



## CONSISTENCIA ENTRE LOS MAPAS GLOBALES Y LOS MAPAS REGIONALES DE LA CUBIERTA TERRESTRE EN EL ESTADO DE MICHOACAN, MÉXICO

### CONSISTENCY BETWEEN GLOBAL AND REGIONAL LAND COVER MAPS IN THE STATE OF MICHOACAN, MEXICO

Luis Valderrama Landeros<sup>1</sup>, Frédéric Baret<sup>2</sup>, María Luisa España Boquera<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Posta de Veterinaria, km 4.5 Carretera Morelia-Zinapécuaro. Morelia, Michoacán. MÉXICO.

<sup>2</sup>INRA-CSE. Agroparc, 84914, Avignon, France. Correo-e: boquera@umich.mx (\*Autor para correspondencia)

#### RESUMEN

Desde hace algunos años se han realizado intentos para elaborar mapas globales utilizando diferentes tipos de imágenes, métodos y sistemas de nomenclatura. Estos mapas son difíciles de validar y su precisión a nivel local puede ser muy variable. El objetivo del presente estudio fue contribuir a la validación de los mapas globales de la cubierta terrestre, comparando cinco de ellos para el caso particular del Estado de Michoacán, México. Se tomó como referencia el mapa de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad de México y como criterios, la consistencia y el área espacial. Tomando en cuenta las leyendas iniciales, la comparación reveló incoherencias debidas en parte a las diferencias en los sistemas de clasificación. Después de establecer una leyenda unificada con seis categorías generales, la precisión global entre los mapas varió de un 9 a un 62 %. Solo 2 % de los píxeles coinciden en 4 mapas (principalmente ciudades y agua) y 88 % coinciden en 2 ó 3 mapas. El principal problema es la distinción entre las áreas de cultivo y otro tipo de vegetación. Los mapas más recientes, basados en la nomenclatura propuesta por la FAO, muestran mayor exactitud pero aún no la suficiente para considerarlos como adecuados para detectar los principales tipos de cubierta terrestre. El uso de mapas globales de cobertura terrestre debe ser adecuadamente contextualizado en situaciones de gran diversidad.

Recibido: 14 de octubre 2010  
Aceptado: 9 de junio de 2011  
doi: 10.5154/r.rchscfa.2010.09.075  
<http://www.chapingo.mx/revistas>

**KEY WORDS:** UMD, IGBP, MODIS, GLC2000, GLOBCOVER

#### ABSTRACT

For some years attempts have been made for constructing global maps using different types of images, methods and systems of nomenclature. These maps are difficult to validate and local-level accuracy can be very variable. The aim of the present study was to contribute to the validation of global land cover maps, comparing five of them for the particular case of the state of Michoacan, Mexico. The regional land cover map produced by the National Commission for Knowledge and Use of Biodiversity of Mexico was taken as reference, and consistency and spatial area as criteria. The comparison considering the original legends revealed inconsistencies, due in part to differences in classification systems. After a merged legend with six general classes was established, the overall accuracy between maps ranged from 9 to 62 %. Only 2 % of the pixels matched in 4 maps (mainly towns and water) and 88 % agreed in 2 or 3 maps. The main problem is the discrimination between cropland areas and other kinds of vegetation. The more recent maps based on the nomenclature proposed by FAO had an increased accuracy, but not enough to consider them as appropriately detecting the main land covers. The use of global land cover maps in situations of great biodiversity must be adequately contextualized.

**PALABRAS CLAVE:** UMD, IGBP, MODIS, GLC2000, GLOBCOVER

#### INTRODUCCIÓN

En los últimos siglos, las actividades humanas han modificado la faz del planeta, incluso más rápido que desde la Revolución Industrial. El cambio climático, la desertificación, la deforestación, la pérdida de biodiversidad y, muy recientemente, la escasez de recursos alimenticios y la producción de materias primas son algunas de las consecuencias de las actividades humanas que inducen

#### INTRODUCTION

Human activities have changed the face of the planet over the past centuries, even faster so since the industrial revolution. Climate change, desertification, deforestation, loss in biodiversity and, very recently, the scarcity of food resources and raw material production are some of the consequences of human activities that reciprocally induce strong constraints on their development. In

recíprocamente fuertes limitaciones en su desarrollo. Un número de iniciativas regionales, nacionales y globales han proporcionado información sobre los cambios globales en un esfuerzo por apoyar el diseño de las políticas ambientales que ayuden a mitigar o cambiar la tendencia actual. Este esfuerzo requiere de información de alta precisión para comprender y modelar las modificaciones ambientales (Lambin & Geist, 2001). Las observaciones satelitales proporcionan una descripción frecuente y completa de la superficie terrestre que puede potencialmente mejorar la calidad, la consistencia interna y la reproducibilidad de la información sobre la cubierta terrestre global y sus cambios.

Los primeros mapas globales de la cubierta terrestre fueron desarrollados en la Universidad de Maryland (UMD), (2009) con una resolución de 1 grado (Defries & Townshend, 1994). Se obtuvieron mayores mejoras al utilizar productos derivados del conjunto de datos AVHRR, también desarrollado en la Universidad de Maryland (Hansen & Reed, 2000). Al mismo tiempo, pero utilizando un método de clasificación distinto, Loveland *et al.* (2000) dentro del Programa Internacional de la Geosfera y la Biosfera (IGBP, en inglés), diseñó el mapa global IGBP-DISCOVER. Unos años más tarde, basados en una leyenda similar a la desarrollada dentro de la clasificación de IGBP-DISCOVER, se obtuvo un nuevo conjunto de datos globales de 1 km, los cuales derivaron de las observaciones (Friedl *et al.*, 2002) el espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada, MODIS. Utilizando las observaciones del sensor VEGETATION, el proyecto GLC2000 obtuvo otro mapa de la cubierta terrestre con una resolución de 1 km (Bartholomé, Belward, & GLC2000, 2005) utilizando el sistema de clasificación de la cubierta terrestre de la FAO (LCCS) (Di Gregorio & Jansen, 2000). Más reciente, y también basándose en la nomenclatura del LCCS, se utilizaron observaciones MERIS de 300 m para producir un mapa de la tierra con mayor resolución espacial dentro del proyecto GLOBCOVER (Bicheron *et al.*, 2006; Fefourny *et al.*, 2006).

Evidentemente, existe la necesidad de evaluar y comparar estos productos globales de mediana resolución (300 m a 1 km). Hansen *et al.* (2000) comparó los mapas de la UMD utilizando mapas existentes de alta resolución obtenidos con imágenes del Landsat. IGBP-DISCOVER (Scepan, 1999), MODIS (Morissette *et al.*, 2006) y GLC2000 (Mayaux *et al.*, 2006) también fueron validados utilizando las imágenes Landsat. La validación de los productos GLOBCOVER ha sido terminada recientemente (Defourny *et al.*, 2009) siguiendo los estándares que se obtuvieron de los ejercicios previos y que han sido publicados en varios formatos (Muchoney, Strahler, Hodges, & LoCastro, 1999): un proceso de validación en el cual GOF-C-GOLD y CEOS desempeñaron papeles clave en la estandarización de los métodos.

an effort to support the design of environmental policies that help to mitigate or reverse the current trend, a number of regional, national and global initiatives have provided reports on global changes; an endeavor which requires highly precise information for understanding and modeling environmental modifications (Lambin & Geist, 2001). Satellite observations provide a comprehensive and frequent description of the earth surface that potentially can enhance the quality, internal consistency and reproducibility of information about global land cover and its change.

The first global land cover maps were developed at the University of Maryland UMD, (2009) at a resolution of 1 degree (Defries & Townshend, 1994). Major improvements were achieved using products derived from the AVHRR dataset, also developed at the University of Maryland (Hansen & Reed, 2000). At the same time, but using a different classification method, Loveland *et al.* (2000) within the International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP) were developing the IGBP-DISCOVER global land cover map. A few years later –based on a legend similar to the one developed within the IGBP-DISCOVER classification– a new set of global 1 km data was derived from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) observations (Friedl *et al.*, 2002). Using observations of the VEGETATION sensor, the GLC2000 project derived another world map of land cover at a resolution of 1km (Bartholomé, Belward, & GLC2000, 2005) using the FAO land cover classification system nomenclature (LCCS) (Di Gregorio & Jansen, 2000). More recently, also based on the LCCS nomenclature, 300 m MERIS observations were used to produce a higher spatial resolution coverage map of the earth within the GLOBCOVER project (Bicheron *et al.*, 2006; Defourny *et al.*, 2006).

Obviously, there is a need to evaluate and compare these medium resolution (300 m to 1 km) global products. Hansen *et al.* (2000) compared the UMD land cover maps using existing high resolution maps derived from Landsat images. IGBP-DISCOVER (Scepan, 1999), MODIS (Morissette *et al.*, 2006) and GLC2000 (Mayaux *et al.*, 2006) were also validated using Landsat images. The validation of GLOBCOVER products has been recently completed (Defourny *et al.*, 2009) following the standards that were derived from previous exercises and that had been published under various formats (Muchoney, Strahler, Hodges, & LoCastro, 1999): a validation process in which the GOF-C-GOLD and CEOS played key roles in the standardization of methods.

GOF-C-GOLD and CEOS have proposed guidelines for improving the validation practices (Strahler *et al.*, 2006). One of the advised ways for better validation of global land cover maps is their comparison with existing national or regional maps derived from data having high

GOFC-GOLD y CEOS han propuesto lineamientos para mejorar las prácticas de validación (Strahler *et al.*, 2006). Una de las formas recomendadas es la comparación de los mapas globales con los mapas nacionales o regionales existentes derivados de datos que tengan una alta resolución espacial. Sin embargo, la comparación entre los distintos productos disponibles que cuenten con aproximadamente la misma resolución espacial podría servir sólo para producir resultados complementarios. Tales ejercicios comparativos se han logrado entre el sub cold. IGBP-DIS-Cover y los productos de la UMD por Hansen y Reed (2000). En este sentido, las leyendas fueron agregadas a clases similares, después de lo cual se compararon las áreas totales por clase y la consistencia por pixel. Se pueden observar discrepancias significantes para la distribución espacial (por comparación de pixel) a pesar de que la consistencia del área se encontró en el nivel de las categorías agregadas. No obstante, la diversidad de las definiciones utilizada para definir las clases que impactan tanto en el área total como en la distribución espacial, como se demostró para los bosques por Herold (2006). See y Fritz (2006) y más recientemente Fritz y See (2007) compararon los mapas globales de MODIS y GLC2000 utilizando estadísticas borrosas, las cuales permitieron tomar en cuenta las diferencias conocidas en las definiciones de leyenda. Los autores elaboraron mapas globales de no coincidencia que muestran grandes puntos de discrepancia en algunas regiones, los cuales pueden ser utilizados para investigar a futuro el origen del problema y para proponer mejoras metodológicas.

Los pocos mapas disponibles para México se basan en diferentes sistemas de leyendas, los cuales en algunas ocasiones presentan dificultades para su comparación (Velázquez *et al.*, 2008); sin embargo, un mapa de la cobertura terrestre de México que pueden ser considerado como bastante confiable, fue desarrollado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 1998), el cual fue obtenido del mapa de la cobertura terrestre serie II del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). El mapa de CONABIO fue utilizado como una referencia para la comparación.

El objetivo del presente estudio fue contribuir a la evaluación de los mapas globales de la superficie terrestre en una región particular: el Estado de Michoacán de Ocampo (Michoacán), México. Esta área fue identificada por Fritz y See (2007) como un punto de discrepancias entre los productos de MODIS y GLC2000, debido posiblemente a la amplia variedad de los tipos y patrones de la cobertura terrestre relacionados a su topografía compleja. Además, el Estado de Michoacán, localizado entre la región Neotropical y la región Neártica, es uno de los 5 estados del país que cuenta con mayor biodiversidad (SEMARNAP, 1997). Se hizo hin-

her spatial resolution. However, the comparison between the various available global land cover products having approximately the same spatial resolution should only serve to produce complementary results. Such comparative exercise has been achieved between IGBP-DISCover and UMD products by Hansen and Reed (2000). To that means, the legends were aggregated into similar classes, after which comparisons were made of total areas per class and of per-pixel consistency. Although area consistency was generally found at the aggregated classes level, significant discrepancies can be seen for the spatial distribution (per-pixel comparison). However, the diversity of definitions used for defining classes impacts both the total area and the spatial distribution, as was demonstrated for forests by Herold (2006). See and Fritz (2006) and, more recently, Fritz and See (2007) compared the MODIS and GLC2000 global maps using fuzzy statistics, which allowed to account for the known differences in legend definitions. The authors produced global disagreement maps that in some regions show hotspots of large discrepancies, which may be used to further investigate the nature of the problem and to propose methodological improvements.

The few regional land cover maps available for Mexico are based on different legend systems that sometimes present difficulties for their comparison (Velázquez *et al.*, 2008); however, a land cover map of Mexico that can be considered as fairly reliable was developed by the National Commission for Knowledge and Use of Biodiversity of Mexico (CONABIO, 1998), which was derived from the series II land cover map of the National Institute of Geography and Statistics of Mexico (INEGI). The land cover map of CONABIO was used as a reference for comparison.

The aim of the present study was to contribute to the assessment of global maps of Earth's surface in a particular region: the state of Michoacan de Ocampo (Michoacan), Mexico. This area was identified by Fritz and See (2007) as a hotspot of discrepancies between GLC2000 and MODIS products –probably due to the wide range of land cover types and patterns associated to its complex topography. Furthermore, the state of Michoacan –located between the Neartic and the Neotropical regions– is one of the five Mexican states having most biodiversity (SEMARNAP, 1997). Emphasis was put on the comparison of the main available global land cover products, i.e., UMD, IGBP, MODIS, GLC2000 and GLOBCOVER, and on the CONABIO regional land cover map based on high spatial resolution data and local expertise.

---

## MATERIALS AND METHODS

### The state of Michoacan

Michoacan is one of the Mexican states having a Pacific shore, located between 17° 54' and 20° 23' northern lati-



capié en la comparación de los principales productos globales de la cubierta terrestre disponibles; es decir, UMD, IGBP, MODIS, GLC2000 y GLOBCOVER, y en el mapa regional de CONABIO basado en los datos de alta resolución y la experiencia local.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### El Estado de Michoacán

Michoacán es uno de los estados de la República Mexicana que cuenta con una costa pacífica. Se localiza entre la latitud norte 17° 54' y 20° 23' y la longitud oeste 100° 03' y 103° 44', con una superficie terrestre de 59,864 km<sup>2</sup>. La topografía del estado es muy compleja y comprende 5 grandes unidades naturales: la Faja Volcánica Transmexicana, la Sierra Madre del Sur, la Planicie Costera, la Depresión de Balsas y la Altiplanicie Mexicana. Su elevación varía de 0 hasta casi 4,000 m (Bocco, Mendoza, & Maser, 2001). Por ello, las condiciones climáticas son contrastantes; cálido subhúmedo a lo largo de la costa; cálido y semicálido subhúmedo en la parte occidental de la Sierra Madre del Sur, con condiciones semiáridas y muy calientes en las tierras bajas y las depresiones; semifrío y subhúmedo en la Faja Volcánica Transmexicana; y cálido a templado en las áreas más altas. La combinación de las altitudes y las exposiciones influye fuertemente en la distribución de la vegetación.

Los principales tipos de vegetación que se encuentran en Michoacán son (Inventario, 1995; González-Medrano, 2004):

- Bosques, donde predomina la especie de pino o de roble.
- Bosque caducifolio seco tropical bajo, donde predominan las especies de *Bursera*, *Pithecellobium*, *Lysiloma* y *Lonchocarpus*.
- Matorral subtropical, con especies de *Acacia*, *Opuntia*, *Fouquieria*, *Prosopis* y *Mimosa*.
- Agricultura, donde predomina el aguacate (*Persea americana*), el sésamo (*Sesamus indicus*), el limón (*Citrus limón*), el maíz (*Zea mays*), el sorgo (*Sorghum bicolor*), el frijol (*Phaseolus vulgaris*) y el trigo (*Triticum aestivum*).
- Pastizales, como vegetación secundaria.

### Clasificaciones de la cobertura terrestre global consideradas

Se consideraron 5 mapas con una resolución espacial de entre 300 m y 1 km. La proyección cónica conforme de Lambert utilizada por el INEGI fue seleccionada como el sistema de referencia, aplicando un cuadrículado de 1000 x 1000 m para el remues-

tude and 100° 03' and 103° 44' western longitude, with a surface of 59,864 km<sup>2</sup>. The topography of the state is very complex and comprises five large natural units: the Trans-Mexican Volcanic Belt (*Faja Volcánica Transmexicana*), the Sierra Madre del Sur, the coastal plain (*Planicie Costera*), the Balsas Depression and the Mexican Plateau (*Altiplanicie Mexicana*). The elevation varies from 0 up to almost 4,000 m (Bocco, Mendoza, & Maser, 2001). Climatic conditions are therefore contrasting: warm sub humid along the coast; warm and semi warm sub humid at the western face of the Sierra Madre del Sur with semi dry and very warm conditions in the lowlands and depressions; semi cold and sub humid in the Trans-Mexican Volcanic Belt; and warm to temperate in the highest areas. The combinations of altitudes and expositions strongly influence the distribution of vegetation.

The main types of vegetation encountered in Michoacan are (Inventario, 1995; González-Medrano, 2004):

- Forest with dominant pine or oak species.
- Low tropical dry deciduous forest with dominant species of *Bursera*, *Pithecellobium*, *Lysiloma* and *Lonchocarpus*.
- Subtropical shrubland with species of *Acacia*, *Opuntia*, *Fouquieria*, *Prosopis* and *Mimosa*.
- Agriculture, predominantly with avocado (*Persea americana*), sesame (*Sesamus indicus*), lemon (*Citrus limon*), maize (*Zea mays*), sorghum (*Sorghum bicolor*), beans (*Phaseolus vulgaris*) and wheat (*Triticum aestivum*).
- Grassland as secondary vegetation.

### Global land cover classifications considered

Five available global classification maps at a spatial resolution between 300 m and 1 km were considered. The Lambert conformal conic projection used by INEGI was selected as the reference projection system, applying a 1000 x 1000 m grid for resampling. These global land cover classifications are briefly described below.

**University of Maryland (UMd).** It is based on NOAA AVHRR data acquired during the time period from 1981 to 1994, using monthly maximum value composite of NDVI. The UMd legend agrees with the scheme proposed by IGBP-DISCOVER using 14 classes. The final product was downloaded from: <http://glcf.umiacs.umd.edu/data/landcover/>, with a geographic (Lat/Long) projection (Hansen, *et al.*, 2000).

**Global Land Cover Characterization Version 2 (IGBP of North America).** It was based on the same AVHRR data set as the UMd classification but only for the time period from April 1992 to March 1993. The IGBP land cover classification was used to define the classes. The final product was downloaded from: <http://edc2.usgs.gov/glcc/>, with a Lambert Azimuthal Equal Area projection.

tree. A continuación se describen brevemente estas clasificaciones.

**Universidad de Maryland (UMD).** Se basa en los datos NOAA AVHRR obtenidos durante el periodo de 1981 a 1994, utilizando el máximo valor compuesto mensual de NDVI. La leyenda de la UMD concuerda con el esquema propuesto por IGBP-DISCOVER que utiliza 14 categorías. El producto final se descargó de la página web: <http://glcf.umiacs.umd.edu/data/landcover/>, con una proyección geográfica (latitud/longitud) (Hansen, *et al.*, 2000).

La base de datos de la Cobertura terrestre Global Versión 2 (IGBP) para Norte America, se basa en el mismo conjunto de datos AVHRR que la clasificación de la UMD, para solo por el periodo de abril de 1992 a marzo de 1993. La clasificación del IGBP fue utilizada para definir las categorías. El producto final se descargó de la página web: <http://edc2.usgs.gov/glcc/>, con una proyección equidistante azimutal de Lambert.

**MODIS.** Fue derivado de los datos del sensor MODIS TERRA obtenidos entre enero del 2004 y diciembre del 2004. El producto Clasificación de Cobertura Terrestre MOD12Q1 utilizó 17 clases de cobertura del esquema de clasificación global de la vegetación de IGBP (Friedl, *et al.*, 2002). El producto final se descargó de la página web: <http://edcdaac.usgs.gov/modis/mod12q1v4.asp>, con una proyección Sinusoidal.

**GLC2000,** derivó del sensor VEGETATION con 1 km de muestreo espacial para el periodo de noviembre de 1999 a diciembre del 2000. El año 2000 fue considerado como una referencia para la evaluación ambiental, por la Convención Internacional de las Naciones Unidas relacionada con el ecosistema (Latifovic, Zhu, Cihlar, Beaubien, & Fraser, 2000). La clasificación resultó de la compilación de mapas regionales de clasificación de mapas regionales, que fueron armonizados utilizando 29 clases basadas en la nomenclatura LCCS de la FAO. El producto final se descargó de la página web: <http://www-gvm.jrc.it/glc2000/>, con un sistema de proyección geográfica (latitud/longitud).

**GLOBCOVER.** Se utilizó la resolución espacial (300m) de MERIS para el periodo de diciembre del 2004 a enero del 2006. El mundo fue dividido en 22 ecorregiones con normas específicas, y para cada una de ellas se establecieron algoritmos de clasificación automática a partir de conocimiento experto que derivan del conocimiento especializado, estas normas fueron utilizadas para una clasificación automática. La leyenda se basó en la nomenclatura de LCCS con 25 categorías. El producto final se descargó de la página web: <http://postel.mediasfrance.org/fr/PROJECTS/PRE-operationnels-GMES/GLOBCOVER/>, en formato vectorial, cónica conforme la proyección geográfica (latitud/longitud).

**MODIS.** It was derived from MODIS TERRA sensor data captured between January 2004 and December 2004. The MOD12Q1 Land Cover Classification product used 17 classes of land cover in the IGBP global vegetation classification scheme (Friedl, *et al.*, 2002). The final product was downloaded from: <http://edcdaac.usgs.gov/modis/mod12q1v4.asp>, with a Sinusoidal projection.

**GLC2000.** It was derived from the VEGETATION sensor with 1 km spatial sampling for the time period from November 1999 to December 2000. The year 2000 was considered as a reference for environmental assessment by the United Nation's Ecosystem-related International Conventions (Latifovic, Zhu, Cihlar, Beaubien, & Fraser, 2000). The classification resulted from the compilation of regional classification maps that were harmonized using 29 classes based on FAO's LCCS nomenclature. The final product was downloaded from: <http://www-gvm.jrc.it/glc2000/> with a geographic (Lat/Long) projection system.

**GLOBCOVER.** MERIS full spatial resolution (300 m) was used for the time period from December 2004 to January 2006. The globe was decomposed into 22 eco-regions for which specific rules derived from expert knowledge were used for automatic classification. The legend was based on the LCCS nomenclature with 25 classes. The final product was downloaded from: <http://postel.mediasfrance.org/fr/PROJECTS/Pre-operationnels-GMES/GLOBCOVER/>, with geographic (Lat/Long) projection system.

#### The CONABIO regional land cover classification map

The CONABIO map in vector format at a 1:1,000 000 scale with a Lambert conformal conic projection is available for download from: <http://www.biodiversidad.gob.mx/region/geoinformacion.html>. In addition, different sources of data covering the 1990 to 1996 time period including Landsat images, aerial photographs and field information were also used. The classification was mainly based on photo interpretation techniques and the legend system was highly detailed (Miranda and Hernández, 1963; Rzedowski, 1978). A simplification of CONABIO's legend was thus proposed to increase the consistency with the five global classification legends considered. Merging the original CONABIO classes was driven by prior knowledge on the seasonal characteristics associated to vegetation types (Table 1). Therefore, in the present study only the resulting simplified (L1) land cover map was used.

#### Metrics used

The metrics proposed for the comparison of land cover classification maps were derived from the GOF-C-GOLD (Strahler, *et al.*, 2006) guidelines for best practices in validation processes, which are mainly based on evaluation of area and spatial consistency. In addition, an agreement map was also investigated to locate places of agreement/disagreement among the classifications.

## La clasificación del mapa regional de la cobertura terrestre de CONABIO

El mapa de CONABIO con formato vectorial a una escala de 1:1,000 000 con proyección cónica conformal de Lambert está disponible para ser descargado de la página web: <http://www.biodiversidad.gob.mx/region/geoinformacion.html>. Además, se utilizaron diferentes fuentes de datos que abarcan el periodo de 1990 a 1996, incluyendo imágenes Landsat, así como fotos aéreas e información de campo. El sistema de leyenda fue altamente detallado y la clasificación se basó principalmente en las técnicas de interpretación fotográfica (Miranda y Hernández, 1963; Rzedowski, 1978). Se propuso una simplificación de la leyenda de CONABIO para aumentar la consistencia con las 5 leyendas globales de clasificación consideradas. La fusión de las categorías iniciales de CONABIO fue impulsada por el conocimiento previo sobre las características de la temporada relacionadas con los tipos de vegetación (Cuadro 1). Por ello, en el presente estudio sólo se utilizó el mapa simplificado resultante.

### Métricas utilizadas

Las métricas propuestas para la comparación de la clasificación de los mapas de la cobertura terrestre se obtuvieron de los lineamientos de GOF-C-GOLD para mejores prácticas en los procesos de validación, que se basan principalmente en la evaluación del área y la consistencia espacial. Además, también se investigó un mapa de coincidencias para localizar lugares que coinciden o no, entre las clasificaciones.

**Consistencia del área.** El primer criterio para comparar clasificaciones con leyendas similares se basa en la extensión del área de cada clase, sin importar la distribución espacial. Esto se logra después de transformar las leyendas iniciales en una leyenda unificada.

**Consistencia espacial.** Se utilizó una matriz de confusión (tabla de contingencia) para evaluar la consistencia espacial para clasificaciones duras (Rossiter, 1994). Se utilizan generalmente tres parámetros importantes, derivados de la matriz de confusión, para evaluar la consistencia espacial entre dos mapas, según lo indicado por Strahler *et al.* (2006) y más tarde por Liu *et al.* (2008). La precisión global ( $O_a$ ) es el porcentaje de píxeles que comparte la misma leyenda. Se utilizaron dos parámetros adicionales para evaluar la realización de las clasificaciones para las categorías individuales (Congalton, 1991). Para una categoría determinada, la precisión del productor ( $P_a$ ) es el porcentaje de píxeles de referencia clasificados prósperamente.  $P_a$  se relaciona con el error de omisión, es decir, el porcentaje de píxeles excluidos de forma incorrecta de una clase particular. Por el contrario, la precisión del usuario ( $U_a$ ) es el porcentaje de píxeles, de la categoría considerada en el mapa, que están bien clasificados de acuerdo al mapa de referencia.  $U_a$  se re-

**CUADRO 1.** Leyendas original (L0) y unificada (L1) de CONABIO. Los números asignados a las leyendas unificadas L1 (#) fueron seleccionados de acuerdo con los de otras clasificaciones.

**TABLE 1.** CONABIO original (L0) and merged (L1) legends. The numbers assigned to the L1 merged legends (#) were selected to agree with those of other classifications.

#	CONABIO L0	CONABIO L1
1	Oak forest	Evergreen broadleaf forest
	Mesophyll mountain forest	
	Forest gallery	
2	Deciduous and semi deciduous low tropical forest	Deciduous broadleaf forest
4	Coniferous forest other than pine	Evergreen needle forest
	Pine forest	
6	Evergreen and semi evergreen thorny seasonal low forest	Mixed Forest
	Semi evergreen and deciduous seasonal forest	
7	Tamaulipeco thorny and sub tropic shrubland	Shrubland
	Sarcocrascaule shrubland	
9	Grassland	Grassland
	Flooded grassland	
	Halophyte and gipsofile vegetation	
11	Forestry (plantation) and farming land use	Croplands
12	Principal cities	Urban
14	Water bodies	Water
21	Prosopis spp. and Acacia spp. Shrublands	Woodland
	Palmer	
	Savanna	
27	Bare soil	Bare soil
32	Mangrove	Closed (>40 %) broadleaved semi-deciduous and/or evergreen forest regularly flooded, saline water

**Area consistency.** The first criterion to compare classifications with similar legends is based on the area extent of each class, regardless of the spatial distribution. This is achieved after transforming the original legends into a merged legend.

**Spatial consistency.** A confusion matrix (contingency table) was used to evaluate the spatial consistency for hard classifications (Rossiter, 1994). As advised by Strahler *et al.* (2006) and later by Liu *et al.* (2008) three main metrics derived from the confusion matrix are generally used to evaluate the spatial consistency between



laciona con el error de comisión; es decir, cuando un pixel está comprometido a una clase incorrecta.

**Mapa de coincidencia.** Con base en la leyenda unificada, se generó un mapa de coincidencias asignando a cada pixel un valor igual al número de mapas que coinciden en la misma clase (McCallum, Obersteiner, Nilsson, & Shvidenko, 2006). El índice de coincidencias varía entre 0 (cuando ninguno de los mapas globales coincide) y 5 (cuando los 5 mapas globales concuerdan).

### Metodología de la comparación

Se realizó una primera comparación de acuerdo a las leyendas iniciales de los mapas estudiados. En una segunda fase, primero se propuso una leyenda unificada capaz de reunir y reemplazar las leyendas iniciales, de lo cual se obtiene un mapa equivalente con una leyenda fusionada para cada uno de los mapas estudiados. Finalmente, se repite la comparación con los nuevos mapas generados.

La leyenda unificada propuesta se basa en el enfoque semántico utilizado por Herold *et al.* (2008). Para los mapas basados en LCCS, esto se facilitó por el carácter jerárquico de la clasificación. El proceso de agregación fue perfeccionado eventualmente para las escasas categorías marginales y para las situaciones en las cuales la asignación semántica no fue clara o conducía a errores evidentes considerando su ubicación. El proceso de simplificación semántica es complejo y tedioso y puede dar lugar a varias soluciones posibles, según la interpretación semántica o los criterios espaciales utilizados. Sin embargo, la leyenda unificada propuesta permitió una comparación más rigurosa y cuantitativa.

---

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Comparación basada en las leyendas iniciales

El número inicial de las categorías utilizadas para Michoacán varía entre 12 (CONABIO L1, UMD) y 17 (GLOBCOVER). De la recopilación de las leyendas a partir de las clasificaciones iniciales se obtuvieron 33 categorías distintas (Cuadro 2). De éstas, solo 8 categorías fueron comunes, incluyendo a los 4 principales tipos de bosque cerrado, "matorral siempre verde de hoja ancha", "pastizal", "tierras de cultivo", "área urbana", "masas de agua," las cuales representaban de un 27.8 % (UMD) hasta un 85.2 % (IGBP) del área total del estado. Por el contrario, 17 categorías fueron específicas a una sola clasificación de la cubierta terrestre, algunas de ellas correspondieron a una gran parte del área, como la "sabana leñosa" en el caso de MODIS (48.6%). Se observó que algunas categorías representadas marginalmente parecen ser erráticas, tal como las categorías de IGBP la "tundra arbolada" (0.07 %) y la "tundra mixta" (0.01 %), que eran inesperadas en esta área de clima templado a tropical.

two maps. The overall accuracy (Oa) is computed as the percentage of pixels sharing the same legend. The two additional metrics are used to evaluate classification performances for individual classes (Congalton, 1991). For a given class, the producer accuracy (Pa) is the percentage of reference pixels successfully classified. Pa is linked to the omission error, i.e., the percentage of pixels incorrectly excluded from a particular class. Conversely, the user accuracy (Ua) is the percentage of pixels of the considered class in the map that are well classified according to the reference map. Ua is linked to the commission error, i.e., when a pixel is committed to an incorrect class.

**Agreement map.** Based on a merged legend, a map was generated where each pixel was assigned a value equal to the number of maps agreeing in the same class (McCallum *et al.*, 2006). The index of agreement ranges from 0—where none of the global maps agree—to 5 when the 5 global maps are in agreement.

### Comparison methodology

A first comparison is performed according to the original legends of the studied maps. In a second stage, first a merged legend is proposed that is capable of collecting and replacing the original legends, after which an equivalent map with the merged legend is obtained for each of the studied maps. Finally, the comparison is repeated with the newly generated maps.

The herein proposed merged legend is based on the semantic approach used by Herold *et al.* (2008). For LCCS based maps this was facilitated by the hierarchical character of the classification. The aggregation process was eventually refined for scarce marginal classes and for cases in which semantic assignment was not clear or it led to obvious errors considering their location. The semantic simplification process is complex and tedious and might lead to several possible solutions, depending on semantic interpretation and on the weight assigned to the semantic or spatial criteria used. However, the proposed merged legend allowed for a more rigorous and quantitative comparison.

---

## RESULTS AND DISCUSSION

### Comparison based on the original legends

The original number of classes used for Michoacán ranged from 12 (CONABIO L1, UMD) to 17 (GLOBCOVER). Compilation of legends from the original land cover classification resulted in 33 distinct classes (**Table 2**). Among them, only 8 classes were common, including the four main types of closed forest, the "Broadleaved evergreen shrubland," "Grassland," "Cropland," "Urban" and "Water Bodies," which represented from 27.8 % (UMD), up to 85.2 % (IGBP) of the total state's area. Conversely, 17

Las tres categorías dominantes en cada clasificación representan entre 75.5 % (UMD) y el 86.1 % (GLC2000) del área total del estado. Inspecciones más cercanas revelan que las leyendas de las 3 categorías dominantes difieren considerablemente entre las seis clasificaciones. Además, incluso si dos clasificaciones comparten la misma leyenda, el área correspondiente puede ser muy distinta. Las categorías dominantes en el mapa de referencia de CONABIO son: “bosque latifoliado”, “bosque de hoja aciculada”, “bosque mixto” y “tierra de cultivo”, siendo este último el dominante. En los tres mapas globales basados en la leyenda de IGBP (UMD, IGBP y MODIS), los tipos de vegetación dominantes son las arboledas dispersas o los matorrales. Las categorías dominantes en el mapa de la UMD son los “bosques” y los “pastizales arbolados” y en el mapa de IGBP son: los “matorrales latifoliados”, los “bosques mixtos” y “las tierras de cultivo,” mientras que en el mapa de MODIS más de la mitad del territorio está clasificado como “sabana”. Esto parece significar que, de acuerdo con el criterio de la clasificación de los proyectos antes mencionados, las áreas arboladas del Estado de Michoacán no están incluidas dentro de la categoría de “bosques”, ya que estas áreas no son parecidas a las áreas arboladas más homogéneas y densas en otras partes del planeta. En el mapa de GLC2000 se presentaron más áreas de “bosque de hoja aciculada” (bosque de pino) y “bosque mixto” y menos áreas de “bosque latifoliado” y ligeramente más áreas de “tierras de cultivo”, con respecto al mapa de CONABIO. Sin embargo, a pesar de basarse en la misma leyenda, el mapa de GLOBCOVER considera que más de la mitad del territorio de Michoacán está cubierto por “bosque latifoliado” y que cuenta con una superficie ligeramente más pequeña cubierta por “bosque de hoja aciculada” y un pequeño porcentaje de “tierras de cultivo”, en relación con el mapa de CONABIO; una discrepancia que podría ser explicada en parte por la inclusión de huertos dentro de los bosques latifoliados. En general, las discrepancias anteriormente mencionadas se deben al mosaico complejo y a la mezcla de patrones entre estos tipos de vegetación, así como de la enorme variabilidad de la dinámica estacional observada en estas categorías.

### Comparación basada en una leyenda fusionada

El proceso de agregación generó seis clases unificadas principales comunes a las seis clasificaciones: “bosque latifoliado” (BLF), “bosque de hoja aciculada” (NLF), “tierra de cultivo” (CL), “pastizal y matorral” (GL&SL), “área urbana” (UR) y “masas de agua” (WB) (Cuadro 3, celdas gris oscuro). Se realizó la asignación por criterios estrictamente semánticos, es decir, solo las categorías explícitamente etiquetadas como bosques en la leyenda inicial fueron incluidas en una de las dos categorías de bosques en la leyenda fusionada (BLF y NLF). Como

classes were specific to only one land cover classification, some of them corresponding to a large fraction of the area, such as “woody savannas” in the case of MODIS (48.6 %). It was noticed that some marginally represented classes seemed to be erratic, such as the “wooded tundra” (0.07 %) and “mixed tundra” (0.01 %) classes of IGBP, which were unexpected in this temperate to tropical area.

The three dominant classes in each classification represented between 75.5 % (UMd) and 86.1 % (GLC2000) of the total state’s area. Closer inspection reveals that the legends of the three dominant classes differ considerably among the six classifications. Moreover, even if the same legend is shared between two classifications, the corresponding area can be very different. The dominant classes in the CONABIO reference map are: “Broadleaf forest,” “Needleleaf forest,” “Mixed forest” and “Cropland,” the latter being dominant. In the three global maps based on the IGBP legend (Umd, IGBP and MODIS), the dominant vegetation types are sparse tree layer vegetation or shrubland. The dominant classes in the UMD map are “Woodlands” and “Wooded Grasslands;” in the IGBP map, “Broadleaf shrubland,” “Mixed forests” and “Croplands;” while in the MODIS map over half of the territory is classified as “Savanna.” This appears to mean that –according to the classification criteria of the above-mentioned projects– the wooded areas of the state of Michoacan are not included in the “Forest” class because these areas are not similar to the more homogeneous and dense wooded areas in other parts of the planet. More areas of “Needleleaf forest” (pine forest) and “Mixed forest,” less areas of “Broadleaf forest” and slightly more areas of “Cropland” are present in the GLC2000 map relative to the same in the map of CONABIO. However –despite being based on the same legend– the GLOBCOVER map considers over half of the territory of Michoacan as covered by “Broadleaf forest” and as having a slightly smaller surface of “Needleleaf forest” and a small percentage of “Cropland” relative to the CONABIO map; a disagreement that could be in part explained by the inclusion of orchards within broadleaf forests. In general, the above-mentioned discrepancies are due to the complex mosaic and mixing patterns between these types of vegetation, as well as to the great variability of the seasonal dynamics observed in these classes.

### Comparison based on a merged legend

The aggregation process resulted in six major “merged” classes common to the six classifications: “Broadleaf forest” (BLF), “Needleleaf forest” (NLF), “Cropland” (CL), “Grassland and Shrubland” (GL&SL), “Urban” (UR) and “Water Bodies” (WB) (Table 3, dark gray cells). Assignment was made by strictly semantic criteria, i.e., only classes explicitly labeled as forest in the original legend were included in one of the two forest classes in the merged legend (BLF and NLF). As a consequence, the



**CUADRO 2. Distribución del área de los 6 mapas de clasificación investigados (%). Celdas vacías corresponden a leyendas específicas no representadas en la clasificación considerada. B. Latifoliado, D. Caduco, E. Perenne, F. Bosque, G. Pastizal, N. Hoja aciculada, S. Matorral.**

**TABLE 2. Area distribution of the 6 classification maps investigated (%). Empty cells correspond to specific legends not represented in the considered classification. B. Broadleaved, D. Deciduous, E. Evergreen, F. Forest, G. Grassland, N. Needleleaf, S. Shrubland.**

#	Class name	Land Cover Maps					
		UMId	IGBP	MODIS	GLC2000	GLOBCOVER	CONABIO
1	Tropical or Sub-tropical B. E. F. - Closed Canopy	6.3	0.3	5.7	0.3	0.8	8.5
2	Tropical or Sub-tropical B. D. F. - Closed Canopy	2.7	3.2	5.8	3.3	<b>57</b>	<b>26</b>
3	Temperate or Sub-polar B. D. F. - Closed Canopy				7.2		
4	Temperate or Sub-polar N. E. F. - Closed Canopy	3.3	6.1	1.4	<b>29.5</b>	<b>14</b>	<b>19</b>
5	Temperate or Sub-polar N. E. F. - Open Canopy				0.4		
6	Temperate or Sub-polar Mixed B. or N. F.- Closed Canopy	1.3	<b>26</b>	<b>14</b>	<b>13</b>	5.6	2.4
7	Temperate or Sub-polar B. E. S. - Closed Canopy	2.2	<b>46</b>	0.4	0	1.5	3.9
8	Temperate or Sub-polar N. E. S. - Open Canopy	0		0.8	0.3		
9	Temperate or Subpolar G.	<b>10</b>	2.4	4.1	0.9	0.3	0.3
10	Temperate or Sub-polar G. with a Sparse Tree Layer		0.1		0		
11	Cropland	6.8	<b>10</b>	0.7	<b>43.6</b>	3	<b>39</b>
12	Urban and Built-up	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1
13	Consolidated Rock Sparse Vegetation				0.8		
14	Water bodies	1.8	0.6	2.2	0.6	0.8	1.2
15	Herbaceous Wetlands				0.01		
16	Wooded Tundra		0.1				
17	Mixed Tundra		0				
18	Dryland Cropland and Pasture		1.2				
19	Savanna		2.1	<b>14</b>			
20	Irrigated Cropland and Pasture		1.2				
21	Woodland	<b>24</b>					0.1
22	Wooded Grassland	<b>42</b>					
23	Deciduous needleleaf forest			0			
24	Woody savanna			<b>49</b>			
25	Permanent wetlands			0.4			
26	Cropland/natural vegetation mosaic			0		2.3	
27	Barren or sparsely vegetated			2.4		0.1	0.1
28	Mosaic vegetation (G./S./F.) (50-70 %) / cropland (20-50 %)					3.8	
29	Mosaic F. or S. (50-70 %) and G. (20-50 %)					<b>9.9</b>	
30	Mosaic G. (50-70 %) and F. or S. (20-50 %)					0.4	
31	Closed (>40 %) G.					0	
32	Closed (>40 %) B. semi-D. and/or E. F. regularly flooded.					0	
33	Consolidated bare areas						0
% total area of the three dominant classes		<b>76</b>	<b>83</b>	<b>76</b>	<b>86.1</b>	<b>81</b>	<b>83</b>
% Total area		100	100	100	100	100	100

consecuencia, la categoría GL&SL contiene todos los tipos de arboledas dispersas y matorrales tales como la “sabana” y los “pastizales leñosos.” El proceso de agregación fue eventualmente refinado para las clases marginales representadas escasamente y para los casos en los que la asignación semántica no fue clara o condujo a errores evidentes, tomando en cuenta su ubicación (Cuadro 3, celdas gris oscuro), tales como, por ejemplo, los incluidos en la clase unificada “tierra de cultivo”, de las clases “matorral templado o subpolar de hoja aciculada perenne de dosel abierto” (clase unificada #8 en el Cuadro 3), del “matorral templado o subpolar con un nivel arbóreo disperso” (#10), “bosque caducifolio de hoja aciculada” (#23) y “humedales permanentes” (#26). La comparación del Cuadro 4 y la Figura 1 muestra una buena consistencia en la medida de las dos clasificaciones marginales “área urbana” y “cuerpos de agua”, que confirman las observaciones previas (Fritz & See, 2007). No obstante, en las otras cuatro clasificaciones fusionadas se observaron grandes discrepancias. Los mapas de UMD, IGBP y MODIS reportaron grandes fracciones de “pastizal y matorral” y pequeñas fracciones de “bosque latifoliado,” que es una consecuencia de la asignación semántica de los tipos de cobertura incluidos en la clase “pastizal y matorral.” El mapa de UMD muestra poco bosque de hoja aciculada, que está sobrerrepresentado en el mapa de IGBP. Las áreas de tierras de cultivo son mínimas en los mapas UMD y MODIS, mientras que están totalmente mal ubicadas en el mapa de IGBP. El mapa de GLC2000 y CONABIO reportaron áreas más grandes de “tierras de cultivo” que la otra clasificación aquí comparada, pero la distribución espacial de la clase en los dos mapas originales es distinta, debido tanto a que el mapa GLC2000 identifica como tierras de cultivo grandes áreas que en el mapa de referencia aparecen como bosque latifoliado, porque los cultivos del norte del estado aparecen como “bosques latifoliados”. Como se hizo con la leyenda inicial, el mapa GLOBECOVER asignó más del 50 % del área del estado mejora el “bosque latifoliado,” mientras que las “tierras de cultivo” está escasamente representada debido a que las huertas de aguacate y otros árboles frutales están incluidos en los “los bosques latifoliados.” Sin embargo, los bosques de hoja aciculada parecen ser representados adecuadamente.

La exactitud total claramente muestra dos grupos distintos (Cuadro 5): el primero, incluyendo los mapas de cobertura de UMD, IGBP y MODIS, todos con leyendas similares a las de IGBP; el segundo grupo contiene los mapas de GLC2000 y GLOBECOVER, ambos derivaron del sistema de leyendas de LCCS. El primer grupo tiene los valores más altos de exactitud total alcanzados entre los mapas comparados (UMD y MODIS).

Por el contrario, cuando comparamos el mapa global con el mapa regional de CONABIO, el primer grupo

class GL&SL aggregated together all types of sparse tree layer vegetation and shrubland such as “Savanna” and “Woody grasslands.” The aggregation process was eventually refined for scarcely represented, marginal classes and for cases in which semantic assignment was not clear or it led to obvious errors considering their location (Table 3, light gray cells), such as, for example, the inclusion in the “Cropland” merged class of the “Temperate or Sub-polar N. E. S. - Open Canopy” (merged class #8 in Table 3), “Temperate or Sub-polar G. with a Sparse Tree Layer” (#10), “Deciduous needleleaf forest” (#23) and “Permanent wetlands” (#26) classes (Table 3).

The comparison of Table 4 and Figure 1 shows a good consistency in the extent of the two marginal classes “Urban” and “Water Bodies,” which confirmed previous observations (Fritz & See, 2007). However, large discrepancies were observed in the other four merged classes. The UMD, IGBP and MODIS maps reported large fractions of “Grassland and Shrubland” and low fractions of “Broadleaf Forests,” which is a consequence of the semantic assignment of cover types included in the “Grassland and Shrubland” class. The UMD map shows few needleleaf forests, which are overrepresented in the IGBP map. The croplands areas are minimal in the UMD and MODIS maps, while being totally misplaced in the IGBP map. The GLC2000 and CONABIO maps report larger areas of “Cropland” than the other herein compared classifications, but the spatial distribution of the class in the former two maps is different, both because the GLC2000 map identifies large areas of broadleaf forest in the reference map as croplands, and because the croplands in the north of the state are classified as “Broadleaf forest.” As it did with the original legend, The GLOBECOVER map assigns over 50 % of the state’s area as “Broadleaf forest,” while the “Cropland” area is scarcely represented because orchards of avocado and other fruit trees are included in “Broadleaf forest.” However, the needle leaf forest appears to be adequately represented.

The overall accuracy clearly shows two different groups (Table 5): the first one including the UMD, IGBP and MODIS coverage maps, all using legends similar to that of IGBP; the second group containing the GLC2000 and GLOBECOVER cover maps, both derived from the LCCS legend system. The former group has the highest value of overall accuracy reached between compared maps (UMD and MODIS).

In contrast, when comparing the global land cover maps with the regional land cover map of CONABIO, the first group showed a poor performance, while the second reached the highest values of accuracy in general. However, the best value ( $O_a = 45.6\%$ ) observed for GLOBECOVER is much lower than the global validation score of the GLOBECOVER map ( $O_a = 75\%$ ), calculated

**CUADRO 3. Correspondencia entre las leyendas originales y las leyendas unificadas propuestas. Las celdas gris oscuro corresponden a los criterios semánticos de asignación de la semántica; celdas gris claro corresponden a los criterios espaciales de asignación. B. Latifoliado, D. Caduco, E. Perenne, F. Bosque, G. Pastizal, N. Hoja aciculada , S. Matorral.**

**TABLE 3. Correspondence between the original and the proposed merged legends. Dark grey cells correspond to semantic assignment criteria; light grey cells correspond to spatial assignment criteria. B. Broadleaved, D. Deciduous, E. Evergreen, F. Forest, G. Grassland, N. Needleleaf, S. Shrubland.**

Original Legends		Unified Legends					
		1	2	3	4	5	6
Broadleaf Forest							
1	Tropical or Sub-tropical B. E. F. - Closed Canopy	Dark Grey					
2	Tropical or Sub-tropical B. D. F. - Closed Canopy	Dark Grey					
3	Temperate or Sub-polar B. D. F. - Closed Canopy	Dark Grey					
4	Temperate or Sub-polar N. E. F. - Closed Canopy		Dark Grey				
5	Temperate or Sub-polar N. E. F. - Open Canopy		Dark Grey				
6	Temperate or Sub-polar Mixed B. or N. F.- Closed Canopy		Dark Grey				
7	Temperate or Sub-polar B. E. S. - Closed Canopy				Dark Grey		
8	Temperate or Sub-polar N. E. S. - Open Canopy			Light Grey			
9	Temperate or Subpolar G.				Dark Grey		
10	Temperate or Sub-polar G. with a Sparse Tree Layer			Light Grey			
11	Cropland			Dark Grey			
12	Urban and Built-up					Dark Grey	
13	Consolidated Rock Sparse Vegetation						Light Grey
14	Water Bodies						Dark Grey
15	Herbaceous Wetlands						Light Grey
16	Wooded Tundra						Light Grey
17	Mixed Tundra						Light Grey
18	Dryland Cropland and Pasture					Dark Grey	
19	Savanna					Dark Grey	
20	Irrigated Cropland and Pasture					Dark Grey	
21	Woodland					Dark Grey	
22	Wooded Grassland					Dark Grey	
23	Decidius needleleaf forest			Light Grey			
24	Woody savanna				Dark Grey		
25	Permanent wetlands			Light Grey			
26	Cropland/natural vegetation mosaic			Dark Grey			
27	Barren or sparsely vegetated			Light Grey			
28	Mosaic (G./S./F.) (50-70 %) / cropland (20-50 %)				Dark Grey		
29	Mosaic F. or S. (50-70 %) and G. (20-50 %)				Dark Grey		
30	Mosaic G. (50-70 %) and F. or S. (20-50 %)				Dark Grey		
31	Closed (>40 %) G.			Light Grey			
32	Closed (>40 %) B. semi-D. and/or E. F. regularly flooded.	Dark Grey					
33	Consolidated bare areas			Light Grey			



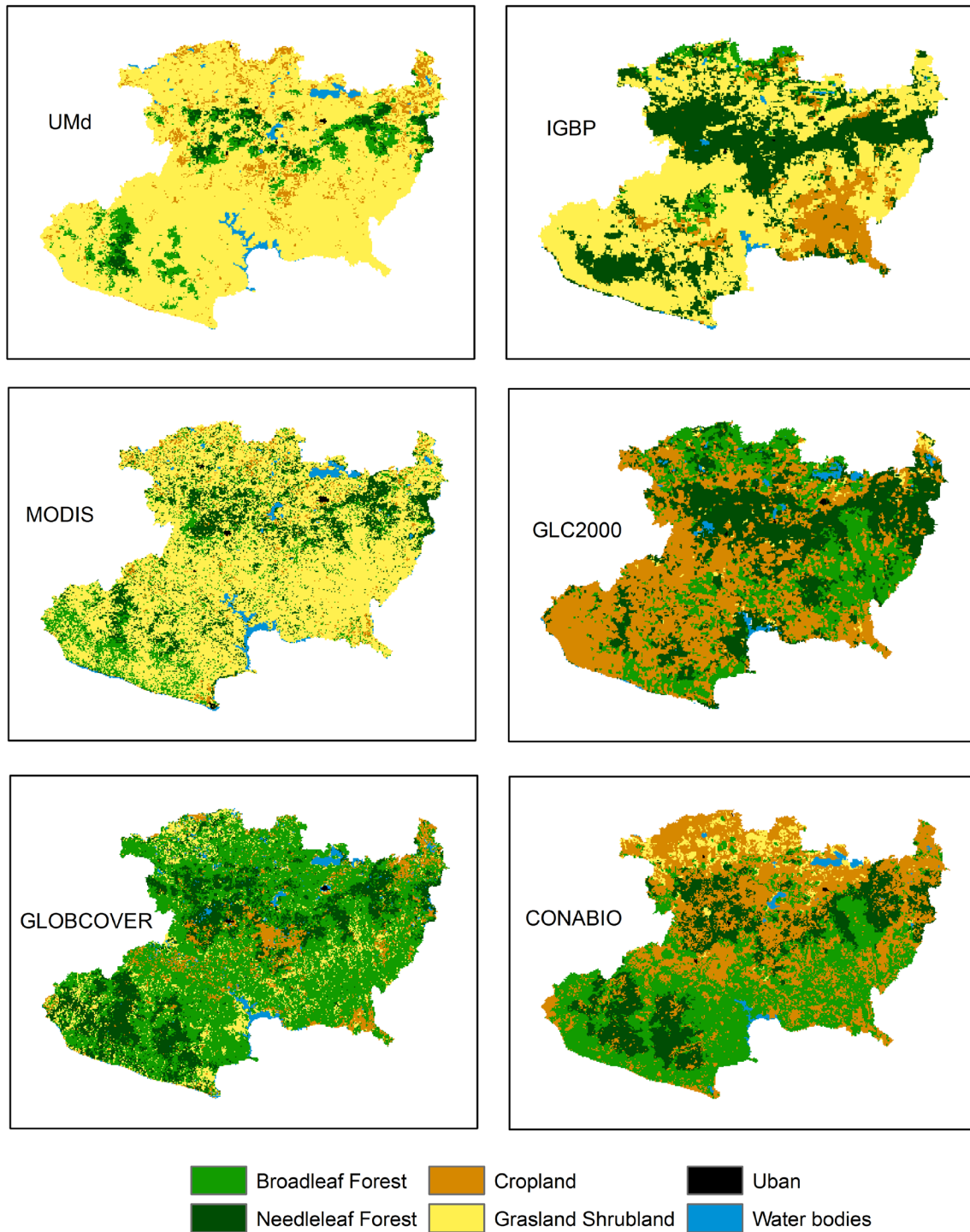


FIGURA 1. Mapas de la cubierta terrestre con la leyenda unificada para las 6 clasificaciones investigadas.

FIGURE 1. Land cover maps with the unified legend for the 6 classifications investigated.

mostró un desempeño pobre, mientras que el segundo grupo alcanzó los valores más altos de exactitud en general. No obstante, el mejor valor ( $O_a = 45.6\%$ ) observado para GLOBCOVER es más bajo que el resultado de validación global del mapa GLOBCOVER ( $O_a = 75\%$ ), calculado en 3,167 muestras de referencia distribuidas

over 3,167 worldwide distributed reference samples at a spatial resolution of 300 m (Bicheron *et al.*, 2006, De-fourny *et al.*, 2009).

The confusion matrix for the five global classification maps is shown in Table 6. Errors of omission or commission are highlighted in bold (when the cell value is

**CUADRO 4. Distribución del área (%) para las 6 clases consideradas utilizando las 6 clasificaciones unificadas. BLF: Bosque latifoliado; NLF: Bosque de hoja aciculada; CL: Tierra de cultivo; GL&SL: Matorral y Pastizal; UR: Área urbana; WB: Cuerpos de agua.**

**TABLE 4. Area distribution (%) for the 6 classifications considered using the 6 unified classes. BLF: Broadleaf Forest; NLF: Needleleaf Forest; CL: Cropland; GL&SL: Grassland & Shrubland; UR: Urban; WB: Water Bodies.**

Map/Class	BLF	NLF	CL	GL&SL	UR	WB
UMd	9.0	4.6	6.8	77.7	0.1	1.8
IGBP	3.4	32.2	10.2	53.4	0.1	0.7
MODIS	11.5	14.9	3.5	67.7	0.2	2.2
GLC2000	23.8	29.8	43.6	1.2	0.1	1.4
GLOBCOVER	57.3	20.5	9.1	10.6	0.1	2.3
CONABIO	36.7	18.9	38.8	4.3	0.1	1.2
<b>Average</b>	<b>23.6</b>	<b>20.2</b>	<b>18.7</b>	<b>35.8</b>	0.1	1.6

en todo el mundo con una resolución espacial de 300 m (Bicheron *et al.*, 2006, Defourny *et al.*, 2009).

En el Cuadro 6 se muestra la matriz de confusión para los cinco mapas globales de clasificación. Los errores de omisión o comisión aparecen marcados en negrita (cuando el valor de la célula es mayor que la diagonal).

En el Cuadro 7 se muestran los valores de Pa y Ua, los cuales se obtuvieron a partir de la matriz de confusión.

greater than the diagonal).

The values of Pa and Ua were obtained from the confusion matrix and are shown in Table 7.

The inspection of the Pa and Ua metrics by class, and of the omission and commission errors in the confusion matrix shows the following facts:

**Broadleaf Forest (BLF).** Ua is relatively low for UMD, IGBP and MODIS due to confusion with the NLF and CL.

**CUADRO 5. Valores de exactitud global (Oa) por pares de las clasificaciones basadas en la leyenda unificada. Se indican entre paréntesis los intervalos de confianza al 95 % de probabilidad.**

**TABLE 5. Values of overall accuracy (Oa) for pairs of classifications based on the unified legend. Confidence intervals at 95% probability are indicated between parenthesis.**

Oa	UMd	IGBP	MODIS	GLC2000	GLOBCOVER	CONABIO
<b>UMd</b>	100	48.4 (±0.4)	62.2 (±0.4)	9.3 (±0.3)	17.1 (±0.4)	13.6 (±0.3)
<b>IGBP</b>		100	46.8 (±0.4)	22.3 (±0.4)	21.2 (±0.3)	17.1 (±0.3)
<b>MODIS</b>			100	13.9 (±0.3)	21.8 (±0.4)	16.5 (±0.3)
<b>GLC2000</b>				100	35.0 (±0.4)	40.2 (±0.4)
<b>GLOBCOVER</b>					100	45.6 (±0.4)
<b>CONABIO</b>						100

La inspección de los valores de Pa y Ua por clase, y de los errores de omisión y comisión en la matriz de confusión, muestran los siguientes hechos:

**Bosque latifoliado (BLF).** Ua es relativamente baja para UMD, IGBP y MODIS, debido a la confusión con el NLF y el CL. Pa es aún peor debido a la omisión de píxeles clasificados como GL&SL. Los mejores desempeños de Ua se observan para GLC2000 y GLOBCOVER, pero con algo de confusión con CL. Pa para GLOBCOVER es muy bueno, mientras que se alcanzaron resultados muy malos para GLC2000 ya que la mayoría de los píxeles de BLF están clasificados como CL.

**Bosque de hoja aciculada (NLF).** Ua alcanzó valores moderados, con el más bajo rendimiento para IGBP y GLC2000 debido a la confusión con CL. Se observaron

Pa is even worse due to the omission of pixels classified as GL&SL. Ua best performances are observed for GLC2000 and GLOBCOVER, but with some confusion with CL. Pa for GLOBCOVER is very good, while poor results are achieved for GLC2000 because most BLF pixels were classified as CL.

**Needleleaf forest (NLF).** Ua reaches moderate values, with the poorest performance for IGBP and GLC2000 due to confusion with CL. Low Pa values are observed for UMD and MODIS due to pixels classified as GL&SL and, to a lesser extent, as BLF.

**Cropland (CL).** High values of Ua are achieved for UMD, MODIS and GLOBCOVER; however, with lower values for IGBP and GLC2000 due to confusion with BLF. Very low values of Pa are observed for UMD, IGBP

CUADRO 6. La matriz de confusión se calculó sobre la leyenda unificada para los 5 mapas globales y el de referencia regional de CONABIO. Los valores se expresaron en porcentaje (%) del número total de píxeles en el área. Los valores en la diagonal que corresponden. A una coincidencia con la clasificación de CONABIO están en cursiva y negrita. Las clasificaciones omitidas y comprometidas están resaltadas con colores grises (valores mayores que en la celda diagonal). BLF: Bosque latifoliado; NLF: Bosque de hoja aciculada; CL: Tierra de cultivo; GL&SL: Pastizal y Matorral; UR: Área urbana; WB: Cuerpos de agua.

TABLE 6. Confusion matrix computed over the merged legend for the 5 global and the reference regional CONABIO land cover maps. Values are expressed in percentage (%) of the total number of pixels in the area. Values in the diagonal corresponding to an agreement with CONABIO's classification are in bold italics. Classes omitted and committed are highlighted with grey colors (values higher than that in the diagonal cell). BLF: Broadleaf Forest; NLF: Needleleaf Forest; CL: Cropland; GL&SL: Grassland & Shrubland; UR: Urban; WB: Water Bodies.

		CONABIO					
		BLF	NLF	CL	GL&SL	UR	WB
UMd	BLF	<b>1.35</b>	5.87	1.75	0.01	0.00	0.01
	NLF	0.30	<b>3.02</b>	1.22	0.02	0.00	0.01
	CL	1.21	0.46	<b>4.64</b>	0.42	0.01	0.06
	GL&SL	33.54	9.63	30.51	<b>3.73</b>	0.06	0.30
	UR	0.00	0.00	0.05	0.00	<b>0.03</b>	0.00
	WB	0.39	0.02	0.49	0.10	0.00	<b>0.81</b>
	IGBP	BLF	<b>0.69</b>	0.06	2.05	0.46	0.00
NLF	7.37	<b>11.06</b>	12.25	1.40	0.01	0.17	
CL	6.30	0.48	<b>3.03</b>	0.41	0.00	0.00	
GL&SL	22.28	7.34	21.16	<b>1.99</b>	0.05	0.59	
UR	0.01	0.01	0.03	0.00	<b>0.04</b>	0.00	
WB	0.10	0.02	0.20	0.06	0.00	<b>0.27</b>	
MODIS	BLF	<b>3.73</b>	3.71	3.86	0.23	0.00	0.02
	NLF	3.45	<b>6.25</b>	4.48	0.64	0.00	0.05
	CL	0.72	0.10	<b>2.43</b>	0.24	0.01	0.04
	GL&SL	28.37	8.89	27.36	<b>3.07</b>	0.03	0.13
	UR	0.02	0.02	0.13	0.00	<b>0.06</b>	0.01
	WB	0.51	0.01	0.42	0.10	0.00	<b>0.93</b>

		CONABIO					
		BLF	NLF	CL	GL&SL	UR	WB
GLC2000	BLF	<b>11.36</b>	1.59	8.64	2.12	0.00	0.1
	NLF	6.36	<b>10.93</b>	11.43	0.81	0.04	0.2
	CL	18.76	6.29	<b>17.18</b>	1.24	0.01	0.0
	GL&SL	0.13	0.05	1.01	<b>0.04</b>	0.01	0.0
	UR	0.01	0.00	0.06	0.00	<b>0.03</b>	0.0
	WB	0.11	0.11	0.39	0.12	0.00	<b>0.6</b>
	GLOBCOVER	BLF	<b>25.87</b>	5.55	22.91	2.93	0.00
NLF		4.14	<b>11.72</b>	4.07	0.49	0.00	0.0
CL		1.68	0.86	<b>6.41</b>	0.12	0.01	0.0
GL&SL		4.70	0.59	4.60	<b>0.65</b>	0.01	0.0
UR		0.01	0.01	0.06	0.00	<b>0.04</b>	0.0
WB		0.36	0.16	0.72	0.14	0.03	<b>0.8</b>

Omission (column wise)

Commission (line wise)

Both

CUADRO 7. La exactitud del usuario (Ua, valor de la derecha) y del productor (Pa, valor de la izquierda) para las 6 leyendas unificadas y para cada uno de los 5 mapas globales de clasificación con respecto al mapa de clasificación regional de CONABIO. BLF: Bosque latifoliado; NLF: Bosque de hoja aciculada; CL: Tierra de cultivo; GL&SL: Pastizal y Matorral; UR: Área urbana; WB: Cuerpos de agua.

TABLE 7. User's (Ua, right value) and producer's (Pa, left value) accuracy for the 6 unified legends and for each of the 5 global classification maps with respect to CONABIO's regional classification map. BLF: Broadleaf Forest; NLF: Needleleaf Forest; CL: Cropland; GL&SL: Grassland & Shrubland; UR: Urban; WB: Water Bodies.

Ua Pa	BLF	NLF	CL	GL&SL	UR	WB
UMd	15.1	3.7	66.0	15.9	68.3	12.0
IGBP	20.3	1.9	34.3	58.3	29.6	7.8
MODIS	32.3	10.1	42.0	32.9	68.6	6.3
GLC2000	47.6	30.9	36.6	57.6	39.4	44.4
GLOBCOVER	45.1	70.4	57.2	62.0	70.2	16.5

valores bajos de Pa para UMD y MODIS, debido a los píxeles clasificados como GL&SL, y en menor medida, como BLF.

**Tierra de cultivo (CL).** Se obtuvieron valores altos de Ua para UMD, MODIS y GLOBCOVER; sin embargo,

and MODIS due to pixels classified as GL&SL, and for GLOBCOVER, due to pixels wrongly classified as BLF.

**Grassland and shrubland (GL&SL).** Very low values of Ua were observed mainly due to confusion with BLF and CL, and to a lesser extent, with NLF. By contrast,



con valores más bajos para IGBP y GLC2000, debido a la confusión con BLF. Se observaron valores muy bajos de Pa para UMD, IGBP y MODIS, debido a los píxeles clasificados como GL&SL, y para GLOBCOVER, debido a los píxeles mal clasificados como BLF.

**Pastizal y matorral (GL&SL).** Se observaron valores muy bajos de Ua, debido principalmente a la confusión con BLF y CL, y en menor medida, con NLF. En cambio, los valores de Pa para UMD y MODIS son muy altos, y en menor medida para IGBP. Se observaron valores muy bajos de Pa para GLC2000 y GLOBCOVER, debido principalmente a los píxeles clasificados como BLF.

**Área urbana (UR).** Las áreas urbanas representan una fracción muy pequeña del área total (Cuadro 6) y pueden ser sensibles a las incertidumbres geométricas. Se obtuvieron valores bajos de Ua para MODIS y GLC2000, debido a la confusión con LC.

**Cuerpos de agua (WB).** Se observaron valores medios de Ua para la mayoría de la clasificación de los mapas debido a la confusión con CL y BLF. Los valores más altos de Pa están relacionados con todos los mapas de las clasificaciones, a excepción de IGBP, en el cual faltan los píxeles clasificados como GL&SL.

En el grupo de mapas basados en la leyenda de IGBP la clasificación fusionada GL&SL está casi distribuida por igual entre “bosque latifoliado,” “tierras de cultivo,” y en menor medida, “bosque de hoja aciculada”. Es decir, las áreas clasificadas como sabanas en el mapa de MODIS o como “arboleadas dispersas” en el mapa de UMD, ambas siendo clasificadas como GL&SL en la leyenda unificada, muestran mayor coincidencia espacial con la clase BLF y CL que con las áreas GL&SL en el mapa de CONABIO. Por ello, existe un error en la etiqueta inicial de estas áreas en el mapa inicial que derivó en un error de clasificación al aplicar el criterio semántico para establecer la leyenda unificada. Pero el error más grave se observa en la confusión de matorral (BLF o GL&SL) y zonas agrícolas (CL) en una sola clase. Este problema es una consecuencia tanto de las características de la vegetación en el área de estudio como de su distribución espacial en relación a la resolución espacial de los mapas.

Tanto los resultados de las extensiones de la zona como la consistencia espacial mostraron diferencias claras entre los mapas globales de clasificación, lo que confirma que Michoacán es un punto de discrepancias (Fritz & See, 2007). Para un mejor entendimiento de estas diferencias, se realizó un mapa de coincidencias entre todos los mapas globales de la cubierta vegetal (Figura 2). Los lugares donde existe una concordancia total en todos los mapas representan sólo 2 % del área y corresponden principalmente a los cuerpos de agua (WB), áreas

the Pa values are very high for UMD and MODIS, and less so for IGBP. Very low values of Pa are observed for GLC2000 and GLOBCOVER, mainly due to pixels classified as BLF.

**Urban (UR).** Urban areas represent a very small fraction of the total area (Table 6) and may be sensitive to geometric uncertainties. Low Ua are observed for MODIS and GLC2000 due to confusion with LC.

**Water Bodies (WB).** Medium values of Ua are observed for most classification maps due to confusion with CL and BLF. Higher Pa values are associated to all classifications maps, with the exception of IGBP in which pixels classified as GL&SL are missing.

In the group of maps based on the IGBP legend the merged class GL&SL is almost equally distributed between “Broadleaf forest,” “Croplands” and, to a lesser extent, “Needleleaf forest.” What this means is that areas classified as savannas in the MODIS map or as “Sparse Tree Layer Vegetation” in the UMD map –both of which were classified as GL&SL in the merged legend– showed more spatial coincidence with the BLF and CL classes than with the GL&SL areas in the CONABIO map. Therefore, there is an error in the initial labeling of these areas in the original map that derived in a classification error when applying the semantic criterion for establishing the merged legend. But the most severe error is seen in the confusion of shrubland (BLF and/or GL&SL) and agricultural (CL) areas within a single class. This problem is a consequence of both the characteristics of the vegetation in the study area, and of its spatial distribution in relation to the spatial resolution of maps.

Both the results of the area extents and the spatial consistency showed clear differences between the global classification maps, confirming that Michoacán is a hotspot of discrepancies (Fritz & See, 2007). To better understand these differences, a map of agreement among all global maps of vegetation cover was calculated (Figure 2). Places where there is total agreement in all maps represent only 2 % of the area and mainly relate to water bodies (WB), urban areas (UR) and needleleaf forests (NLF). By contrast, 88% of the pixels show an agreement between 2 or 3 maps, corresponding mainly to broadleaf forest (BLF) and cropland (CL). In general, there was an agreement between maps with type IGBP (UMD, IGBP, MODIS) or type LCCS (GLC2000, GLOBCOVER) legends. Few pixels (0.1% of the total) were associated with different classes for each global map.

## CONCLUSIONS

The present study presents the results of the comparison between available global maps generated from data derived from medium-resolution sensors. A regional land cover map (CONABIO, 1998) generated from higher

urbanas (UR) bosques de hoja aciculada (BLF) y tierras de cultivo (CL). En general, existe una concordancia entre los mapas de las leyendas tipo IGBP (UMD, IGBP, MODIS) o tipo LCCS (GLC2000, GLOBCOVER). Son pocos los píxeles (0.1 % del total) que son asociados a diferentes clases en cada uno de los mapas globales.

### CONCLUSIONES

Este estudio presenta el resultado de la comparación entre mapas globales disponibles generados a partir de datos obtenidos de sensores con resolución media. Se utilizó como referencia un mapa regional de cobertura (CONABIO, 1998), generado a partir de datos de alta resolución espacial y experiencia local.

La diversidad de las leyendas explica el bajo nivel de consistencia entre los mapas comparados. Cada uno de los mapas comparados fue elaborado de acuerdo a criterios globales de clasificación debido a lo cual los matorrales predominan en algunos mapas (UMD, IGBP y MODIS; todos basados en la leyenda tipo IGBP), mientras que los bosques predominan en otros (GLC2000 y GLOBCOVER, basados en la leyenda tipo LCCS).

Para reducir la inconsistencia entre los mapas y para permitir una mejor comparación, se propuso una leyenda unificada con 6 clasificaciones (“Bosque latifoliado,” “bosque de hoja aciculada,” “tierras de cultivo,” “pastizal y matorral,” “área urbana” y “cuerpos de agua”). El uso de un criterio semántico estricto para la asignación de las clases estableció una diferencia notable entre los mapas basados en IGBP y el mapa de referencia, debido al predominio excesivo de la clase “Pastizal y Matorral”. El error en la asignación de una clase determinada es provocado por el criterio de clasificación del mapa inicial y por la leyenda unificada. Con el fin de evitar tal problema, es necesario contar con un sistema global de clasificación objetivo y muy general que provenga del debate en grupos de trabajo que tomen en cuenta la experiencia local y la información de la mayoría de las regiones biodiversas, como es el caso del estado de Michoacán. Sin embargo, el mayor problema emergente en todos estos mapas analizados es la confusión en la distinción entre las clases “tierra de cultivo” (y huerto) y “bosque latifoliado”, un problema que se debe tanto a las características del área de estudio como a la baja resolución espacial de los datos.

El territorio del Estado de Michoacán combina grandes mosaicos hechos de áreas naturales y de cultivo y la presencia de contrastes notables de la topografía, características que desafían cualquier asignación difícil de clasificar, a partir de las observaciones espaciales con resolución media. Cuando la elevada resolución espacial y los sensores de alta frecuencia están en órbita, y

spatial resolution data and local experience was used as a reference.

The diversity of the legends explains the low level of consistency between the compared maps. Each one of the compared maps was constructed according to global classification criteria because of which shrubland classes are predominant in some maps (UMD, IGBP and MODIS; all based on a type IGBP legend) while forests predominate in others (GLC2000 and GLOBCOVER, based on a type LCCS legend).

To reduce the inconsistencies between the maps and to

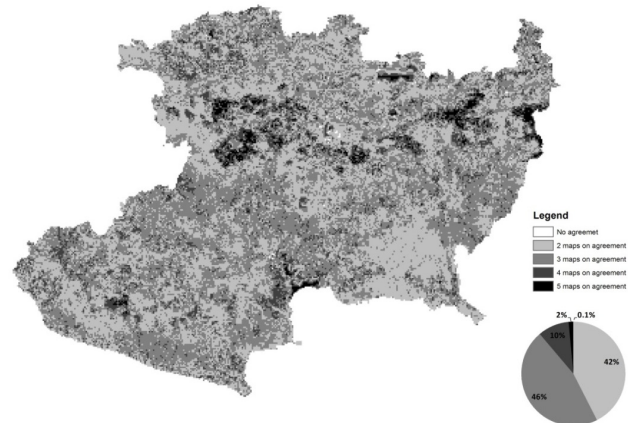


FIGURA 2. Niveles de coincidencia espacial en los 5 mapas globales de la cubierta terrestre.

FIGURE 2. Levels of spatial agreement in the 5 global land cover maps.

allow for a better comparison, a merged legend was proposed with 6 classes (“Broadleaf forest,” “Needleleaf forest,” “Cropland,” “Grassland & Shrubland,” “Urban” and “Water Bodies”). The use of a strict semantic criterion for class assignment established a marked difference between the IGBP-based maps and the reference map due to the excessive predominance of the Grassland & Shrubland class. The error in assignment to a given class is caused by the classification criteria of the original map and that for legend merging. In order to avoid such problem it is necessary to count with a very general and objective global classification system that is derived from the discussion in plural workgroups that take into account local experience and information in most biodiverse regions, as is the case of the state of Michoacán. However, the largest emergent problem in all herein analyzed maps is the confusion in the discrimination between croplands (and orchards) and broadleaf forest classes, a problem that is both due to the characteristics of the study area as to the low spatial resolution of data.

The territory of the state of Michoacán combines large mosaics made of cultivated and natural areas and the presence of marked contrasts in topography,

cuando el acceso libre a las imágenes ocurre de forma operativa y constante, su conjunto de datos mejoraran la realización de los mapas actuales derivados del conjunto de datos disponibles de los sensores con resolución media. Tales sensores podrían llevar a cabo los requerimientos necesarios no solo para los mapas locales y globales sino también para otros asuntos mayores relacionados con el cambio de la cubierta terrestre.

La elaboración de mapas globales de la cubierta terrestre parece ser una tarea complicada, como se demuestra por las grandes discrepancias entre los productos actualmente disponibles. No obstante, la información contenida en estos mapas permite preparar el camino hacia el estudio de procesos ambientales en curso, incluyendo los cambios en la distribución de la cubierta terrestre; por ello, es más importante conocer la intensidad y las limitaciones de estos mapas.

characteristics which defy any hard classification assignment from medium spatial resolution observations. When high spatial resolution and high frequency sensors are in orbit –and when free access to the images occurs in an operational and sustained way– their datasets will certainly enhance the performances of current land cover maps derived from the available medium resolution sensor datasets. Such high spatial resolution sensors would then fulfill the requirements needed not only for local and global land cover mapping, but also for other major issues related to land cover change.

Global land cover mapping appears to be a difficult task, as is demonstrated by the large discrepancies between the currently available products. However, the information contained in global land cover maps may pave the road towards to the study of ongoing environmental processes including change in land cover distribution; therefore it is most important to know the strength and limitations of such maps.

#### LITERATURE CITED

- Bartholomé, E., Belward, A. S., & GLC2000. (2005). GLC2000: a new approach to global land cover mapping from Earth observation data. *International Journal of Remote Sensing*, 26(9), 1959-1977. doi: 10.1080/01431160412331291297
- Bicheron, P., Leroy, M., Brockmann, C., Krämer, U., Miras, B., Huc, M., & Gross, D. (2006). *GLOBCOVER: a 300 m global land cover product for 2005 using ENVISAT MERIS time series*. Retrieved Jun 2008, 2006, from <http://postel.mediasfrance.org/fr/PROJECTS/Pre-operationnels-GMES/GLOBCOVER/>
- Bocco, G., Mendoza, M., & Masera, O., R. (2001). La dinámica del cambio de uso de suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* (44), 18-38.
- CONABIO. (1998). *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. Retrieved September 2008, from <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment* (37), 35-46.
- Defourny, P., Bicheron, B., Brockmann, C., Bontemps, S., Bogaert, V. E., Vancutsem, C., & Arino, O. (2009). The first 300m global land cover map for 2005 using ENVISAT MERIS time series: a product of the GlobCover system.
- Defourny, P., Vancutsem, C., Bicheron, P., Brockmann, C., Nino, F., Schouten, L., & Leroy, M. (2006). *GLOBCOVER: a 300 m global land cover product for 2005 using Envisat MERIS time series*.
- Defries, R., & Townshend, J. R. G. (1994). NDVI-derived land cover classification at global scale. *International Journal of Remote Sensing*, 15(17), 3567-3586. doi: 10.1080/01431169408954345
- Di Gregorio, A., & Jansen, L. J. M. (2000). *Land cover classification system: LCCS: classification concepts and user manual*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

*End English Version*

- Friedl, M. A., McIver, D. K., Hodges, J. C. F., Zhang, X. Y., Muchoney, D., Strahler, A. H., . . . Cooper, A. (2002). Global Land Cover Mapping from MODIS: algorithms and early results. *Remote Sensing of Environment*, 83 (1-2), 287-302.
- Fritz, S., & See, L. (2007). Identifying and quantifying uncertainty and spatial disagreement in the comparison of Global Land Covers for different applications. *Global Change Biology*, 14(5), 1057-1075. doi: 10.1111/j.1365-2486.2007.01519.x
- González-Medrano, F. (2003). Las comunidades vegetales de México. *Propuesta para la unificación de la clasificación y nomenclatura de la vegetación de México. Instituto Nacional de Ecología, México, DF*.
- Hansen, M. C., DeFries, M., R, Townshend, J. R. G., & Sohlberg, R. (2000). Global Land Cover Classification at 1 Kilometer spatial resolution using a classification tree approach. *International Journal of Remote Sensing*, 21(6/7), 1331-1364.
- Hansen, M. C., & Reed, B. (2000). A Comparison of the IGBP-DISCover and University of Maryland 1km global land cover products. *International Journal of Remote Sensing*, 21(6&7), 1365-1373.
- Herold, M. (2006). A joint initiative for harmonization and validation of land cover data sets. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 44(7), 1719-1727. doi: 10.1109/TGRS.2006.871219
- Herold, M. (2008). Some challenges in global land cover mapping: An assessment of agreement and accuracy in existing 1 km data sets. *Remote Sensing of Environment*(112), 2538-2556.
- IGBP. (2009). *International Geosphere-Biosphere Program*. Retrieved May 2009, from <http://glcf.umiacs.umd.edu/data/landcover/>



- INEGI. (2009). Instituto Nacional de Estadística y Geografía Retrieved May 2009, from <http://www.inegi.gob.mx>
- Inventario, F. (1995). *Memorias Regionales 1995*. Morelia. Gobierno del Estado de Michoacán.
- Lambin, E. F., & Geist, H. J. (2001). Global land-use and land-cover change: what have we learned so far? *Global Change News Letter* (46), 27-30.
- Latifovic, R., Zhu, Z., Cihlar, J., Beaubien, J., & Fraser, R. (2000). The Land Cover Map for North America in the Year 2000, from [http://www-term.jrc.it/glc2000/Products/northamerica/MetadataLC35\\_NA2000.pdf](http://www-term.jrc.it/glc2000/Products/northamerica/MetadataLC35_NA2000.pdf)
- Liu, D., Song, K., Townshend, J. R. G., & Gong, P. (2008). Using local transition probability models in Markov random fields for forest change detection. *Remote Sensing of Environment*(112), 2222-2231.
- Loveland, T. R., Reed, B. C., Brown, J. F., Ohlen, O., Zhu, J., Yang, L., & Merchant, J. W. (2000). Development of a Global Land Cover Characteristics Database and IGBP DISCover from 1-km AVHRR Data. *International Journal of Remote Sensing*, 21(6/7), 1303-1330.
- Mayaux, P., Eva, P., Gallego, H., Strahler, J., Herold, A. H., Agrawal, M., . . . Roy, P. (2006). Validation of the global land cover 2000 map. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 44(7).
- McCallum, I., Obersteiner, M., Nilsson, S., & Shvidenko, A. (2006). A Spatial comparison of four satellite derived 1 km global land cover datasets. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation* 8 (8), 246-255.
- Miranda, F., & Hernández, X. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica Mexicana*(28).
- Morissette, J. T., Baret, F., Privette, J. L., Myneni, R. B., Nickeson, J. E., Garrigues, S., . . . Cook, R. (2006). Validation of Global Moderate Resolution LAI products: a framework proposed within the CEOS Land product validation subgroup. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 44(7), 1804-1817. doi: 10.1109/TGRS.2006.872529
- Muchoney, D., Strahler, A. H., Hodges, J. C., F., & LoCastro, J. (1999). The IGBP discover confidence sites and the System for Terrestrial Ecosystem parameterization: Tool for validating global land cover data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 65(9).
- POSTEL.(2009). Pôle d'observation des surfaces continentales par teledétéction Retrieved May 2009, 2009, from <http://postel.mediasfrance.org/fr/PROJETS/Pre-operationnels-GMES/GLOBCOVER/>
- Retrieved May 2009, 2009, from <http://postel.mediasfrance.org/fr/PROJETS/Pre-operationnels-GMES/GLOBCOVER/>
- Rossiter, D. G. (1994). *Lectures Notes: "Land Evaluation"*. Cornell University, College of Agriculture and Life Science, Department of Soil, Crop and Atmospheric Science. Retrieved from <http://www.itc.nl/personal/rositter/Docs/Scas494/s494ch6.pdf>
- Rzedowski. (1978). *Vegetación de México*. México D.F: Editorial Limusa.
- Scepan, J. (1999). Thematic Validation of High Resolution Global Land Cover Data Sets. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 65, 1051-1060.
- See, & Fritz. (2006). Towards a global hybrid land cover map for the year 2000. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 44(7), 1740, 1746.
- SEMARNAP. (1997). *Estadísticas del Medio Ambiente*. México D.F.: INEGI.
- Strahler, A., Boschetti, L., Foody, G., Friedl, M. A., Hansen, M. C., Herold, M., . . . Woodcock, C. E. (2006). *Global Land cover Validation: Recommendations for Evaluation and Accuracy Assessment of Global Land Cover Maps*. Retrieved from [http://nofc.cfs.nrcan.gc.ca/gofc-gold/Report%20Series/GOLD\\_25.pdf](http://nofc.cfs.nrcan.gc.ca/gofc-gold/Report%20Series/GOLD_25.pdf)
- UMd. (2009). University of Maryland Retrieved May 2009, from <http://glcf.umiacs.umd.edu/data/landcover/>
- Velazquez, A., Mas, J. F., Díaz-Gallegos, J. R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, P. C., Castro, R., & Palacio, J. L. (2008). *Patrones y Tasas de Cambio de Uso de Suelo en México*. Retrieved September 2008, from <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetitas/62/velasquez.html>