



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

POSGRADO EN GEOGRAFÍA

CENTRO DE INVESTIGACIONES EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL

MONITOREO DE LA DEFORESTACIÓN CON LA METODOLOGÍA

DETER, EN LOS CHIMALAPAS, OAXACA.

T E S I S

**PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN GEOGRAFÍA
(ORIENTACIÓN EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL)**

**P R E S E N T A :
IGNACIO GONZÁLEZ GUTIÉRREZ**

DIRECTOR DE TESIS: DR. JEAN FRANÇOIS MAS CAUSSEL

CIGA

**CENTRO DE INVESTIGACIONES
EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL**

MORELIA, MICHOACÁN

NOVIEMBRE DE 2009.

INDICE

INTRODUCCIÓN - 1 -

OBJETIVOS - 3 -

OBJETIVOS GENERALES ----- 3 -

OBJETIVOS PARTICULARES ----- 3 -

CAPITULO 1.- ANTECEDENTES DEL SENSOR MODIS - 4 -

1.1. ANTECEDENTES DEL SENSOR MODIS ----- 4 -

1.1.1. ANTECEDENTES DEL EOS ----- 4 -

1.1.2. PROGRAMA EOS ----- 6 -

1.1.3. PLATAFORMA TERRA ----- 7 -

1.1.4. SENSOR MODIS ----- 9 -

1.2. LA EXPERIENCIA DEL SENSOR MODIS EN BRASIL ----- 11 -

1.2.1. PRODES ANALÓGICO ----- 12 -

1.2.2. PRODES DIGITAL ----- 13 -

1.2.3. DETER ----- 14 -

1.3. EL SENSOR MODIS EN MÉXICO ----- 15 -

1.3.1. CONABIO ----- 16 -

1.3.2. CONAFOR ----- 17 -

1.4. ANTECEDENTES EN EL MONITOREO DE LA DEFORESTACIÓN CON IMÁGENES
MODIS- 18 -

CAPITULO 2: ÁREA DE ESTUDIO - 25 -

2.1. LOS CHIMALAPAS, OAXACA ----- 25 -

2.1.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA ----- 25 -

2.1.2. TOPOGRAFÍA ----- 26 -

2.1.3. CLIMA ----- 26 -

2.1.4. HIDROLOGÍA ----- 27 -

2.1.5. PRINCIPALES TIPOS DE VEGETACIÓN Y USO DE SUELO ----- 27 -

2.1.6. RECURSOS FORESTALES ----- 28 -

2.1.7. DEFORESTACIÓN ----- 29 -

2.1.8. INCENDIOS ----- 30 -

CAPÍTULO 3: MATERIALES Y MÉTODO - 31 -

3.1. IMÁGENES DE SATÉLITE	31
3.1.1. IMÁGENES ASTER, LANDSAT Y SPOT	31
3.1.2. MODIS	31
3.1.3. CATEGORÍAS DE INTERÉS	32
3.2. PRE-PROCESAMIENTO	33
3.2.1. CORRECCIÓN GEOMÉTRICA	33
3.3. PROCESAMIENTO	34
3.3.1. CRITERIO DE SEPARABILIDAD	34
3.3.2. METODOLOGÍA DETER	35
3.3.2.1. MODELO LINEAL DE MEZCLA ESPECTRAL (MLME)	35
3.3.2.2. MÍNIMOS CUADRADOS PONDERADOS	37
3.3.2.3. IMÁGENES FRACCIÓN	38
3.3.2.4. SEGMENTACIÓN	38
3.3.2.5. EXTRACCIÓN DE REGIONES	40
3.3.2.6. CLASIFICACIÓN	40
3.3.2.7. EDICIÓN MATRICIAL	42
3.3.3. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES SELECTIVO (ACPS)	43
3.3.4. DIFERENCIA DE BANDAS	45
3.3.5. MÁSCARA	46
3.4. EVALUACION DE LA FIABILIDAD	47
3.4.1. FIABILIDAD DEL PRODUCTOR Y DEL USUARIO	47
3.4.2. EVALUACIÓN DE LOS MAPAS DE CAMBIO	48
3.5. PERFILES Y SERIE DE TIEMPO	48

CAPITULO 4: RESULTADOS - 49 -

4.1. PRE-PROCESAMIENTO	49
4.1.1. CORRECCIÓN GEOMÉTRICA	49
4.2. PROCESAMIENTO	52
4.2.1. EVALUACIÓN DE LA SEPARABILIDAD (DIVERGENCIA TRANSFORMADA)	52
4.2.2. MÉTODO DETER	58
4.2.3. ACPS	62
4.2.4. DIFERENCIA DE BANDAS	64
4.2.4.1. DIFERENCIA DE NDVI (ÉPOCA SECA)	64
4.2.4.2. DIFERENCIA DE NDVI (ÉPOCA DE LLUVIAS)	65

4.3. EVALUACIÓN DE LA FIABILIDAD -----	67 -
4.3.1. <i>DETER</i> -----	67 -
4.3.1.1. <i>DETER DE 16 DÍAS (PRIMER MÉTODO DE VALIDACIÓN)</i> -----	67 -
4.3.1.2. <i>DETER DIARIO (PRIMER MÉTODO DE VALIDACIÓN)</i> -----	68 -
4.3.1.3. <i>DETER 16 DIAS (SEGUNDO MÉTODO DE VALIDACIÓN)</i> -----	69 -
4.3.1.4. <i>DETER DIARIO (SEGUNDO MÉTODO DE VALIDACIÓN)</i> -----	71 -
4.3.2. <i>ACPS</i> -----	72 -
4.3.2.1. <i>ACPS AL NDVI (PRIMER MÉTODO DE VALIDACIÓN)</i> -----	72 -
4.3.2.2. <i>ACPS A LA BANDA DEL ROJO (PRIMER MÉTODO DE VALIDACIÓN)</i> -----	73 -
4.3.2.3. <i>ACPS AL NDVI (SEGUNDO MÉTODO DE VALIDACIÓN)</i> -----	74 -
4.3.2.4. <i>ACPS A LA BANDA DEL ROJO (SEGUNDO MÉTODO DE VALIDACIÓN)</i> -----	76 -
4.3.3. <i>DIFERENCIA DE BANDAS</i> -----	76 -
4.3.3.1. <i>DIFERENCIA DE NDVI ÉPOCA SECA (PRIMER MÉTODO DE VALIDACIÓN)</i> -----	76 -
4.3.3.2. <i>DIFERENCIA DE NDVI ÉPOCA DE LLUVIAS (PRIMER MÉTODO DE VALIDACIÓN)</i> -----	78 -
4.3.3.3. <i>DIFERENCIA DE NDVI EN LA ÉPOCA SECA (SEGUNDO MÉTODO DE VALIDACIÓN)</i> -----	78 -
4.3.3.4. <i>ÉPOCA DE LLUVIAS (SEGUNDO MÉTODO DE VALIDACIÓN)</i> -----	79 -
4.4. SERIE DE TIEMPO Y PERFILES -----	80 -

CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN Y RECOMENDACIONES - 82 -

BIBLIOGRAFIA - 86 -

PÁGINAS EN INTERNET - 91 -

ANEXOS 92

ANEXO A.-TABLAS DEL PRIMER MÉTODO DE VALIDACIÓN. -----	92
MÉTODO DETER AL PRODUCTO MOD13 (16 DÍAS)-----	92
MÉTODO DETER AL PRODUCTO MOD09 (DIARIO)-----	94
ACPS AL PRODUCTO MOD13 (16 DÍAS-NDVI)-----	96
ACPS AL PRODUCTO MOD09 (8 DIAS-NDVI)-----	97
ACPS AL PRODUCTO MOD09 (DIARIO-NDVI)-----	98
ACPS AL PRODUCTO MOD13 (16 DIAS-BANDA DEL ROJO)-----	99
ACPS AL PRODUCTO MOD09 (8 DIAS-BANDA DEL ROJO)-----	100
ACPS AL PRODUCTO MOD09 (DIARIO-BANDA DEL ROJO)-----	101
DIFERENCIA DE NDVI PRODUCTO MOD13-----	102
(ÉPOCA SECA)-----	102
DIFERENCIA DE NDVI PRODUCTO MOD13-----	103
(ÉPOCA DE LLUVIAS)-----	103

ANEXO B: TABLAS DEL SEGUNDO MÉTODO DE VALIDACIÓN	104
MÉTODO DETER AL PRODUCTO MOD13 (16 DÍAS)	104
MÉTODO DETER AL PRODUCTO MOD09 (DIARIO)	106
ACPS AL PRODUCTO MOD13 (16 DÍAS-NDVI)	108
ACPS AL PRODUCTO MOD09 (8 DIAS-NDVI)	109
ACPS AL PRODUCTO MOD09 (DIARIO-NDVI)	110
ACPS AL PRODUCTO MOD13 (16 DIAS-BANDA DEL ROJO)	111
ACPS AL PRODUCTO MOD09 (8 DIAS-BANDA DEL ROJO)	112
ACPS AL PRODUCTO MOD09 (DIARIO-BANDA DEL ROJO)	113
DIFERENCIA DE NDVI PRODUCTO MOD13	114
(ÉPOCA SECA)	114
DIFERENCIA DE NDVI PRODUCTO MOD13	115
(ÉPOCA DE LLUVIAS)	115
ANEXO C: PERFILES DE LA SERIE DE TIEMPO	116
A).- PERFILES DE DESMONTE	116
B).- PERFILES DE FALSO DESMONTE	118

INTRODUCCIÓN

Desde hace varias décadas se puso de manifiesto que los cambios de cobertura y de uso de suelo influyen directamente en los cambios climatológicos del mundo, provocando el aumento y la intensidad de los desastres naturales en todo el planeta como son: los incendios, las inundaciones, los huracanes, las sequías y el aumento de gases que incrementan el efecto invernadero. En este contexto surgen varias iniciativas por parte de las agencias espaciales más importantes del mundo la **Agencia Espacial Europea** (*European Space Agency, ESA*), **Aeronáutica Nacional y Administración Espacial** (*National Aeronautics and Space Administration, NASA*), **Agencia Espacial Canadiense** (*Canadian Space Agency, CSA*) y la **Agencia Espacial Nacional del Japón** (*National Space Agency of Japan, NASDA*) para el monitoreo y la evaluación de los recursos naturales y sus modificaciones en el mundo.

Es así como surgen varios proyectos entre los cuales el más importante y ambicioso es el llamado **Sistema de Observación de la Tierra** (*Earth Observing System, EOS*), que comandado por la NASA, ha puesto en órbita una serie de plataformas espaciales con diferentes sensores a bordo, que tratan de medir las interrelaciones de energía entre la atmósfera, la hidrosfera y la superficie terrestre.

Dentro de este proyecto sobresale el sensor llamado **Espectrorradiómetro de formación de Imágenes de Resolución Moderada** (*MODerate resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS*) a bordo de las plataformas **TERRA** (lanzada en diciembre de 1999) y **AQUA** (lanzada en mayo de 2002), que, por sus características espaciales y espectrales, es uno de los más importantes para el monitoreo de los procesos de cambio en el mundo. Estos aspectos son tratados en el primer capítulo.

Uno de los países con mayor número de superficie forestal en todo el mundo es Brasil, en donde la denominada **Amazonia Legal** cuenta con más de 4 millones de km² de bosques que en su mayoría son selvas tropicales bien conservadas. Sin embargo también es el principal país con mayor deforestación en el mundo, por lo que, desde la década de los 70^⁸ el **Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales** (*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales, INPE*) tiene la tarea de monitorear esta región y así poder determinar la extensión y lugar de la deforestación para la acción gubernamental.

El INPE inicialmente basaba su metodología para calcular las tasas de deforestación en la fotointerpretación de imágenes de satélite **Landsat MSS y TM**. Esta metodología se le conoce como **Programa de Cálculo de la Deforestación de la Amazonia** (*Projeto de Estimativa do Desflorestamento Bruto da Amazônia, PRODES Analógico*). Después el procedimiento se automatizó y se empezaron a utilizar diferentes algoritmos de clasificación digital para la evaluación de la deforestación. A esta metodología automatizada se le conoce como **PRODES Digital** y está

basada en el **Modelo Lineal de Mezcla Espectral (MLME)** para el cual se siguieron usando imágenes Landsat TM y Landsat ETM+. Sin embargo los resultados de esta metodología son publicados anualmente y se considera que son de carácter informativo, porque los gobiernos federal y estatal no podían anticiparse a los procesos de deforestación teniendo como base esta información.

Por estos motivos el INPE desarrolló una metodología que sirviera como complemento al PRODES Digital llamado **Detección de Áreas Deforestadas en Tiempo Real (Projeto de Detecção de Áreas Desflorestadas em Tempo Real, DETER)** cuya finalidad es detectar la deforestación en tiempo casi real para que las autoridades puedan actuar de forma más rápida y eficaz en el combate a la deforestación. El programa DETER utiliza datos del sensor MODIS que permite tomar una imagen diaria en las latitudes por arriba del trópico, mientras que en las zonas tropicales pasa cada dos días y así se pueden publicar los resultados cada mes.

En este contexto el DETER ha tenido buenos resultados en la prevención y detección de la deforestación y sirve de base para esta investigación ya que lo que se propone en este trabajo es evaluar la metodología DETER en el contexto mexicano, en la zona de estudio ubicada en la región de los Chimalapas, Oaxaca. Las metodologías PRODES y DETER del proyecto se describen en el capítulo 3.

La región en estudio se localiza en la enorme zona selvática conocida como Selva Zoque y corresponde a la parte Oriente de los Chimalapas, abarcando una gran porción del municipio de San Miguel Chimalapa y una parte de Santa María Chimalapa, con poco más de 276,800 hectáreas. En esta zona la vegetación es muy diversa y existe bosque de pino, selva alta perennifolia, selva mediana subcaducifolia, selva baja caducifolia y una parte importante dedicada a la agricultura de riego y de temporal así como grandes zonas cubiertas por pastizales dedicados a la ganadería. Se describe la zona de estudio en detalle en el capítulo 2.

Los resultados del proyecto se presentan y analizan en el capítulo 4. En el capítulo 5 se presentan las conclusiones y recomendaciones.