



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**EVALUACIÓN DE IMÁGENES DE BAJA RESOLUCIÓN ESPACIAL BAJO
DIFERENTES METODOLOGÍAS PARA EL MONITOREO Y CARTOGRAFÍA DE
LA COBERTURA DEL SUELO EN MÉXICO**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
DOCTOR EN GEOGRAFÍA**

P R E S E N T A

TZITZIKI JANIK GARCÍA MORA

DIRECTOR DE TESIS: JEAN FRANÇOIS MAS CAUSSEL

RESUMEN

En las últimas décadas, la agricultura, el pastoreo y la explotación forestal se han extendido considerablemente, afectando la sostenibilidad global y la biodiversidad. Para comprender estos cambios y gestionar con eficacia sus impactos es esencial monitorear el uso y cobertura del suelo mediante sensores de observación de la tierra con una alta frecuencia temporal y extensión espacial. Los datos del sensor MODIS proporcionan una opción atractiva, sin que hasta el momento se cuente con datos precisos de su fiabilidad a nivel regional. Este trabajo pretendió contribuir con un mejor entendimiento sobre los datos y metodologías adecuadas para monitorear el uso y cobertura del suelo, así como sobre la fiabilidad de su clasificación. Este conocimiento puede ser aplicado en la gestión y protección del medio ambiente. El análisis incluyó tres tipos de datos del sensor MODIS (índices de vegetación, compuestos de 8 días e imágenes diarias) durante un año para tres áreas de estudio ubicadas en los estados de Michoacán, Sonora y Quintana Roo. Se aplicaron dos técnicas de clasificación a cada conjunto de datos; se incorporaron datos auxiliares, y se evaluó la fiabilidad. El método de clasificación de Máxima Verosimilitud mostró resultados más consistentes que el método Perceptrón Multicapa. En la mayoría de los casos la incorporación de datos aumentó la fiabilidad de las clasificaciones. Los resultados permiten concluir que los mapas generados a partir de sensores de baja resolución muestran un gran potencial en el monitoreo de la cobertura terrestre a escala regional y nacional.

ABSTRACT

In recent decades, agriculture, animal grazing, and forest harvesting have expanded greatly, impacting global sustainability and biodiversity. To understand these changes and manage their impacts effectively it is essential to monitor land use and land cover change closely, using earth observing sensors to obtain needed coverage with high temporal frequency, and large areal extent. The imagery derived from the MODIS sensor provides an attractive option, though there hasn't been sufficient analysis of its accuracy at regional levels for land cover mapping. This thesis work was carried out to provide progress toward a solution; specifically to contribute a better understanding of the appropriate data products and methodologies that are suitable for monitoring land use and land cover, and to gain a better understanding of their classification accuracies. This knowledge can then be applied toward the management and protection of the environment. The analysis included three types of data from the MODIS sensor spanning one year for three study areas located in the states of Michoacán, Sonora and Quintana Roo, Mexico. Two classification techniques were applied to each of these data sets; ancillary data were incorporated, and the accuracies were evaluated. The method of Maximum Likelihood classification showed more consistent results compared to the Multilayer Perceptron method. The accuracies were improved with the incorporation of ancillary data in most cases. Taken together with results based on other data analyses, we conclude that the maps generated from low-resolution sensors show great potential for land cover mapping at regional and national scales.

ÍNDICE

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Justificación del trabajo.....	1
1.2. Objetivos e hipótesis de trabajo.....	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	4
1.2.3. Hipótesis de trabajo	4
1.3. Estructura de la tesis.....	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Los datos de satélite en el monitoreo de La cobertura y el uso del suelo	5
2.1.1. Desarrollo de los datos de sensores remotos	5
2.2. Especificaciones técnicas del sensor MODIS	9
2.2.1. Deformaciones relacionadas con el barrido (ángulo de vista).....	12
2.2.2. Transmisión y pre-procesamiento de los datos.....	13
2.2.3. Niveles de procesamiento.....	14
2.3. Descripción de los Productos MODLAND.....	15
2.3.1. Producción de los datos MODLAND.....	16
2.3.2. Características Generales.....	18
1) Las colecciones de datos MODIS.....	18
2) Organización espacial.....	19
3) Formato de Almacenamiento HDF.....	20
4) Identificación de los productos.....	20
5) Metadatos	21
2.3.3. Descripción de los productos utilizados en esta tesis.....	22
1) Reflectancia de la superficie MOD09	22
2) Índices de vegetación MOD13	24

CAPÍTULO III. ANTECEDENTES.....	28
3.1. Selección de los datos.....	28
3.1.1. Estudios basados en índices de vegetación.....	28
3.1.2. Estudios basados en datos de reflectancia de la superficie.....	30
3.1.3. El uso de combinaciones de datos MODIS	30
3.1.4. Tres dimensiones de datos.....	31
3.1.5. Incorporación de datos auxiliares	31
3.2. Preprocesamiento de los datos	33
3.2.1. Métodos de selección de los datos.....	34
3.2.2. Método de extracción de datos	35
3.3. Filtrado y análisis de series de tiempo.....	36
3.3.1. Análisis de Fourier	37
3.4. Métodos de clasificación mas utilizados	37
3.5. Medición de la fiabilidad.....	38
3.6. Resultados de los estudios revisados.....	40
CAPÍTULO IV. DESCRIPCIÓN DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO	44
4.1. Criterios de selección de las areas de estudio.....	44
4.2. Descripción de las áreas de estudio	46
4.2.1. Área del Tancítaro, Michoacán	46
4.2.2. Área de Mazatán, Sonora.....	47
4.2.3. Área Maya, Quintana Roo	47
CAPÍTULO V. BASES DE DATOS Y MÉTODOS.....	49
5.1. BASE DE DATOS	49
5.1.1. Datos MODIS	49
5.1.2. Datos de referencia	50
5.2. Metodología.....	51
5.2.1. Selección de los datos.....	51
5.2.2. Descarga, corte, reproyección y remuestreo de los datos.....	51
5.2.3. Análisis de la calidad de los datos	52
5.2.4. Análisis visual	53

5.2.5.	Selección del sistema clasificatorio	53
5.2.6.	Campos de entrenamiento	54
5.2.7.	Cálculo de la separabilidad.....	54
5.2.8.	Clasificación	55
5.2.9.	Clasificación con información auxiliar.....	59
5.2.10.	Evaluación de la fiabilidad	60
5.2.11.	Comparación de la fiabilidad obtenida de los diferentes métodos de clasificación - Prueba de McNemar	63
CAPÍTULO VI. RESULTADOS		65
6.1.	Análisis de la calidad de los datos.....	65
6.1.1.	Medición de la separabilidad (cálculo de la divergencia transformada)	66
6.1.2.	Selección espectral y por fechas.....	67
6.2.	Clasificaciones.....	69
6.2.1.	Máxima Verosimilitud (MV) y Perceptrón Multicapa (PMC).....	69
6.3.2	Datos auxiliares	71
6.3.3	Comparación entre los resultados de las tres áreas de estudio	73
CAPÍTULO VII. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		75
7.1.	Discusión	75
7.2	Conclusiones	81
CAPÍTULO VIII. LITERATURA CITADA		83
ANEXOS		92

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro 1 - Características generales de los sensores más utilizados	8
Cuadro 2 - Características de las bandas MODIS	11
Cuadro 3 - Referencias claves para el producto MOD09.....	22
Cuadro 4 - Productos de reflectancia MOD09.	24
Cuadro 5 - Referencias claves para el producto MOD13.....	25
Cuadro 6 - Productos de índice de vegetación (Incluye EVI y NDVI)	27
Cuadro 7 - Los diferentes esfuerzos de mapeo y datos de entrada revisados en esta tesis.....	32
Cuadro 8 - Tipos de ambiente, número de categorías y fiabilidades obtenidas en estudios con datos MODIS	41
Cuadro 9 - Bits seleccionados a partir de la capa de calidad MODIS (QA) para cada tipo de dato	53
Cuadro 10 - Definición cualitativa propuesta para la interpretación de los valores de separabilidad (divergencia transformada).....	55
Cuadro 11 - Método de interpretación de datos de campo.....	61
Cuadro 12 - Matriz de confusión.....	61
Cuadro 13 - Elementos de la matriz utilizada en la prueba de McNemar	63
Cuadro 14 - Reducción de datos a través de la capa de calidad	65
Cuadro 15 - Selección espectral y por fechas.....	68
Figura 1 - Esquema del cubrimiento MODIS (Tomado de MODIS Rapid Response Team.) http://earthobservatory.nasa.gov/Features/OrbitsManeuver/	9
Figura 2 - Longitudes de onda de las 7 primeras bandas del sensor MODIS.....	10
Figura 3 - Deformaciones relacionadas con el ángulo de barrido.	12
Figura 4 - Diagrama de producción de los datos MODLAND. Algunos productos como MOD44 y MOD45 podrían considerarse como de nivel L4 (modificado de Roy et al. 2002)	17
Figura 5 - Organización de los productos MODLAND en tiles.....	19
Figura 6 - Nomenclatura utilizada para los nombres de los productos MODIS de nivel L2G o superior	20
Figura 7 - Localización de las áreas de estudio	45
Figura 8 - Área del Tancítaro Michoacán.....	46
Figura 9 - Área de Mazatán, Sonora.....	47
Figura 10 - Área Maya en Quintana Roo	48
Figura 11 - Red Neuronal Perceptrón Multicapa para clasificar una imagen multiespectral de siete bandas en 7 categorías.....	57
Figura 12 - Diagrama de flujo describiendo el procedimiento de análisis de los datos MODIS	60
Figura 13 - Qa Vs precipitación	66
Figura 14 - Separabilidad máxima alcanzada con 7 bandas por los diferentes productos en cada área de estudio.....	67
Figura 15 - Valores de fiabilidad global obtenidos por cada una de los tipos de datos analizados por las diferentes metodologías en el área de Tancítaro, Michoacán	69
Figura 16 - Valores de fiabilidad global obtenidos por cada una de los tipos de datos analizados por las diferentes metodologías en el área Maya, Quintana Roo.....	70
Figura 17 - Valores de fiabilidad global obtenidos por cada una de los tipos de datos analizados por las diferentes metodologías en el área de Mazatán, Sonora	71
Figura 18 - Distribución de diferentes tipos de coberturas (% del área total de la cobertura) en función de la elevación.....	72