

Revisión de los datos MadMex para el monitoreo de los cambios de cubierta / uso del suelo (con énfasis en procesos de deforestación)

J.F. Mas y A. Rodríguez

Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Introducción

En este informe se reportan los principales resultados de una evaluación de los datos MadMex para su utilización para el monitoreo y mapeo de la deforestación en México durante las últimas dos décadas.

Insumos

Para llevar a cabo el monitoreo de los cambios se utilizaron los datos de MadMex generados por CONABIO. Estos datos son mosaicos en formato *raster* de imágenes Landsat segmentadas y clasificadas para los años 1993, 1995, 2000, 2002 y 2008. Estas clasificaciones indican la categoría de uso/cubierta del suelo de cada objeto. A continuación se describen las principales características del proceso de segmentación y clasificación.

Breve descripción del proceso de clasificación utilizado para la generación de los datos MADMAX

Para generar estos datos se utilizaron todas las imágenes Landsat ETM+ y TM con menos de 10% de nubes disponibles para los años de interés (1993, 1995, 2000, 2002, y 2008). Se necesitan 135 escenas Landsat para cubrir el territorio continental mexicano. Es notable que para el sur del país se obtuvieron menos imágenes disponibles que para el norte debido a la frecuencia más alta de nubes. Por ejemplo, para el año 2000 se obtuvieron entre 20 y 37 escenas para Sonora y entre 5 y 10 para Chiapas.

Estas imágenes Landsat fueron preprocesadas (creación de una máscara de nubes, nieve, sombra y píxeles sin datos, calibración radiométrica) utilizando el sistema LEDAPS (Masek et al., 2012) y FMASK (Zhu y Woodcock, 2012). En un paso siguiente, se calcularon índices (NDVI, Tasseled cap) y se derivaron métricas multitemporales (mínimo, máximo, promedio, desviación estándar, rango...). Se segmentaron las imágenes con base en las métricas multitemporales del NDVI utilizando el programa “Berkeley Image Segmentation”. La segmentación permite reagrupar en un objeto (o segmento) píxeles continuos que presentan valores similares de las métricas utilizadas. Para cada objeto se calcularon índices basados en mediciones estadísticas (mínimo, máximo, promedio, varianza...) de los índices multitemporales basados en el NDVI y el tasseled cap.

Los campos de entrenamiento se obtuvieron con base en “áreas permanentes” obtenidos con los mapas de uso del suelo y vegetación del INEGI (áreas para las cuales se mantiene la misma categoría para diferentes fechas de acuerdo a las diferentes series de la cartografía del INEGI). Debido a la escala de los mapas del INEGI (1:250,000), estas áreas permanentes pueden contener áreas (parches) de otras categorías. Por esta razón, las firmas espectrales derivadas de estos campos de entrenamiento se

depuraron con base en el algoritmo iterativo de Radoux y Defourny (2010) que permite descartar los outliers.

El sistema clasificatorio comprende 26 categorías (tabla 1). La clasificación se llevó a cabo con el algoritmo de árbol C5.0 (Quinlan, 1992; Hodge y Austin, 2004), el cual asigna a cada segmento una categoría y un índice de certidumbre del proceso de clasificación.

class_level_mrv	class_level_mrv_secundaria
AGRICULTURA	AGRICULTURA
BOSQUE DE CONIFERAS	BOSQUE DE CONIFERAS
BOSQUE DE CONIFERAS	BOSQUE DE CONIFERAS HERBACEA
BOSQUE DE CONIFERAS	BOSQUE DE CONIFERAS ARBOREA
BOSQUE DE ENCINO	BOSQUE DE ENCINO
BOSQUE DE ENCINO	BOSQUE DE ENCINO ARBOREA
BOSQUE DE ENCINO	BOSQUE DE ENCINO HERBACEA
BOSQUE DE ENCINO-PINO Y PINO-ENCINO	BOSQUE DE ENCINO-PINO Y PINO-ENCINO HERBACEA
BOSQUE DE ENCINO-PINO Y PINO-ENCINO	BOSQUE DE ENCINO-PINO Y PINO-ENCINO
BOSQUE DE ENCINO-PINO Y PINO-ENCINO	BOSQUE DE ENCINO-PINO Y PINO-ENCINO ARBOREA
CUERPO DE AGUA	CUERPO DE AGUA
MATORRAL XEROFILO	MATORRAL XEROFILO HERBACEA
MATORRAL XEROFILO	MATORRAL XEROFILO
MATORRAL XEROFILO	MATORRAL XEROFILO ARBOREA
PASTIZALES	PASTIZALES
PASTIZALES	PASTIZALES HERBACEA
SELVAS HUMEDAS Y SUBHUMEDAS Y BOSQUE MESOFILO	SELVAS HUMEDAS Y SUBHUMEDAS Y BOSQUE MESOFILO ARBOREA
SELVAS HUMEDAS Y SUBHUMEDAS Y BOSQUE MESOFILO	SELVAS HUMEDAS Y SUBHUMEDAS Y BOSQUE MESOFILO
SELVAS HUMEDAS Y SUBHUMEDAS Y BOSQUE MESOFILO	SELVAS HUMEDAS Y SUBHUMEDAS Y BOSQUE MESOFILO HERBACEA
SELVAS SECAS	SELVAS SECAS ARBOREA
SELVAS SECAS	SELVAS SECAS
SELVAS SECAS	SELVAS SECAS HERBACEA
SUELO DESNUDO	SUELO DESNUDO
URBANO Y CONSTRUIDO	URBANO Y CONSTRUIDO
VEGETACION HIDROFILO	VEGETACION HIDROFILO
VEGETACION HIDROFILO	VEGETACION HIDROFILO HERBACEA

Tabla 1. Sistema de clasificación

Finalmente, las imágenes clasificadas fueron evaluadas con base en sitios obtenidos de diferentes bases de datos (COLPOS, PROCEDE, INEGI, CONABIO). Estos sitios no fueron obtenidos con base en un diseño de muestreo estadístico diseñado para la evaluación de cartografía, las fechas de recolección de los datos no coincide neceserariamente con las fecha de las imágenes y el número de sitios varia dependiendo de las escenas. El valor de fiabilidad obtenido es por lo tanto solamente indicativo.

En resumen, las principales características del proceso de elaboración de los datos son:

- Cada escena / año se clasifica de forma independiente con base en sus propios campos de entrenamiento.
- El proceso de clasificación se basa en un enfoque totalmente automatizado, desde la selección de los campos de entrenamiento hasta el proceso de clasificación en sentido estricto. No hay ningún proceso de verificación visual o incorporación de conocimiento experto.
- La clasificación se basa únicamente en la respuesta espectral de los pixeles que componen un segmento (índices derivados de las bandas espectrales).

Análisis de los cambios

Debido a la naturaleza de los insumos (clasificaciones independientes para diferentes fechas), el monitoreo de los cambio se realizó con un enfoque post-clasificatorio (Singh, 1989). Se elaboraron mapas y matrices de cambio con base en la sobreposición de dos mapas de fechas diferentes en un

sistema de información geográfica (SIG). Este ejercicio se realizó con las fechas disponibles (1993, 1995, 2000, 2002 y 2008). En un primer paso, se analizaron los cambios con base en la máxima agregación del sistema clasificatorio utilizando únicamente dos categorías: bosque y no bosque. Cabe mencionar el hecho de reagrupar diferentes categorías del sistema clasificatorio original en una sola categoría permite reducir los errores de clasificación muy significativamente. Por ejemplo, los errores de confusión entre las diferentes categorías forestales no tienen efecto. Los análisis basados en un sistema clasificatorio más detallado tendrán por lo tanto muchos más errores. El análisis se llevó a cabo incluyendo o no los matorrales en la categoría “bosque”.

Las matrices de cambio obtenidas considerando los matorrales como bosque se presentan a continuación. Indican en hectáreas (y en porcentaje de la superficie total del territorio) las superficies de categorías de permanencia (bosque/bosque y no bosque/no bosque) y de cambio (bosque/no bosque y no bosque/bosque). Las matrices de cambio obtenidas incluyendo los matorrales en la categoría bosque se muestran a continuación (Tabla 2, en ha y en % del área).

Tabla 2 – Matriz de cambio para los diferentes periodos (superficie en ha y en porcentaje) considerando los matorrales como “bosque” (No data corresponde a pixeles sin datos en el raster 2000).

1993/1995	Bosque	No Bosque	Total general
Bosque	112,117,517	12,209,388	124,326,904
No Bosque	13,052,634	56,954,328	70,006,962
Total general	125,170,151	69,163,715	194,333,866

1993/1995	Bosque	No Bosque	Total general
Bosque	57.7%	6.3%	64.0%
No Bosque	6.7%	29.3%	36.0%
Total general	64.4%	35.6%	100.0%

1995/2000	No data *	Bosque	No Bosque	Total general
Bosque	27,483	111,446,298	13,696,369	125,170,151
No Bosque	5,582	12,718,142	56,439,991	69,163,715
Total general	33,066	124,164,439	70,136,361	194,333,866

1995/2000	Bosque	No Bosque	Total general
Bosque	57.3%	7.0%	64.4%
No Bosque	6.5%	29.0%	35.6%
Total general	63.9%	36.1%	100.0%

2000/2002	Bosque	No Bosque	Total general
No dato	26,216	7,159	33,375
Bosque	107,834,216	16,419,911	124,254,126
No Bosque	21,701,378	48,505,197	70,206,574
Total general	129,561,810	64,932,266	194,494,076

2000/2002	Bosque	No Bosque	Total general
Bosque	55.4%	8.4%	63.9%
No Bosque	11.2%	24.9%	36.1%
Total general	66.6%	33.4%	100.0%

2002/2008	Bosque	No Bosque	Total general
Bosque	108,055,759	21,504,779	129,560,538
No Bosque	20,777,524	44,175,245	64,952,770
Total general	128,833,283	65,680,024	194,513,308

2002/2008	Bosque	No Bosque	Total general
Bosque	55.6%	11.1%	66.6%
No Bosque	10.7%	22.7%	33.4%
Total general	66.2%	33.8%	100.0%

1993/2008	Bosque	No Bosque	Total general
Bosque	106,872,260	17,586,952	124,459,213
No Bosque	22,003,026	48,084,379	70,087,405
Total general	128,875,286	65,671,331	194,546,617

1993/2008	Bosque	No Bosque	Total general
Bosque	54.9%	9.0%	64.0%
No Bosque	11.3%	24.7%	36.0%
Total general	66.2%	33.8%	100.0%

Las matrices obtenidas excluyendo los matorrales de la categoría bosque e incluyéndolos en la categoría no-bosque se indican a continuación (Tabla 2, en ha y en % del área).

Tabla 3 – Matriz de cambio para los diferentes periodos (superficie en ha y en proporción) considerando los matorrales como “bosque” (No data corresponde a pixeles sin datos en el raster 2000).

1993/1995	Bosque	No Bosque	Total general
Bosque	65,682,723	8,605,226	74,287,950
No Bosque	8,816,819	111,229,097	120,045,916
Total general	74,499,542	119,834,324	194,333,866

1995/2000	No data *	Bosque	No Bosque	Total general
Bosque	27,261	65,675,538	8,796,743	74,499,542
No Bosque	5,805	9,336,512	110,492,007	119,834,324
Total general	33,066	75,012,050	119,288,750	194,333,866

2000/2002	Bosque	No Bosque	Total general
No dato	26,006	7,369	33,375
Bosque	65,922,464	9,093,428	75,015,892
No Bosque	19,977,476	99,467,333	119,444,809
Total general	85,925,946	108,568,130	194,494,076

2002/2008	Bosque	No Bosque	Total general
Bosque	69,549,975	16,373,153	85,923,128
No Bosque	16,248,102	92,342,078	108,590,180
Total general	85,798,077	108,715,231	194,513,308

1993/2008	Bosque	No Bosque	Total general
Bosque	65,103,378	9,235,456	74,338,834
No Bosque	20,737,591	99,470,192	120,207,783
Total general	85,840,970	108,705,648	194,546,617

1993/1995	Bosque	No Bosque	Total general
Bosque	33.8%	4.4%	38.2%
No Bosque	4.5%	57.2%	61.8%
Total general	38.3%	61.7%	100.0%

1995/2000	Bosque	No Bosque	Total general
Bosque	33.8%	4.5%	38.3%
No Bosque	4.8%	56.9%	61.7%
Total general	38.6%	61.4%	100.0%

2000/2002	Bosque	No Bosque	Total general
Bosque	33.9%	4.7%	38.6%
No Bosque	10.3%	51.1%	61.4%
Total general	44.2%	55.8%	100.0%

2002/2008	Bosque	No Bosque	Total general
Bosque	35.8%	8.4%	44.2%
No Bosque	8.4%	47.5%	55.8%
Total general	44.1%	55.9%	100.0%

1993/2008	Bosque	No Bosque	Total general
Bosque	33.5%	4.7%	38.2%
No Bosque	10.7%	51.1%	61.8%
Total general	44.1%	55.9%	100.0%

Las tasas de cambio brutas y netas anuales (en ha/año) derivadas de las matrices de cambio se indican a continuación (Tabla 4).

Tabla 4 – Tasas de cambio para los diferentes periodos obtenidas por comparación de los mapas MadMex (las tasas se expresan en ha/año, las tasas neta de pérdida de bosque se indican en rojo).

Periodo / transición	Con matorrales en “Bosque”		Sin los matorrales en “Bosque”	
	Tasa bruta anual	Tasa neta anual	Tasa bruta anual	Tasa neta anual
1993/1995				
Bosque --> No Bosque	6,104,694		4,302,613	
No Bosque --> Bosque	6,526,317	421,623	4,408,409	105,796
1995/2000				
Bosque --> No Bosque	2,739,274	195,646	1,759,349	
No Bosque --> Bosque	2,543,628		1,867,302	107,954
2000/2002				
Bosque --> No Bosque	8,209,955		4,546,714	
No Bosque --> Bosque	10,850,689	2,640,734	9,988,738	5,442,024
2002/2008				
Bosque --> No Bosque	3,584,130	121,209	2,728,859	20,842
No Bosque --> Bosque	3,462,921		2,708,017	
1993/2008				
Bosque --> No Bosque	1,172,463		615,697	
No Bosque --> Bosque	1,466,868	294,405	1,382,506	766,809

Estos resultados son poco verosímiles: los mapas y las matrices de cambio indican que, cada año, grandes extensiones del territorio sufren procesos de deforestación (transición bosque/no-bosque) (entre un millón y diez millones de ha) mientras que una superficie similar experimenta el proceso

inverso (transición no-bosque/bosque). Estos resultados sugieren que los errores de clasificación en cada una de las fechas generan una gran cantidad de transición de cambio y ocultan totalmente las áreas que efectivamente experimentan un cambio. Es notable que la cantidad reportada en las diferentes categorías de transición es independiente de la duración del periodo observado. Si bien se puede esperar cantidades de cambio mayores para periodos más largos (por ejemplo 1993-1995 *versus* 1993-2008), la cantidad de cambios erróneos que resulta de errores de clasificación no depende de esta duración sino de la fiabilidad de los mapas y la correlación entre los errores de una fecha y la otra.

Por lo tanto, estos resultados indican que las áreas deforestadas y reforestadas detectadas con base en los datos MadMex reflejan principalmente los errores de comisión y omisión de las clasificaciones involucradas en la comparación. Cualquier área incorrectamente clasificada en una de las fechas se identifica como una área deforestada o reforestada, resultando en tasas de cambio brutas muy elevadas. La tasa neta es por lo tanto el resultado del balance entre los errores que generan falsas áreas deforestadas y falsas áreas reforestadas y no puede considerarse como un dato fiable. Es notable que esta tasa neta indica ganancia o pérdida de áreas forestales dependiendo del periodo.

Esta limitación de la comparación post-clasificatoria es un caso bien conocido de propagación del error en geografía: con el supuesto que la distribución del error en los dos mapas comparados sea independiente, la fiabilidad del mapa de cambio es el producto de las fiabilidades de los dos mapas (Stow et al., 1980; Singh, 1989). Aun con mapas que presentan valores de fiabilidad satisfactorios, los errores en el mapa de cambio pueden ser muy importantes e impedir la detección de cambios. Por ejemplo el mapa de cambio derivados de dos mapas con un 80% correctamente clasificado, presentará solamente 64% de fiabilidad bajo este supuesto de la independencia del error (i.e., $(80 \times 80)/100 = 64$).

Evaluación de los mapas MadMex para la región de Ayuquila, Jalisco.

Para analizar de forma más precisa los errores de clasificación de los datos MadMex se compararon los mapas de MadMex con una serie de mapas de referencia realizado con base en la interpretación visual de imágenes (fotografías aéreas e imágenes SPOT 5) y un intenso trabajo de campo para los años 1995, 2004 y 2010 (Figura 1). Estos mapas de referencia tienen originalmente 17 categorías. Se evaluó la fiabilidad del mapa de referencia de 2010 con base en 110 sitios de verificación obtenidos a través de un muestreo aleatorio estratificado por las categorías del mapa. La fiabilidad global obtenida fue de 91.5% con un medio intervalo de confianza de 5.2% al nivel de 17 categorías. Se puede esperar una fiabilidad similar para los mapas de referencia de las demás fechas, ya que se elaboraron con el mismo método (clasificación interdependiente de la FAO, 1996).

Se compararon el mapa MadMex de 1995 con el mapa de referencia de la misma fecha, siendo únicamente esta fecha la que coincide perfectamente entre las dos bases de datos. La comparación se llevó a cabo a diferentes niveles de agregación del sistema clasificatorio de MadMex compatibles con el sistema clasificatorio del mapa de referencia que no presenta sub-categorías de vegetación secundarias.

Al nivel más detallado que comporta para el área de estudio 11 categorías (agricultura, bosque de coníferas, bosque de encino, bosque de encino-pino y pino-encino, cuerpo de agua, pastizales, selvas húmedas y subhúmedas y bosque mesófilo, selvas secas, suelo desnudo, urbano y construido,  vegetación hidrófila), la fiabilidad del mapa de MadMex se estimó en 62%.

Al nivel más agregado (bosque/no bosque) se obtiene 82% de superficie correctamente clasificada..

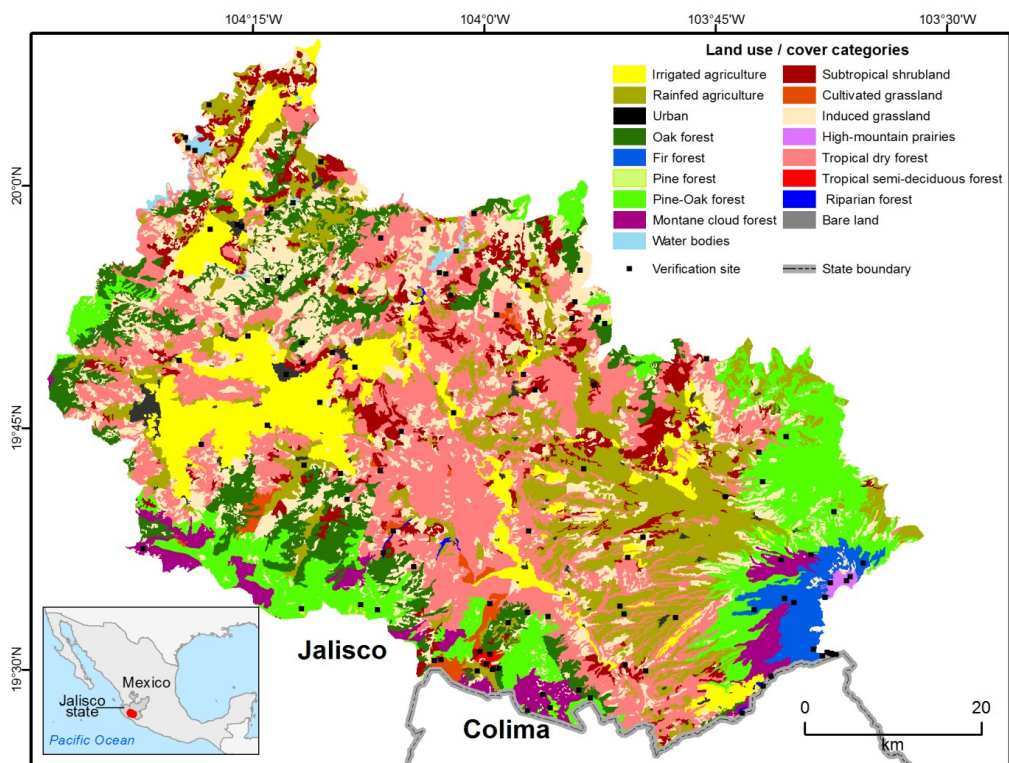


Figura 1 – Mapa de cubierta / uso del suelo de Ayuquila

Las tablas a continuación muestran las matrices de error a diferentes niveles de agregación

Tablas 5, 6 y 7 – Matrices de error a diferentes niveles de agregación del sistema clasificatorio

MadMex	Referencia								
	AGRI	CONIFERAS	ENCINO	QP y PQ	AGUA	PAST	SELVAS SECAS	URB	Total general
AGRICULTURA	83,268	2	2,742	1,405	200	13,776	24,771	969	127,133
BOSQUE DE CONIFERAS	93	2,043	320	848	8	286	150		3,749
BOSQUE DE ENCINO	2,777	79	19,567	4,735	50	4,042	9,990	17	41,257
BOSQUE DE QP y PQ	2,889	2,438	6,848	34,414	17	2,561	3,273	27	52,467
CUERPO DE AGUA	24	0	41	3	943	8	81	1	1,100
PASTIZALES	4,777	9	3,438	279	38	8,464	8,561	49	25,616
SELVAS HUMEDAS Y SUBHUM Y MESOFILO	382	3,175	895	5,332	1	140	107	1	10,033
SELVAS SECAS	7,907	17	12,404	3,328	116	8,510	97,462	48	129,793
SUELO DESNUDO	6	17	3	3		1	3		34
URBANO Y CONSTRUIDO	2,679	16	46	162	6	475	371	1,357	5,110
VEGETACION HIDROFILA	85		40	20		56	120	0	321
Total general	104,887	7,796	46,344	50,529	1,379	38,320	144,888	2,468	396,612

Fiabilidad Global 62.46%

			Referencia			
MadMex	Agropec	agua	Bosque	Selvas	Urbano	Total general
Agropec	110,285	238	7,876	33,332	1,017	152,749
agua	31	943	44	81	1	1,100
Bosque	12,649	75	71,292	13,413	44	97,473
Selvas	16,939	117	25,151	97,569	49	139,825
suelo desnudo	7		23	3		34
Urbano	3,153	6	223	371	1,357	5,110
Veg hidrofila	142		59	120	0	321
Total general	143,207	1,379	104,669	144,888	2,468	396,612

Fiabilidad Global 71.97%

	Referencia		
MadMex	Bosque	No Bosque	Total general
Bosque	207,424	29,874	237,299
No Bosque	42,133	117,181	159,313
Total general	249,557	147,055	396,612

Fiabilidad Global 0.82

Las matrices muestran confusiones características de las clasificaciones digitales como por ejemplo entre selvas secas y agricultura, agricultura y pastizales, encinares y selvas secas, etc. La agregación a nivel bosque/no bosque permite incrementar la fiabilidad de los datos a un poco más de 80%. Sin embargo, este nivel de fiabilidad no permite llevar a cabo operaciones de comparación post-clasificatoria para detectar cambios debido al fenómeno de la propagación del error descrito más arriba.

Evaluación del área de los polígonos y del índice de certidumbre con la fiabilidad

En estos últimos análisis se buscó averiguar si era factible implementar algunos mecanismos para mejorar la calidad de los datos MadMex. Las segmentaciones se llevaron a cabo permitiendo un área mínima para un objeto equivalente a un pixel. Es razonable pensar que los objetos muy pequeños en los datos MadMex tienen más errores de clasificación, por tener características espectrales menos robustas desde un punto de vista estadístico, dejando así la posibilidad de mejorar la fiabilidad de los datos eliminando polígonos muy pequeños. Adicionalmente cada objeto (polígono) presenta un valor de certidumbre de la clasificación, abriendo la posibilidad de detectar falsos cambios durante la comparación de varias fechas.

Se analizaron las áreas y los índices de certidumbre de los polígonos detectados como correctamente y erróneamente clasificados. Los polígonos correctamente clasificados tienden a tener una área menor y un índice de certidumbre mayor que los que presentan un error de clasificación (Figuras 2 y 3).

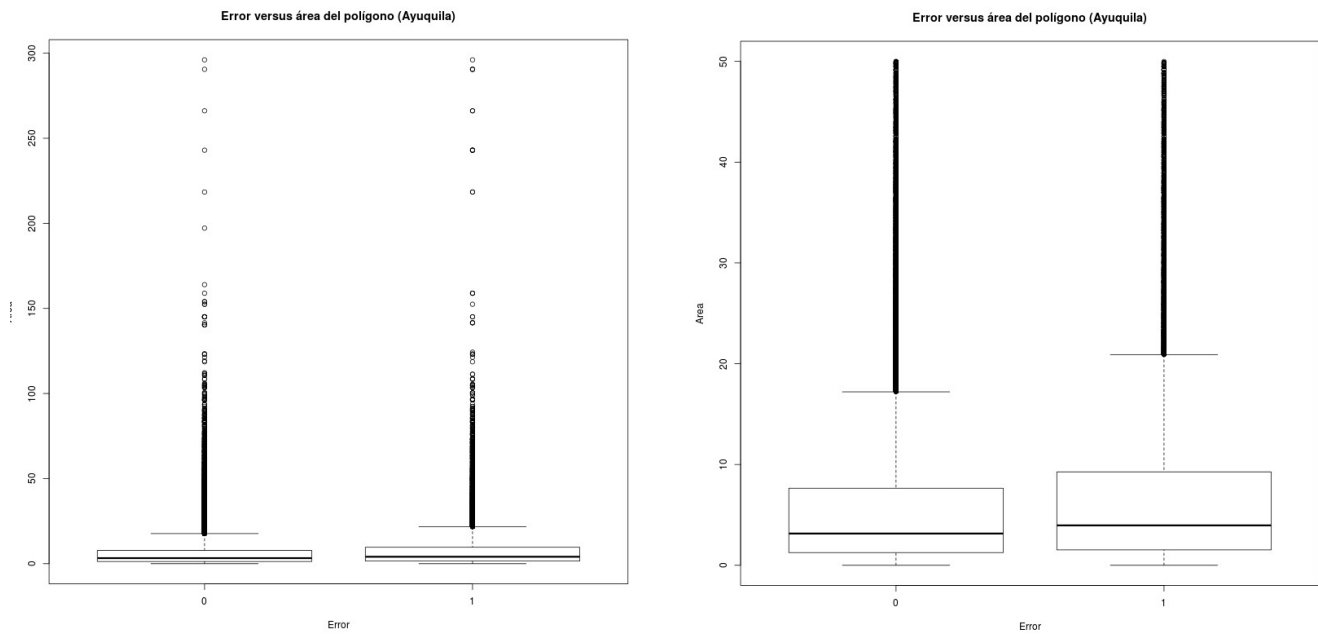


Figura 2 – Boxplots representando la variabilidad del área de los polígonos sin error (0) y con error de clasificación (1). La gráfica de la izquierda se realizó con todos los polígonos del área de estudio (109,622), la de la derecha con los polígonos de menos de 50 ha (108,531).

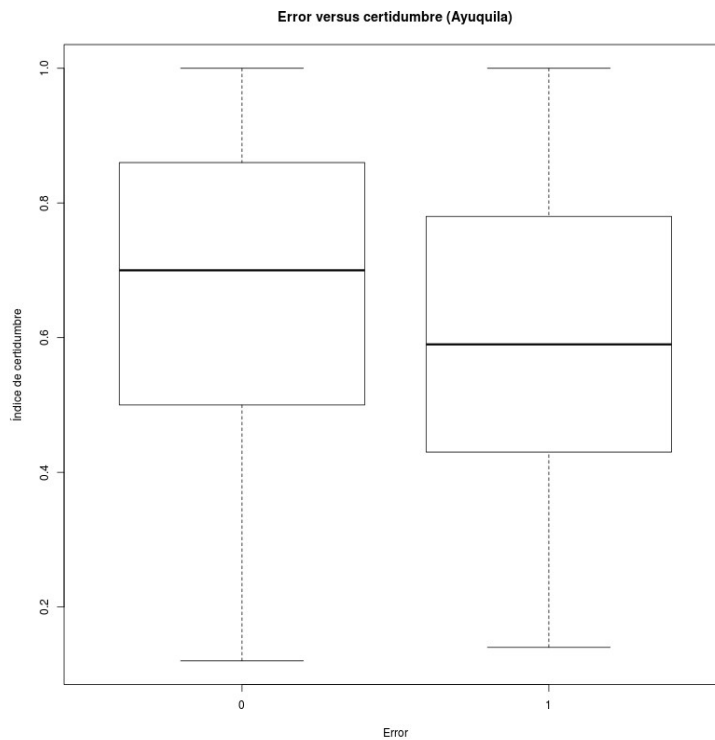


Figura 3 – Boxplots representando la variabilidad del índice de certidumbre de los polígonos sin error (0) y con error de clasificación (1).

Sin embargo, estas diferencias no son muy marcadas. En particular, el índice de certidumbre parece ser un indicador muy débil de la probabilidad de ocurrir un error de clasificación. Parece por lo tanto difícil usar esta información para mejorar los datos.

Conclusiones

Los datos MadMex presentan una fiabilidad limitada. En realidad, los niveles de fiabilidad alcanzados tratándose de un país con una importante diversidad de tipos de vegetación y uso del suelo y paisajes complejos como México no son particularmente bajos. Otros esfuerzos de mapeo como sensores remotos en áreas más homogéneas y con un sistema de clasificación más sencillo obtuvieron resultados similares (Zhu et al., 2000). Estos resultados demuestran las limitaciones de un enfoque basado exclusivamente en procesos de clasificación digital, basados a su vez en la respuesta espectral de las cubiertas.

Debido a los errores de clasificación, los mapas de cambio obtenidos por la comparación de estos mapas para diferentes fechas presentan un gran cantidad de falsos cambios, que ocultan totalmente los procesos de cambio reales. Estos datos son por lo tanto de poca utilidad para monitorear cambios, incluso al nivel de detección más general (bosque/no bosque). Alternativas de datos para llevar a cabo este estudio de monitoreo de la deforestación son los mapas de uso del suelo y vegetación de INEGI o los mapas de cambio de la cubierta forestal 2000-2012 de la Universidad de Maryland (Hansen et al., 2013). Estos mapas acaban de ser liberados para su uso. Una revisión visual rápida para México sugiere que presentan una mejor coherencia espacial que los mapas de MadMex (ver imágenes anexas al final de este documento).

Referencias

CONABIO, Automatic wall-to-wall land cover mapping for the Mexican REDD-MRV program using the Landsat data archive: the year 2000 example, 16 p.

FAO, 1996. Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes. Food and Agriculture Organization. FAO forestry paper, vol. 130, p. 152.

Hansen, M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. O. Justice, and J. R. G. Townshend. 2013. "High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change." *Science* 342 (15 November): 850–53.

Data available on-line from: <http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>

Hodge, V., Austin, J., 2004. A Survey of Outlier Detection Methodologies. *Artificial Intelligence Review* 22, 85–126.

Masek, J.G., Vermote, E.F., Saleous, N., Wolfe, R., Hall, F.G., Huemmrich, F., Gao, F., Kutler, J., Lim, T.K., 2012. LEDAPS Landsat Calibration, Reflectance, Atmospheric Correction Preprocessing Code. Model product. Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A.

Radoux, J., 2010, Automated image-to-map discrepancy detection using iterative trimming, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 76(2):173-181.

Stow, D.A., L. R. Tinney, J. E. Estes, 1980, Deriving land use/land cover change statistics from Landsat - A study of prime agricultural land, Proceeding 14th Int. Symp. Remote Sensing Environ, 2, 1227-1237.

Zhu, Z., Woodcock, C.E., 2012. Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery. Remote Sensing of Environment 118, 83–94.

Zhu, Z.; Yang, L.; Stehman, S.V.; Czaplewski, R.L. Accuracy Assessment for the U.S. Geological Survey Regional Land-Cover Mapping Program: New York and New Jersey Region. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v. 66, n.12, p. 1425:1438, 2000.

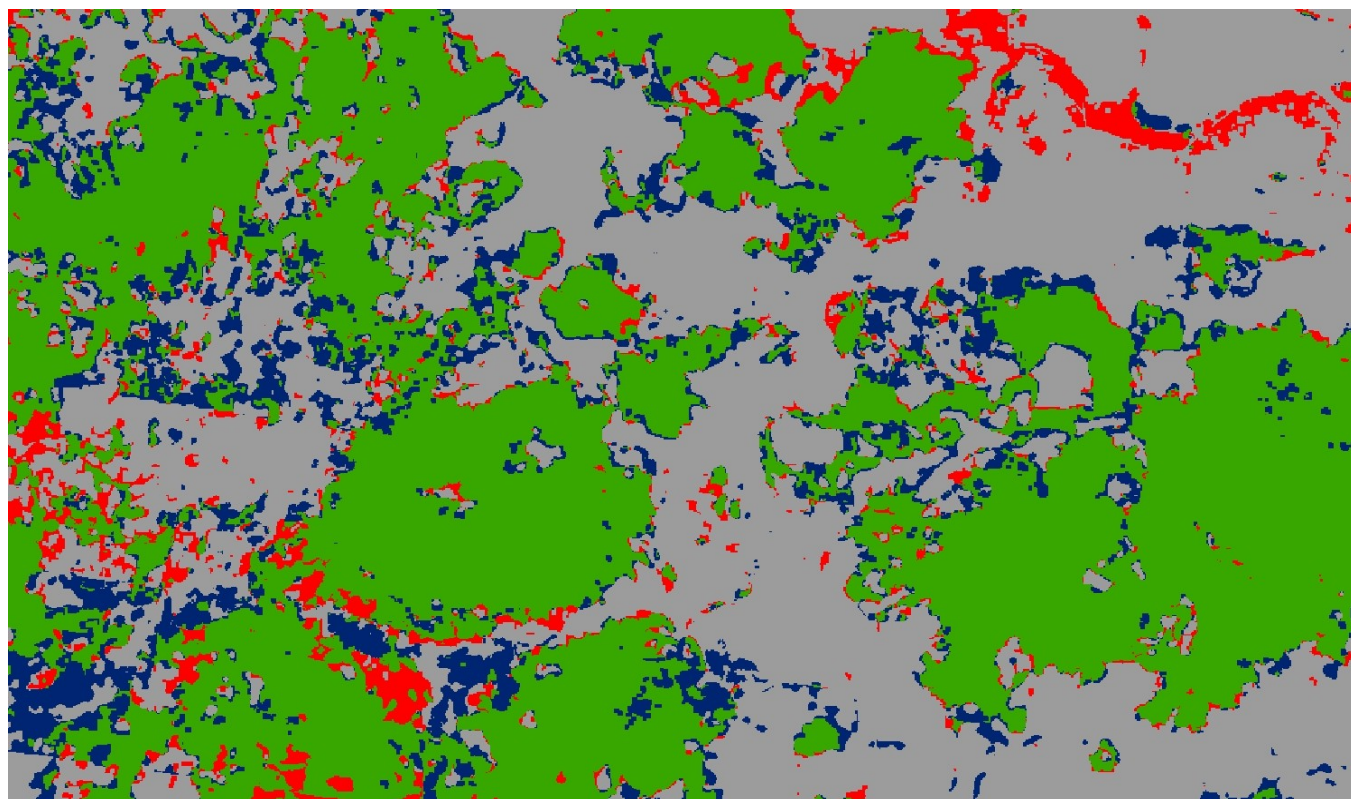
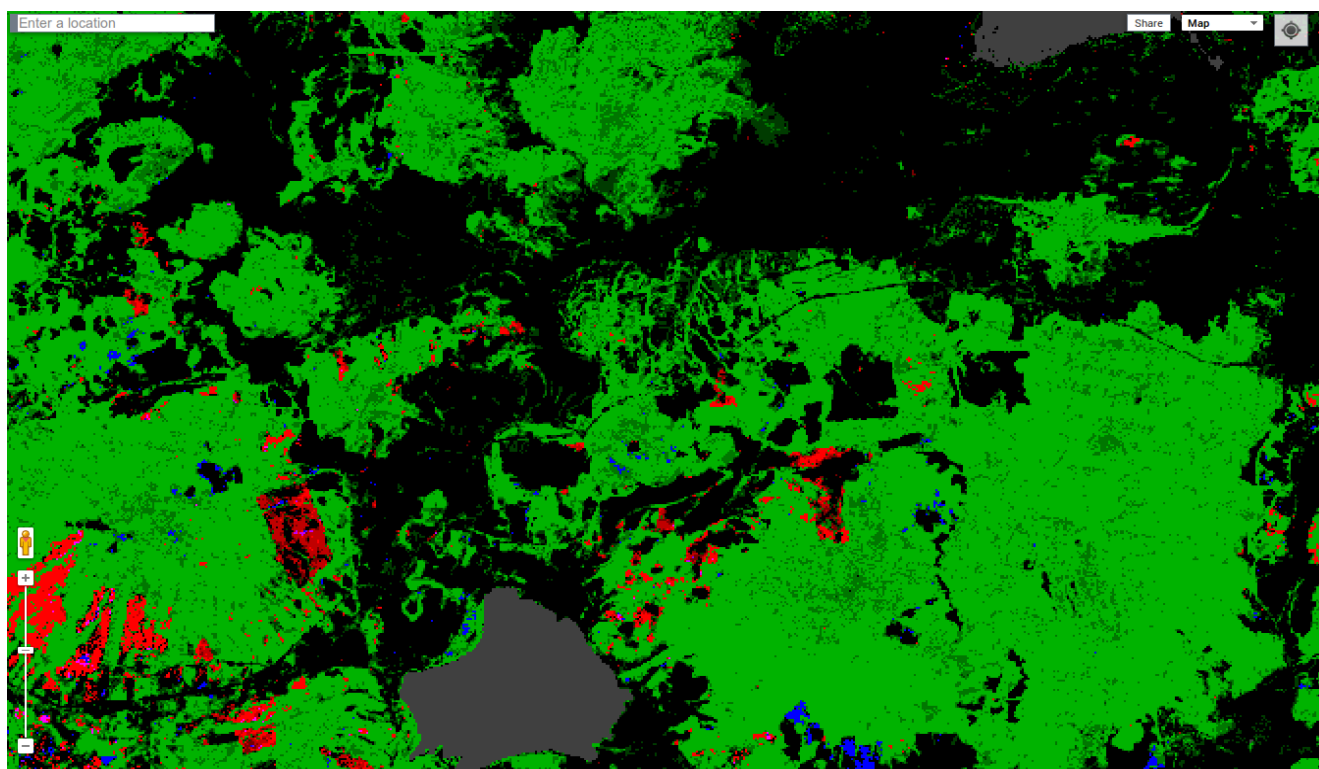


Imagen de cambio en Michoacán (arriba Hansen, abajo MadMex).

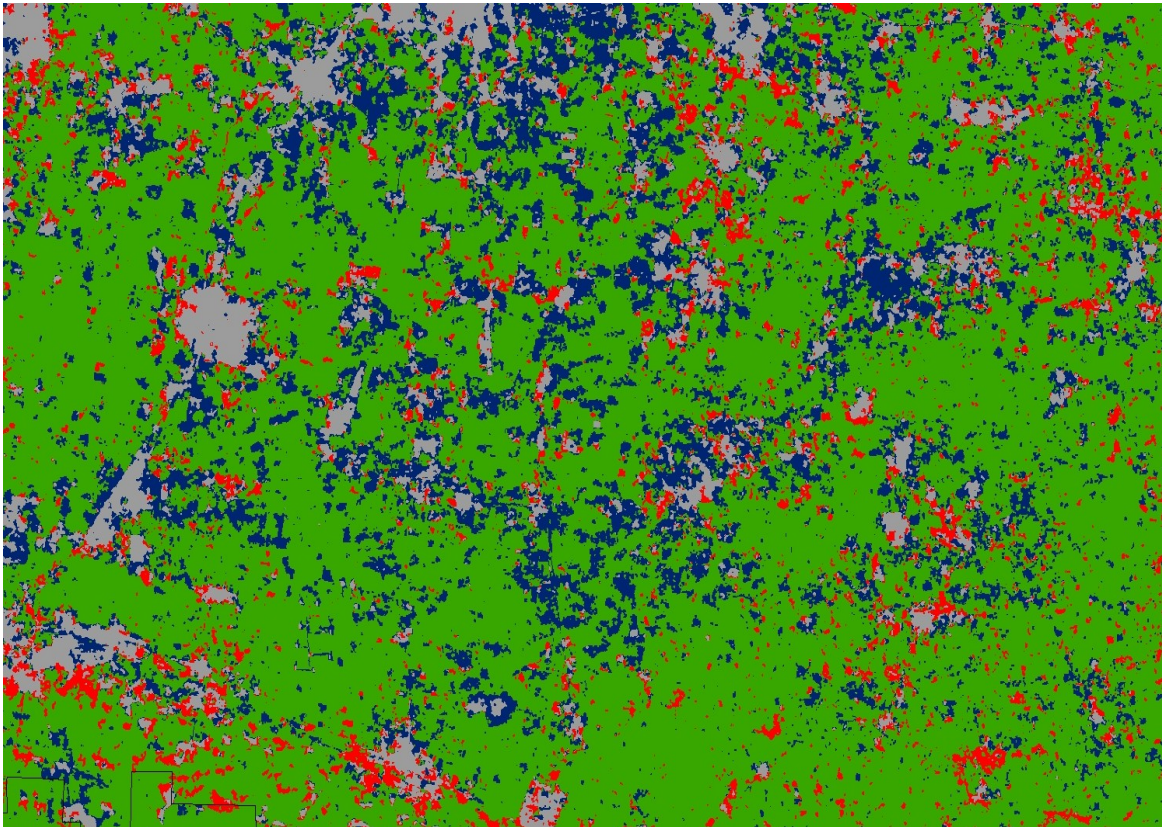
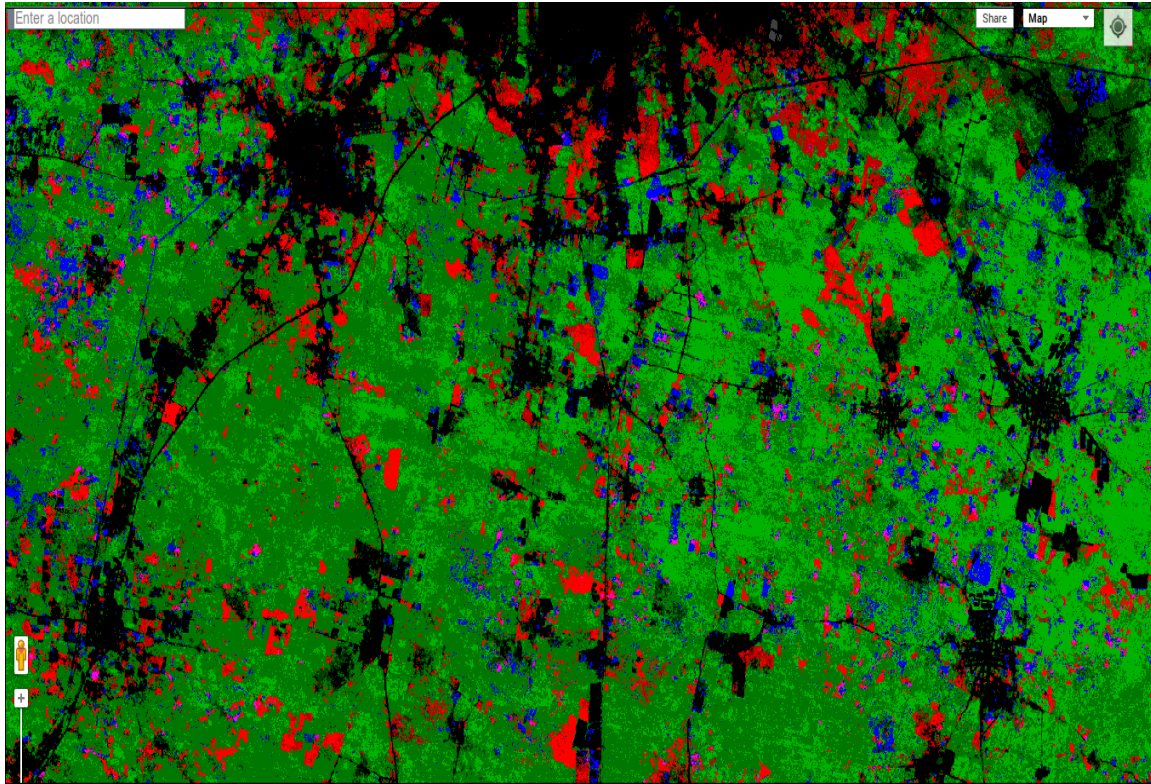


Imagen de cambio al sur de Mérida, Yuc (arriba Hansen, abajo MadMex).