una etapa para poner fin a la persistente falta de credibilidad interna y externa con respecto al fenómeno de cambio de uso del suelo en México, y al mismo tiempo busca facilitar la inserción del país en futuros mercados de carbono.

Objetivo

Aportar los elementos básicos relativos a medición robusta de los procesos de deforestación y degradación para la preparación nacional e inserción de México en los posibles mercados internacionales relacionados con los planteamientos actuales REDD+, resultantes del marco internacional post-Kioto (2012 en adelante) de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC).

Marco de Referencia Territorial

Considerando por un lado el acervo de datos existente (SEMARNAT, INEGI) con sus normas cartográficas, y por otro las normas y definiciones internacionales con respecto a la cobertura forestal, la presente recomendación busca hacer una aproximación de una norma exigible a nivel internacional para la medición de procesos de deforestación/ degradación, tomando en cuenta las características y limitaciones intrínsecas de la cartografía en México.

Para acercarse a una posible norma exigible a nivel internacional, se hace la premisa de que las normas y definiciones futuras del protocolo internacional REDD+ estarán basadas en las definiciones internacionales actuales (FAO) de la cobertura forestal. Por otro lado, existen diferentes tipos de cartografías en México basadas en clasificaciones y escalas asociadas a la capacidad de los sensores y de las técnicas de medición utilizadas en la producción de esta cartografía. En particular se identifican diferentes niveles de capacidad de discernimiento (sección 6.2) que inciden sobre la escala y el área mínima cartografiable, en los cuales se pueden detectar los procesos de deforestación y degradación forestal.

Considerando lo anterior, los elementos de proyección (sección 5.1) y geoide (sección 5.2) se apegarán a los lineamientos establecidos por el INEGI en los diccionarios de datos topográficos (vectoriales), conforme a la LSNIEG (Ley del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica, 2008, artículo 52). Por otro lado, con base en la premisa de la definición de bosque planteada por la FAO y en las limitaciones de los sensores, se definen elementos en cuanto a la escala (sección 5.3) y el área mínima cartografiable (sección 5.4) para la medición de los procesos de deforestación y degradación forestal.

Proyección

El INEGI, como la institución rectora de la información geográfica en México, establece para la realización de levantamientos topográficos y cartografía básica y temática que éstos deben cumplir con lo estipulado en las Normas Técnicas, en las cuales se especifica qué sistema de referencia se debe emplear en dichos trabajos. Sin embargo, para los levantamientos de información geográfica con fines cartográficos se pueden considerar como equivalentes a la normatividad oficial, el sistema WGS84 (Sistema Geodésico Mundial) que es al que está referenciado el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), (INEGI, 2009).

Estatual o Regional	
Tabla Conforme a Lambert UTM (Universal Transversal de Mercator)	
Con los siguientes parámetros:	
Datum:	ITRF92 Época 1988.0
Elipsoide:	GRS80
Falso Este:	2500000
Falso Norte	0.0
Primer paralelo estándar:	17.5
Segundo paralelo estándar	29.5
Latitud de origen:	12.0
Unidades:	metros

Tabla 2

Nacional	
Tabla Conforme a Lambert	
Con los siguientes parámetros:	
Datum:	ITRF92 Época 1988.0
Elipsoide:	GRS80
Falso Este:	2500000
Falso Norte	0.0
Primer paralelo estándar:	17.5
Segundo paralelo estándar	29.5
Latitud de origen:	12.0
Unidades:	metros

Tabla 3

Es importante mencionar que en el caso de estados en dos regiones UTM, será necesario decidir una tercera opción de proyección o hacer adecuaciones pertinentes.

Local	
UTM (Universal Transversal de Mercator)	
Con los siguientes parámetros:	
Hemisferio:	Norte
Datum:	ITRF92 Época 1988.0
Elipsoide:	GRS80

Tabla 4

Geoide

El geoide es la superficie de referencia para el sistema de alturas ortométricas. Su forma y posición se aproximan al nivel medio del mar incluso por debajo del territorio continental. Uno de sus usos más frecuentes es el cálculo de alturas ortométricas a partir de datos obtenidos con GPS.

Escala

Las escalas de 1:250,000, 1:50,000 y 1:20,000 corresponden, respectivamente, a la detección del proceso con sensores (ver sección 6.2) de baja resolución (capacidad 1), mediana resolución (capacidad 2), y alta resolución (capacidad 3).

Sensores de baja resolución:	Escalas menores a 1:250,000
Sensores de mediana resolución:	Escalas de 1:50,000 a 250,000
Sensores de alta resolución:	Escalas mayores a 1:50,000

Con respecto a las agencias oficiales, estas escalas corresponden a una producción cartográfica actual a escala nacional y estatal (1:250,000), metropolitana (1:50,000) o local (1:20,000).

Área Mínima Cartografiable

Se propone adoptar un área mínima cartografiable de 0.5 ha, por considerar el proceso de deforestación apegado a la norma FAO (ver sección 6.2), y de 6.0 ha por considerar el proceso de deforestación extensiva detectable con sensores de baja resolución (ver sección 6.2).

Nacional:	6 ha
Estatal y Local:	0.5 ha

Metodología

Requerimientos conceptuales básicos

El método para cuantificar deforestación y degradación para REDD+ tendrá que ser:

- **Transparente**
Sujeto a monitoreo y verificación independientes y realizado por ecorregiones que consideren la complejidad de ecosistemas forestales que alberga el país.
- **Compatible a diversas escalas**
Macroregional (nacional), mesoregional (limitado a una ecorregión), regional (limitado a agregados de estados o municipios), local (limitado a agregados de núcleos agrarios).
- **Replicable**
Basado en un enfoque metodológico anidado y realizable a un costo compatible con los precios previsible de un futuro mercado internacional de CO₂.

Para ello se tendrá que recurrir a las fuentes de información más adecuadas para tal propósito.

Procesos detectables y capacidad de discernimiento de los sensores

Como anteriormente especificado, la presente propuesta considera por un lado el concepto de cobertura forestal de acuerdo con estándares internacionales (FAO) y por otro lado la capacidad de discernimiento de sensores utilizados en la elaboración de la cartografía existente de la cobertura forestal en México. La capacidad de discernimiento de un proceso de cambio de cobertura vegetal por un sensor que opera en el visible e infrarrojo cercano está relacionada esencialmente con la resolución espacial del sensor (Tabla 5):

Tabla 5. Tipificación de los sensores remotos en función de su capacidad de detección del fenómeno de deforestación/ degradación.

Capacidad del sensor	Área mínima detectable (ha)	Frecuencia Temporal indicativa del sensor	Acceso/ costo indicativo	Costo de procesamiento para un área de 200x200km (indicativo)
Capacidad 1: Resolución 250-1000m (ej. MODIS, AVHRR)	6-100	Diario	Gratuito	1 día hombre
Capacidad 2: Resolución 10-30 (ej. Landsat, ASTER, SPOT XS multiespectral)	0.05-0-30	3 días	USD \$250 por escena de 180x180 km ² /Gratuito	3 días hombre
Capacidad 3: Resolución 1-5m (ej. INONOS)	0.01	3 días	USD\$ 20 por km	30 días hombre

* Gratuito bajo convenio gubernamental para instancias de gobierno, educación pública e investigación sin fines de lucro.

Dependiendo de la utilización de un sensor u otro, se detectará un proceso diferente, y la medición de un proceso difícil de discernir conlleva gastos mayores que un proceso fácil de discernir. Un estudio que utiliza los sensores de capacidad 1 es más económico que un estudio con base en sensores de capacidad 2, mismo que es más económico que un estudio con base en sensores de capacidad 3.

La deforestación parte de la definición de bosques de la FAO¹ y se refiere al cambio de bosque a no bosque en una superficie de 0.5 ha o más. La llamaremos deforestación FAO. La reforestación consolidada se refiere al cambio de no bosque a bosque en una superficie de 0.5 ha o más. Estos procesos se pueden detectar con sensores de resolución mediana o alta (ver Mas *et al.* 2004, Couturier *et al.* 2010), es decir de capacidad 2 o 3.

El proceso de degradación, atado a un concepto fisionómico forestal compatible con su detección por sensores remotos, se refiere a una permanencia del bosque pero con pérdida de más de 30% de cubierta del dosel (ej. una cubierta del dosel de 70% disminuye a una cubierta de 40%). Este proceso se puede detectar con sensores de mediana resolución (capacidad 2) y, con más confiabilidad, con sensores de alta resolución (capacidad 3).

Debido a las características atractivas de los sensores de capacidad 1, que incluyen la posibilidad de un monitoreo diario de la cobertura vegetal a nivel nacional, se define el proceso de deforestación extensiva, asociado al concepto de remoción de bosque detectable por sensores de capacidad 1. Se referirá a un cambio de bosque a no bosque (con la definición de bosque de la FAO) en un área convexa de 6 ha o más. La medición confiable del fenómeno de deforestación es más costosa que la medición confiable del fenómeno de deforestación extensiva.

Finalmente, se tienen en México muchos tipos de vegetación forestal no incluidos en la noción de bosque de la FAO (como selvas bajas, matorrales o chaparrales, incluidos en la noción de Vegetación Forestal LGDFS² y de Otras Tierras Boscosas u OTB³). El reportar la cobertura de esta vegetación forestal es muy relevante para el caso de México, por lo que se propone una definición de cobertura forestal paralela a la de la FAO que incluya plantas leñosas de baja altura y plantas arbustivas no secundarias, intersección de la noción de Vegetación Forestal LGDFS² y de Otras Tierras Boscosas u OTB³. Se introduce el concepto de deforestación según FAO-México como cambio de 'vegetación forestal' a 'no vegetación forestal' en una superficie de 0.5 ha o más. Cabe mencionar que los sensores de capacidad 1 no pueden medir cambios de la vegetación forestal de baja altura con confiabilidad aceptable, aun para áreas de 6 has y más (ver Couturier, 2010).

En síntesis, se tienen tres conceptos de deforestación, uno de ellos detectable por sensores de capacidad 1, y dos de ellos detectables por sensores de capacidad 2 y 3, como se describe en las tablas 6 y 7.

Tabla 6. Procesos detectables por sensores de capacidad 1 (baja resolución)

Tipo de Proceso Detectable	Definición
Deforestación extensiva	Cambio de bosque a no-bosque en un área convexa de 6 ha o más.
Reforestación extensiva consolidada	Cambio de no-bosque a bosque en un área convexa de 6 ha o más.
Permanencia extensiva del Bosque	Permanencia del bosque en un área convexa de 6 ha o más.
Permanencia extensiva del No-Bosque	Permanencia del no-bosque en un área convexa de 6 ha o más.

Tabla 7. Procesos detectables por sensores de capacidad 2 y 3 (mediana y alta resolución)

Tipo de Proceso Detectable	Definición
Deforestación (FAO o FAO-México)	Cambio de bosque a no-bosque en una superficie de 0.5 ha o más.
Reforestación consolidada (FAO o FAO-México)	Cambio de no-bosque a bosque en una superficie de 0.5 ha o más.
Degradación (FAO o FAO-México)	Permanencia del bosque pero con pérdida de más de 30% de cubierta del dosel (ej. una cubierta del dosel de 70% disminuye a una cubierta de 40%).
Recuperación (FAO o FAO-México)	Permanencia del bosque con un aumento de más de 30% de cubierta del dosel (ej. cubierta de 40% a cubierta de 70%).
Permanencia del Bosque (FAO o FAO-México)	Permanencia del bosque en una superficie de 0.5 ha o más.
Permanencia del No-Bosque (FAO o FAO-México)	Permanencia del no-bosque en una superficie de 0.5 ha o más.

En la segunda columna, 'bosque' se refiere según el caso a la definición FAO o a la definición FAO-México señaladas en el texto.

La necesidad de una evaluación de la confiabilidad del proceso implica la utilización de un sensor de capacidad más alta que el sensor utilizado para medir el proceso (Stehman et al. 2003). Por ejemplo, si uno mide el fenómeno de deforestación, deberá uno utilizar un sensor de capacidad 2, y la confiabilidad de la medición requerirá la utilización de un sensor de capacidad 3. Cabe resaltar que la confiabilidad encontrada para un fenómeno en un territorio dado podrá ser utilizada en mediciones posteriores del fenómeno como referencia indicativa de la confiabilidad de la medición, para evitar gastos subsiguientes.

Etapas de procesamiento

La metodología que se propone está compuesta de 4 etapas, que constituyen a grandes rasgos la estrategia para las estimaciones cuantificables y verificables de la deforestación y la degradación forestal en México.

Etapa 1. Discriminación de zonas con vegetación vs. zonas sin vegetación

Esta etapa consiste en seleccionar la capa que contiene exclusivamente zonas para el monitoreo de procesos de cambio, excluyendo, típicamente, las zonas agrícolas extensas y las áreas urbanas.

- **Zona con vegetación**
Vegetación natural e inducida, bosques, selvas, matorrales, otros tipos de vegetación, pastizales (CONAFOR 2009).
- **Zona sin vegetación**
Zonas urbanas, asentamientos humanos, cuerpos de agua. zonas sin vegetación aparente, agricultura de riego, temporal y de humedad (INEGI 2009).

La clasificación puede ser realizada con sensores de capacidad 1 utilizando un umbral del índice de vegetación normalizado (ej. Índice de Vegetación Normalizado, por sus siglas en inglés NDVI) en época agrícola no-vegetativa. Para estudios en superficies extensas (nivel estatal y nacional) se puede aproximar esta clasificación con información previa (Series del INEGI).

Etapa 2. Estratificación por Ecorregión

Se separa el estudio subsecuente por ecorregiones para aislar el efecto específico del tipo de bosque considerado. Las ecorregiones, o regiones biogeográficas (CONABIO, 2009), son unidades geográficas con flora, fauna y ecosistemas característicos: 7 Regiones nivel I, 24 regiones nivel II y 40 regiones nivel III (INEGI-CONABIO-INE, 2008).

Etapa 3. Detección de Cambio

Este apartado reconoce dos posibilidades para la detección de clases que, como se mencionó anteriormente, corresponden a las capacidades de los sensores empleados:

- **Modo 4 Clases**

Deforestación extensiva, reforestación extensiva, permanencia extensiva del bosque, permanencia extensiva del no-bosque. El método está basado en una estrategia de detección con series de tiempo. Se contemplan insumos de sensores de capacidad 1 de alta resolución temporal. Se consideran el patrón de una serie temporal de imágenes y la selección de valores anómalos con respecto al patrón fenológico de referencia del no-cambio.

Ejemplo:

1. Se realiza una corrección atmosférica a las imágenes NDVI del sensor MODIS y se seleccionan las escenas menos afectadas por ruido/interferencia atmosférica residual.
2. Se construye la serie de tiempo de referencia del NDVI mínimo de 16 días de MODIS sobre un periodo de 5 años, periodo anterior al proceso estudiado.
3. Se construye la serie de tiempo del NDVI mínimo de 16 días de MODIS durante el proceso estudiado.

4. Se determinan las desviaciones al patrón de la clase 'bosque' fuera de márgenes de referencia. Se utiliza un proceso de aprendizaje para modelar la selección, basado en redes neuronales bayesianas y la información auxiliar de precipitación acumulada.
5. Se establecen las capas de cambio y se deducen las de no-cambio.

- **Modo 6 Clases**

Deforestación (FAO o FAO-México), reforestación, degradación, recuperación, permanencia bosque, permanencia no-bosque. El método está basado en una estrategia post-clasificación o una comparación visual de imágenes de dos fechas. Para identificar degradación/ recuperación en este contexto puede ser útil (caso post-clasificación) referirse a tipos de densidad de la vegetación. Por ejemplo, 2 clases de densidad podrían ser 'bosque sin vegetación secundaria' y 'bosque con vegetación secundaria' (Serie III del INEGI). Otro ejemplo podría ser 3 clases de densidad: abierto, denso, muy denso. Para más de 2 clases de densidad (cerrado y abierto) sólo sensores de capacidad 3 (alta resolución) son adecuados porque los sensores de capacidad 2 arrojan baja confiabilidad (Rommel et al. 2005).

En el caso Deforestación FAO se realiza la clasificación de imágenes en 2 fechas y la comparación de las clasificaciones. Se contemplan sensores de capacidad 2. La clasificación es semi-automatizada, o bien visual asistida con información vectorial previa en pantalla.

Ejemplo:

1. Clasificación no supervisada tipo ISODATA de imágenes Landsat multi-espectral
2. Delineación y etiquetado visual de polígonos asistidas por el despliegue en pantalla de vectores de una serie cartográfica previa del INEGI
3. Elaboración del mapa de cambios mediante la comparación vectorial entre las dos clasificaciones

En el caso Deforestación FAO-México (Vegetación Forestal), se trata de discriminar el proceso de cambio de cobertura forestal correspondiente a la Vegetación Forestal LGDFS no comprendida en la categoría previa de Bosque FAO pero incluida en la definición de Otras Tierras Boscosas FAO. La comparación visual de imágenes entre 2 fechas es preferida en este caso.

Etapa 4. Evaluación de Confiabilidad

La evaluación de confiabilidad consiste en medir el margen de error de la medición del proceso (deforestación o degradación). Se utiliza la cobertura sistemática de sensor(es) con mayor capacidad que el sensor utilizado para la detección de cambios (Stehman et al., 2003). Esta etapa es esencial para la robustez y, por ende, credibilidad de la medición. Se lleva a cabo la etapa considerando los dos criterios siguientes para minimizar los costos de la evaluación:

1. Se separa cada clase de cambio-no-cambio. Se selecciona una cobertura exhaustiva o sistemática de un sensor de capacidad mayor al sensor utilizado para mapear el cambio. Alternativamente, se programa una reducida cobertura del sensor, de acuerdo con el muestreo de escenas derivado de esta etapa.

2. Se utiliza un diseño de muestreo doble (Couturier et al., 2010) para evaluar cada vector de cambio–no cambio. En una primera fase se hace un muestreo de escenas del sensor de evaluación. En una segunda fase se seleccionan puntos de verificación del cambio–no cambio dentro de las escenas muestreadas. Se calculan los índices de confiabilidad, por clase y global, de los procesos de cambio–no cambio.

- **Modo 4 clases (deforestación extensiva)**

Un ejemplo a nivel nacional: Se seleccionan 20 imágenes Landsat TM por clase de no-cambio y 5 imágenes Landsat TM por clase de cambio. Se selecciona un tamaño de muestra de 200 puntos por clase de cambio en el universo de escenas seleccionadas.

- **Modo 6 clases (deforestación FAO o deforestación FAO-México)**

Un ejemplo a nivel nacional: Se seleccionan 15 imágenes SPOT5 por clase de no-cambio y 5 imágenes SPOT5 por clase de cambio. Se selecciona un tamaño de muestra de 200 puntos por clase de cambio en el universo de escenas seleccionadas.

Requisitos técnicos y costos de la medición confiable

A manera de ejemplo se considera una medición a nivel nacional. Los requisitos de materiales se mencionan a continuación:

- **Modo 4 clases (Deforestación extensiva)**

Detección de cambio: Cobertura 6 escenas MODIS serie de tiempo.

Evaluación de confiabilidad: Cobertura sistemática Landsat, 2 fechas.

- **Modo 6 clases (Deforestación y Degradación, FAO o FAO-México)**

Detección de cambio: Cobertura exhaustiva Landsat, 2 fechas.

Evaluación de confiabilidad: Cobertura sistemática SPOT-5, 2 fechas.

La tabla siguiente resume materiales y costos de una medición de deforestación y degradación a nivel nacional. De acuerdo con los elementos y definiciones planteadas en este trabajo.

Tabla 8. Características y costos de la medición robusta del proceso de deforestación/degradación.

Tipo de proceso	Área mínima detectable (ha)	Frecuencia indicativa de detección de cambios	Costo indicativo producción y evaluación	Costo de procesamiento (indicativo)
Deforestación extensiva	6	Anual	USD\$ 12,500 /Gratuito	70 días hombre
Deforestación y Degradación FAO	0.5	3 años	USD\$ (2*50 imágenes SPOT más 2*180 imágenes Landsat) /Gratuito	180 días hombre
Deforestación y Degradación FAO-México	0.5	3 años	USD\$ (2*50 imágenes SPOT más 2*180 imágenes Landsat) /Gratuito	180 días hombre

Análisis de Resultados

Estratificación por ecorregión

El mapa de ecorregiones 2009 elaborado por la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) muestra las regiones ecológicas terrestres de América del Norte, que son áreas de similitud general en ecosistemas y en el tipo, calidad y cantidad de recursos ambientales. Las regiones ecológicas sirven como marco espacial para la investigación, evaluación, manejo y monitoreo de los ecosistemas y de los elementos que los componen; asimismo, facilitan la elaboración de informes sobre el estado del medio ambiente, inventarios y evaluaciones de recursos ambientales; el establecimiento de objetivos regionales de manejo de los recursos, y la formulación de criterios biológicos y normas de calidad del agua. Se ha adoptado un esquema de tres niveles jerárquicos para identificar o agrupar las regiones ecológicas:

- **Nivel I.** El más general, divide a América del Norte en 15 extensas regiones ecológicas y presenta una visión amplia sobre el mosaico ecológico del subcontinente a escala global o intercontinental. La escala de representación es aproximadamente 1:50 millones para perspectivas subcontinentales. La delimitación de las unidades se realizó por medio de imágenes de satélite y mapas temáticos de recursos naturales en escala amplia, aproximadamente de 1:40 millones a 1:50 millones.
- **Nivel II.** Representado por 50 regiones ecológicas, las cuales brindan una descripción más detallada de las grandes áreas ecológicas anidadas en las regiones del nivel I y son útiles para el estudio general (nacional o subcontinental) de patrones ecológicos. La escala de representación es de 1:30 millones y funciona para perspectivas nacionales o regionales. La delimitación de las unidades se realizó por medio de imágenes de satélite y mapas temáticos de recursos naturales en escala amplia, aproximadamente de 1:20 millones a 1:30 millones.
- **Nivel III.** Representado por 182 regiones ecológicas (áreas ecológicas menores anidadas en las regiones del nivel II) permite mejorar el monitoreo, la evaluación, la presentación de informes y la toma de decisiones ambientales en el ámbito local. La escala de representación es aproximadamente de 1:5 millones a 1:10 millones, se emplea para perspectivas regionales. La delimitación de las unidades se realizó por medio de imágenes de satélite y mapas temáticos de recursos naturales en escala amplia, aproximadamente de 1:2 millones a 1:4 millones.

Es importante mencionar que la CONABIO en conjunto con el INEGI y el INE continúan trabajando en la construcción del Nivel IV de las ecorregiones terrestres de México, por lo que el nivel alcanzado de detalle para la estratificación puede ser aún mayor.

Análisis por tipo de vegetación (Clasificación de INEGI, UNAM o CONAFOR)

Este nivel permite detectar el tipo de vegetación que está siendo afectada por las acciones antropogénicas y permite evaluar los posibles daños al revelar el ecosistema que está siendo afectado.

La metodología desarrollada debe contener este nivel independientemente de la fuente de preferencia del evaluador, se recomienda las clasificaciones de INEGI 2009, CONAFOR 2009 o UNAM (González-Medrano 2004).

Bosques

Bosque de Oyamel, Bosque de Ayarín, Bosque de Cedro, Bosque Mesófilo de Montaña (BM), Bosque de Pino, Bosque de Pino-Encino, Bosque de Encino-Pino, Bosque de Encino, Bosque Bajo Abierto, Bosque de Táscate (BJ), Bosque de Galería (BG), Bosque Cultivado.

Selvas

Selva Alta Perennifolia, Selva Alta Subperennifolia, Selva Mediana Perennifolia, Selva Mediana Subperennifolia, Selva Mediana Subcaducifolia, Selva Baja Perennifolia, Selva Baja Subperennifolia, Selva Mediana Caducifolia, Selva Baja Caducifolia, Selva Baja Subcaducifolia, Selva Baja Espinosa, Selva de Galería.

Matorrales

Matorral Subtropical, Matorral Submontano, Matorral Espinoso Tamaulipeco, Matorral Crasicaule, Matorral Sarcocaul, Matorral Sarco-Crasicaule, Matorral Sarco-Crasicaule de Neblina, Matorral Rosetófilo Costero, Matorral Desértico Rosetófilo, Matorral Desértico Micrófilo. Matorral Inerme, Matorral Subinerme, Matorral Espinoso, Herbazal, Cardonal, Chollal, Nopalera, Izotal, Crasirosulifolios, Cirio, Vegetación de Desiertos Arenosos, Vegetación Halófila, Vegetación Gipsófila, Vegetación de Galería.

Otros tipos de vegetación

Matorral de Coníferas, Chaparral., Palmar, Sabana, Manglar, Popal, Tular, Mezquital, Huizachal, Vegetación de Dunas Costeras.

Pastizales

Pastizal Natural, Pastizal-Huizachal, Pastizal Halófilo, Pastizal Gipsófilo (PY), Pastizal Inducido, Pastizal Cultivado, Pradera de Alta Montaña.

Análisis de deforestación por procesos

La presión sobre los bosques varía en función del país y la región, al igual que con el tiempo. La presión humana sobre los bosques está determinada, entre otras cosas, por su acceso al mercado, la naturaleza del uso del bosque y la seguridad en la tenencia de la tierra. Ante la pregunta de cómo varían las tasas de deforestación a lo largo del tiempo, lo que sabemos hasta ahora es que la deforestación pasada no permite predecir de manera precisa la deforestación futura.

La deforestación tiene muchas causas y puede variar significativamente de un periodo a otro. Atendiendo a la Teoría de la Transición Forestal (Mather 1992; Angelsen 2007) las áreas forestales siguen un patrón caracterizado por un primer momento en donde los países presentan grandes masas forestales y bajas tasas de deforestación, luego los ritmos de deforestación se aminoran, la cobertura forestal se estabiliza y eventualmente comienza a recuperarse. La figura 1 muestra diferentes estimaciones de deforestación ateniendo a diferentes procesos de acuerdo con la teoría de la transición forestal.

Estos procesos históricos detonan en presiones sobre los bosques, que son definidas por las diferencias en el grado y la profundidad de la pobreza, la inestabilidad en la tenencia de la tierra que albergan y en las consecuencias ambientales de su conversión; comprender estas diferencias es esencial para hacer recomendaciones de política pública apropiadas. Sobre la curva de cobertura forestal prevista por la Teoría de la Transición Forestal, pueden distinguirse tres etapas asociadas a la distribución de los bosques y sus procesos de presión (Chomitz *et al.* 2006).

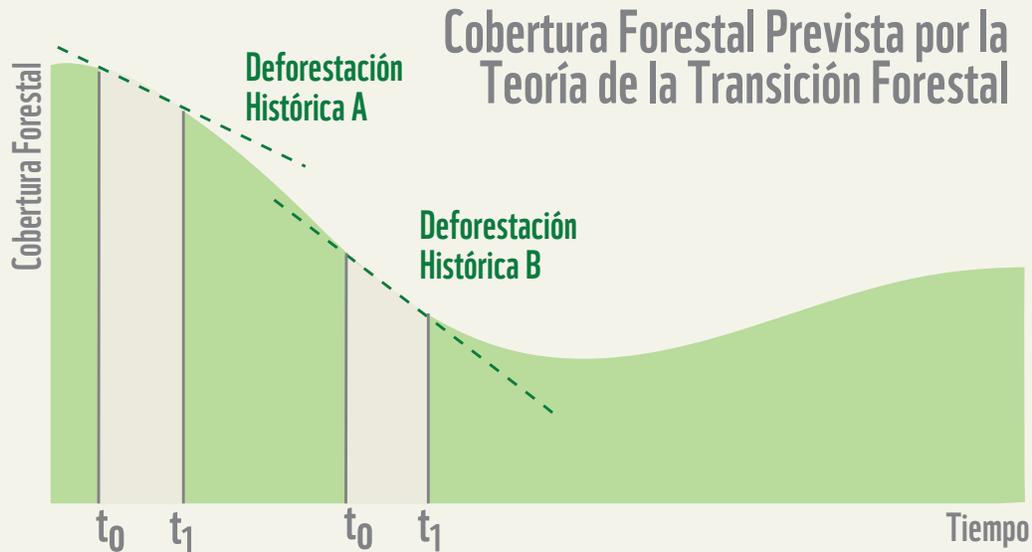


Figura 1. La transición forestal y la deforestación

La etapa 1, denominada zonas núcleo, se caracteriza por grandes extensiones de bosques, pocos habitantes —aunque en su mayoría indígenas— y cierta presión sobre los recursos madereros. En la etapa 2, zonas de frontera, las presiones por deforestar y la degradación son marcadas y van en aumento, el control suele ser inseguro y se hallan en conflicto. Esta etapa se caracteriza por una expansión agrícola y pecuaria rápida y un alto índice de deforestación, enmarcado por reclamos de tierra y recursos, conflictos y disputas sobre la tenencia de la tierra.

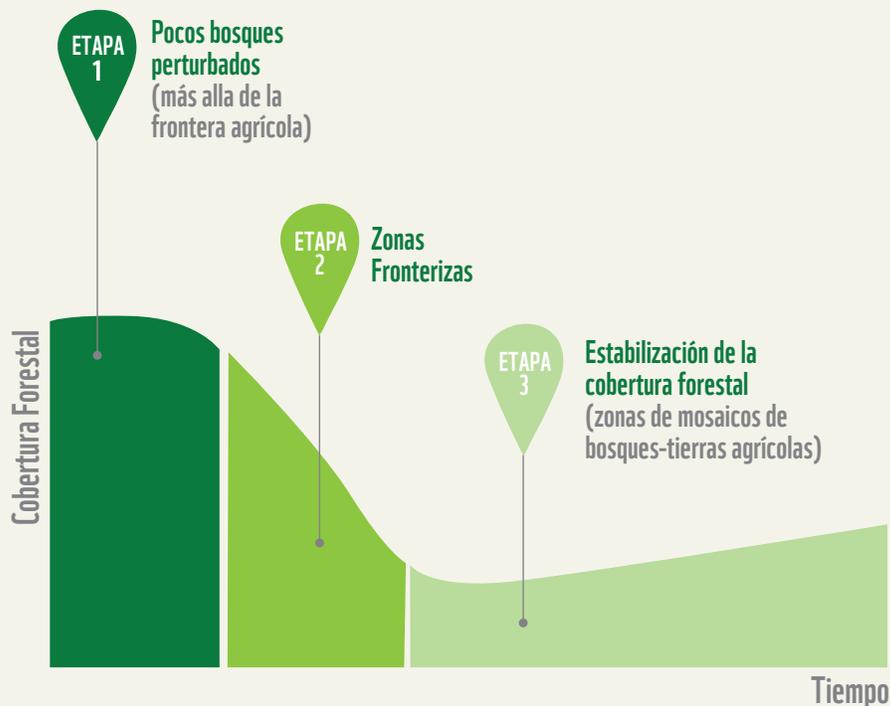


Figura 2. La transición forestal y la deforestación

En la Etapa 3, zonas de mosaico de bosques-tierras agrícolas y pecuarias, donde normalmente la propiedad de la tierra está mejor definida, la densidad demográfica es mayor y los mercados se encuentran más próximos, la ordenación del bosque natural no puede, en muchos casos, competir (desde el punto de vista del tenedor de la tierra) con la agricultura o las plantaciones forestales. Si bien en estas zonas las tasas de deforestación ya no son tan elevadas, los bosques son poco densos y la biodiversidad local se encuentra amenazada (Figura 2).

Esta tipología de bosque propuesta y el análisis histórico de la deforestación por regiones, permiten un enfoque más adecuado sobre los procesos de deforestación observados en el país. Actualmente ya no es suficiente con asumir que la deforestación no se distribuye de manera similar en todas las regiones. Es muy probable que se necesiten distintos mecanismos de medición para elaborar políticas que aborden los desafíos en términos de gobernanza, así como la deforestación y la degradación relacionada con los diferentes procesos de deforestación y degradación. Por ejemplo, el manejo de las Áreas Naturales Protegidas como zonas núcleo de bosques que son amenazadas por la frontera agrícola y pecuaria, va a necesitar nuevas políticas de manejo que permitan su inserción en esquemas más amplios y flexibles de conservación. Otro ejemplo interesante son las adecuaciones de políticas ya existentes, que serán importantes para mejorar el manejo forestal en mosaicos de bosque y tierra agrícola y pecuaria donde se concentra la degradación, y que podrían incluir la creación de nuevos mercados para servicios ambientales.

Recomendaciones Finales

REDD+ tienen como fin último operar como un incentivo que detone mecanismos de abatimiento a las tasa de deforestación creando un impacto directo en la reducción de emisiones de carbono y por ende revertiendo las tendencias de calentamiento global. Bajo este paradigma las tres naciones relevantes de América son: Brasil, Canadá y México pues en éstas se depositan las mayores expectativas ya que su capital natural forestal es inmenso. Canadá, recientemente dejó de ser signatario del tratado de Kyoto con lo que deja fuera su papel potencial en REDD+. Brasil y México, por su parte depositan una enorme esperanza para poder conciliar desarrollo –industrial, energético y económico– con uso sostenible del capital forestal natural. El tema central para estos dos países esta como hacer trans-escalable dicha operación de incentivos REDD+ para que se traduzcan en legítimos mecanismo de abatimiento a las tasa de deforestación.

Si bien los mecanismos REDD+ se basan en la idea simple de compensar económicamente a los países en desarrollo para que reduzcan las emisiones de CO₂ que se generan en el sector forestal, principalmente por dos vías, la de la deforestación y la degradación; los retos que una y otra imponen son importantes y diferenciados. De entrada, es necesario reconocer que la degradación forestal es más difícil de definir, monitorear y reportar, pero que en general en el caso mexicano, continúan existiendo problemas que de fondo tienen que ser atendidos también en el caso de deforestación.

Esta aproximación trata de apuntalar dos pilares que consideramos fundamentales. El primero se relaciona con la certeza de los procesos que, a partir de los instrumentos desarrollados y las herramientas disponibles, se pueden abordar para dar precisión al proceso de deforestación que nos estamos refiriendo. El segundo aborda los elementos que ayudan a construir un ejercicio de confiabilidad para dar certidumbre a los resultados generados a partir de dichos instrumentos.

México debe emprender una ruta que traduzca su principal debilidad actual (carencia de definición de competencias entre múltiples instancias gubernamentales) en una oportunidad que ayude a modificar los lineamientos legales para que la coordinación de la inversión intelectual, económica y administrativa esté bajo un sólo techo. Aunado a esto, asegurar que los diversos niveles de resolución espacial (ver página 12) son consecuentes con los de nivel social (tipos de tenencia de la tierra). La distinción de que hace quien y en donde son los temas que hoy día pueden hacer la diferencia para que México se convierta en una experiencia exitosa o fallida en el ámbito de REDD+.

Glosario

Indicadores Forestales – Los procesos de cambio en las agrupaciones vegetales sujetos a monitoreo en México, mismos que incluyen la: deforestación, degradación, recuperación, reforestación, permanencia del bosque y permanencia del no-bosque.

Agrupaciones vegetales objeto de los indicadores forestales – Incluyen tanto a la vegetación forestal legal, como al bosque y las otras tierras boscosas conforme a la definición de la FAO.

Vegetación forestal legal – El conjunto de plantas y hongos que crecen y se desarrollan en forma natural, formando bosques, selvas, zonas áridas y semiáridas, y otros ecosistemas, dando lugar al desarrollo y convivencia equilibrada de otros recursos y procesos naturales. (LGDFS Art 7, Frac. XLV).

Bosque FAO – Es la tierra que abarca más de 0.5 hectáreas, con cubierta de árboles cuya altura es superior a 5 metros y con una cubierta de copas de al menos 10 por ciento, o árboles capaces de alcanzar estos límites mínimos in situ. No incluye la cobertura vegetal de las zonas agrícolas, como las barreras rompe vientos; ni los parques y jardines de las zonas urbanas. (FAO Forest Resources Assessment - FRA-, 2000).

Otras Tierras Boscosas FAO - (OTB-FAO) – Se refiere a la tierra no clasificada como “Bosque FAO”, que se extiende por más de 0.5 hectáreas; con árboles de una altura superior a 5 metros y una cubierta de copas de un 5 a 10 por ciento, o árboles capaces de alcanzar estos límites mínimos in situ; o que cuentan con una cubierta mixta de matorrales, arbustos y árboles superior al 10 por ciento. No incluye la tierra que se encuentra sometida a un uso predominantemente agrícola o urbano. (FAO FRA-, 2000).

Deforestación – Proceso de perturbación de la estructura de las zonas forestales que

incluye modificaciones que van desde el empobrecimiento en la composición florística, las perturbaciones ocasionadas por incendios, tala clandestina y plagas, hasta la completa eliminación del estrato arbóreo con fines de cambio en el uso de suelo.

Deforestación extensiva – Se refiere a un cambio de bosque a no bosque en un área convexa de 6 ha o más. Este proceso es susceptible de ser detectado con sensores de baja resolución.

Deforestación FAO – Se refiere al cambio de bosque a no bosque en una superficie de 0.5 ha o más. Este proceso es susceptible de ser detectado con sensores de resolución mediana.

Degradación – Se refiere a una permanencia del bosque pero con pérdida de más de 30% de cubierta del dosel durante un periodo determinado (ej. una cubierta del dosel de 70% disminuye a una cubierta de 40%).

Recuperación – Se refiere a una permanencia del bosque con un aumento de más de 30% de cubierta del dosel (ej. cubierta de 40% a cubierta de 70%). Estos últimos dos procesos se pueden detectar con sensores de mediana resolución y con más confiabilidad con sensores de alta resolución.

El proceso de **reforestación** se refiere al cambio no-bosque bosque (definición FAO) en una superficie de 0.5 ha o más.

El proceso de **reforestación extensiva** se refiere al cambio no-bosque bosque en un área convexa de 6 ha o más.

Finalmente, están las clases de no-cambio que corresponden a los procesos de **permanencia del bosque** y **permanencia del no-bosque**. La **permanencia extensiva del bosque** y la **permanencia extensiva del no-bosque** son permanencias en un área convexa de 6 ha o más. Pueden ser detectadas por los sensores de baja resolución.

Referencias Bibliográficas

Angelsen, A., 2007. *Forest cover change in space and time: Combining von Thünen and the forest transition*. World Bank Policy Research Working Paper 4117. World Bank, Washington, D.C.

CONABIO, 2009. <http://www.biodiversidad.gob.mx/region/quees.html>, *Biodiversidad Mexicana, ¿Qué es una Ecorregión?* Sitio WEB CONABIO. Mexico.

Chomitz, K.M., Buys P., de Luca, G., Thomas, T.S. y Wertz-Kanounnikoff, S., 2006. *At loggerheads? Agricultural expansion, poverty reduction, and environment in the tropical forests*. Policy Research Report. World Bank. Washington. <http://go.worldbank.org/KVK3ZDK510>

CONAFOR, 2009. http://148.223.105.188:2222/gif/snif_portal/index.php?option=com_content&task=view&id=12&Itemid=7. *Tipos de vegetación forestal y de suelos*. Comisión Nacional Forestal. Sitio WEB CONAFOR. México.

Couturier, S., 2007. *Evaluación de errores de cartas de cobertura vegetal y uso del suelo con enfoques difuso y con simulación de imágenes de satélite*. PhD dissertation. Programa de Posgrado en Geografía. UNAM p. 276.

Couturier, S., 2010. *A fuzzy-based method for the regional validation of global maps: the case of MODIS-derived phenological classes in a mega-diverse zone*. International Journal of Remote Sensing, 31 (22), 5797-5811.

Couturier, S., Mas J.-F., López-Granados E., Benítez J., Coria-Tapia V., y Vega-Guzmán A., 2010. *Accuracy assessment of the Mexican National Forest Inventory map: a study in four ecogeographical areas*. Singapore Journal of Tropical Geography, 31 (2), 163-179.

DeFries, R., Achard, F., Brown, S., Herold, M., Murdiyarso, D., Schlamadinger, B. y de Souza Jr., C., 2006. *Reducing greenhouse gas emissions from deforestation in developing countries: Considerations for monitoring and measuring*. Global Terrestrial Observing System (GTOS), Rome.

González-Medrano, 2004. *Las comunidades vegetales de México*. Instituto Nacional de Ecología. México. 136 pp.

INEGI, 2009. *Guía para la interpretación de la Cartografía uso de suelo y vegetación: Escala 1 a 250,000: Serie III*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México. 74 pp.

INEGI-CONABIO-INE, 2008. *Ecorregiones terrestres de México (2008)*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) -Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) - Instituto Nacional de Ecología (INE). Producto Digital. México.

Mas, JF, A. Velázquez, J.R. Díaz-Gallegos, R. Mayorga-Saucedo, C. Alcántara, G. Bocco, R. Castro, T. Fernández & A. Pérez-Vega, 2004. *Assessing land use/cover changes : a nationwide multirate spatial database for Mexico*, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 5(4):249-261.

Mather, A., 1992. The Forest Transition. *Area* 24 (4): 367-379.

Remmel TK, Csillag F, Mitchell S, and M. Wulder, 2005. *Integration of forest inventory and satellite imagery: a Canadian status assessment and research issues*. *Forest Ecology and Management* 207, pp. 405-428.

SEMARNAT, 2005. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México*. Compendio de Estadísticas Ambientales, http://148.223.105.188:2222/gif/snif_portal/secciones/demas/compendio2005/Reportes/D3_FORESTAL/D3_RFORESTA08/D3_RFORESTA08_01.htm

Stehman, S.V., J.D. Wickham, J.H. Smith y L. Yang, 2003. *Thematic accuracy of the 1992 National Land-Cover Data for the eastern United-States: Statistical methodology and regional results*. *Remote Sensing of Environment* 86, pp. 500-516.