

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
MAESTRÍA EN METODOLOGÍAS DE INVESTIGACIÓN ECONÓMICA Y SOCIAL**



T E S I S

**DINÁMICA DE CAMBIOS EN LA COBERTURA VEGETAL
(1975-2005)**

PRESENTADA POR:

JESÚS RICARDO RODRÍGUEZ RIVERA

PREVIO A OPTAR AL GRADO DE:

**MASTER EN METODOLOGÍAS DE
INVESTIGACIÓN
ECONÓMICA Y SOCIAL**

ASESOR: MSc. MARIO ROLANDO PALMA GUILLEN

TEGUCIGALPA M.D.C., FEBRERO DE 2012

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS:

**LICENCIADA JULIETA CASTELLANOS
RECTORA**

**DOCTORA RUTILIA CALDERÓN
VICE RECTORA DE ASUNTOS ACADÉMICOS**

**DOCTORA OLGA MARINA JOYA
DIRECTORA SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**

**ABOGADA EMMA VIRGINIA MEJÍA
SECRETARIA GENERAL**

**MAE. BELINDA FLORES DE MENDOZA
DECANA DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS ECONÓMICAS**

**MSc. HENRY RODRÍGUEZ COREA
COORDINADOR DE LA MAESTRÍA EN METODOLOGÍA DE
INVESTIGACIÓN ECONÓMICA Y SOCIAL**

Agradecimientos

Deseo expresar mi agradecimiento a:

- ✓ DIOS por las experiencias y capacidades personales y profesionales.
- ✓ Mi padre: Renato Rodríguez, quién inculco valores sólidos, éticos y morales que coadyuvan en la formación de un profesional dedicado y concentrado en la generación de herramientas para la toma de decisiones.
- ✓ A mis dos hijos: Cinthya Johana y Ricardo Antonio, quiénes me han apoyado de manera incondicional en cada una de las jornadas joviales como adversas de la vida.
- ✓ A todas aquellas personas que en algún momento me han apoyado en las diferentes etapas de la vida.

Dedicada a:

Cintha Johana Rodríguez Cantarero

y

Ricardo Antonio Rodríguez Cantarero

Resumen Ejecutivo

Para el desarrollo de esta investigación se ha seleccionado un período de tiempo comprendido de 1975 al 2005 (30 años), donde se pretende evaluar los cambios en la cobertura vegetal a través la teledetección o percepción remota.

El uso de esta técnica ha permitido el desarrollo de diversas investigaciones en distintas áreas de la ciencia como: dinámica de crecimiento de los centros poblados, cambios en la cobertura boscosa, uso del territorio, ordenación del territorio, monitoreo de fenómenos naturales (efectos e impactos [desastres]), arqueología, ordenación vial, agricultura entre otros.

Así mismo, se utilizará un modelo de regresión logística para evaluar la relación entre la población y la cobertura vegetal; también se evaluará la relación de algunos de los usos que la población le da a la madera permitiendo explicar los cambios ocurridos en la cobertura vegetal.

Los datos a usar en esta investigación provienen del sensor landsat MSS, TM y ETM+ de 1975, 1976, 1987, 2001 y 2005, los resultados de la zonificación de dichas escenas serán contrastados con datos secundarios obtenidos del INE en los últimos censos poblacionales levantados en 1974, 1988 y 2001, asimismo, la proyección de la población para el año 2005, siendo el área geográfica seleccionada para esta investigación 29 municipios que forman los departamentos de Francisco Morazán, Olancho y El Paraíso de la República de Honduras.

Si bien es cierto, el sensor landsat fue lanzado en la década de los años 70, es hasta la década de los años 90 que se inicia el uso de este tipo de datos en la implementación y desarrollo de aplicaciones en Honduras. Uno de los intereses fundamentales en la teledetección es la obtención de datos temáticos que nos ayudan a conocer el territorio, sin embargo, en reiteradas ocasiones, este conocimiento es restringido a la teledetección cartográfica temática, siendo un enfoque reduccionista, limitando a efectuar clasificaciones de cobertura vegetal, uso del suelo, cultivos entre otros.

Es importante comprender que una imagen de satélite es un conjunto sistemático de medidas cuantitativas sobre el territorio, pero igualmente es posible realizar investigaciones en el orden cualitativo, robustecidas a través de la teledetección (Chuvieco, 2008)

La combinación de la teledetección y el modelo de regresión logística favorece el análisis de uno de los elementos que según Entwisle, Stern, & National Research (2005); Locatelli (2006); Lambin y Geist (2007) argumentan que el elemento que mejor explica la dinámica de cambios en la cobertura vegetal es la población (crecimiento demográfico).

Desafortunadamente, para el desarrollo de esta investigación fue imposible planificar giras de campo, como tampoco se evaluaran los elementos fundamentales que según Lambin y Geist (2007) deben tomarse en cuenta para este tipo de evaluaciones (*Económicos y Tecnológicos, Demográficos, Institucionales, Culturales, y Globalización*), esto hubiese permitido una validación integral.

En esta investigación se intentará mostrar la dinámica de cambios y que municipios han sido más afectados a través de mapas resultantes de la clasificación de imágenes del sensor landsat, o si en su defecto se ha mantenido estable en el tiempo. Asimismo, se utilizará un modelo de regresión logístico para determinar la probabilidad de que la población impacte directamente en la dinámica de cambios en la cobertura vegetal ocurridos en la zona de estudio seleccionada, permitiendo a las autoridades el desarrollo de herramientas, planes y/o políticas para garantizar el desarrollo sostenible en la región o el país a través de la extrapolación de los resultados obtenidos en la zona de estudio.

Palabras Clave: Teledetección, Cobertura vegetal, Análisis multitemporal, Regresión logística, Dinámica de cambios.

Tabla de contenido

Siglas y Acrónimos	1
Introducción, Objetivos y Justificación	3
Objetivos de la Investigación	8
Objetivo General.....	8
Objetivos Específicos	8
Justificación	9
Marco Referencial.....	11
Perfil Hondureño	12
Principales causas del cambio de uso de la tierra.....	14
Factores que mayor incidencia tienen en los cambios en la Cobertura Vegetal	15
Económicos y Tecnológicos	16
Demográficos.....	16
Institucionales	17
Culturales.....	17
Globalización.....	17
Dinámica de Cambios en la Cobertura Vegetal en Honduras (Planteamiento del Problema).....	19
Evaluación de factores que incrementan el cambio en la Cobertura Vegetal en el contexto hondureño	20
Económicos y Tecnológicos	20
Demográficos.....	20
Institucionales	22
Culturales.....	23
Globalización.....	24
Consecuencias derivadas de la Dinámica de Cambios en la Cobertura Vegetal	25
Consecuencias Ambientales	25
Pérdida de biodiversidad.....	26
Cambio Climático.....	26
Contaminación.....	27
Otros impactos	28
Aspectos Metodológicos para la evaluación de la Dinámica de Cambios en la Cobertura Vegetal.....	31
Ventajas de utilizar imágenes de satélite	38
Métodos para evaluación de cambios.....	39
Estado del problema	39
Consideraciones de significancia.....	39
Condiciones Ambientales	39
Procesamiento de imágenes y extracción de datos/información	40
Calidad y Control.....	40
Algoritmos para la detección de cambios.....	41
Función de memoria de inserción.....	41
Detección de cambios mediante composición de imágenes multitemporales	41

Álgebra de mapas para detección de cambios	41
Comparación de cambios utilizando post-clasificación.....	42
Detección multitemporal utilizando una máscara binaria aplicada en la imagen de la segunda fecha.....	42
Detección de cambios mediante imágenes multitemporales, utilizando datos auxiliares.....	42
Evaluación y digitalización en pantalla	42
Análisis vectorial del cambio espectral	42
Visión basada en el conocimiento del sistema para detectar los cambios	43
Estadísticas, Índices y Transformaciones	44
Fronteras estadísticas.....	44
Mínima Distancia.....	44
Clasificador de paralelepípedos.....	45
Clasificador de máxima probabilidad.....	45
Índice Normalizado de Vegetación (NDVI)	46
Herramientas para Evaluación.....	47
Consideraciones al realizar el campo de trabajo	48
Problema 1: La falta de objetivos claros para el proyecto.....	48
Problema 2: Falta de un plan de muestreo válido.....	48
Problema 3 Dificultad para el tratamiento de las diferencias de escala.....	49
Problema 4 Los errores en la ubicación.....	49
Problema 5 Observaciones y mediciones inapropiadas.....	49
Problema 6 Materiales inadecuados de referencia.....	50
Clasificación de Imágenes.....	50
Tipos de Productos y Modelación	51
Productos Cartográficos.....	51
Productos Estadísticos	51
Modelos de Regresión Logística (LOGIT).....	51
Insumos para la Investigación	54
Imágenes Landsat	54
Datos Vectoriales y Tabulares.....	55
Unidad de Medida	57
Equipamiento necesario.....	59
Beneficiarios / Clientes.....	59
Preparación y Clasificación de Imágenes (Evaluación a través de productos cartográficos).....	61
Productos Cartográficos	62
Cobertura Vegetal, Población, Red Vial y Centros Poblados.....	70
Análisis y Evaluación mediante Regresión Logística (Productos Estadísticos).....	74
Integración de datos tabulares (coberturas vectoriales).....	75
Productos Estadísticos.....	76
Cobertura Vegetal 1975-1976 y Censo de Población y Vivienda de 1974.....	78
Cobertura Vegetal 1987 y Censo de Población y Vivienda de 1988.....	82
Cobertura Vegetal 2001 y Censo de Población y Vivienda de 2001.....	87
Cobertura Vegetal 2005 y Proyección de la Población para 2005	92

Conclusiones	97
Recomendaciones	100
Bibliografía	103
Anexos	108
Anexo 1 Cobertura Vegetal mosaico de 1975- 1976.....	109
Anexo 2 Cobertura Vegetal 1987.....	110
Anexo 3 Cobertura Vegetal 2001.....	111
Anexo 4 Cobertura Vegetal 2005	112
Anexo 5 Cobertura Vegetal 1975-1976, Población, Asentamientos Humano y Red Vial.....	113
Anexo 6 Cobertura Vegetal 1987, Población, Asentamientos Humano y Red Vial.....	114
Anexo 7 Cobertura Vegetal 2001, Población, Asentamientos Humano y Red Vial.....	115
Anexo 8 Cobertura Vegetal 2005, Población, Asentamientos Humano y Red Vial.....	116

Índice de Gráficos, Tablas y Figuras

Gráficos	Página
Gráfico 1 Comparación de cambios en la cobertura vegetal en relación a la población total de la zona de estudio.....	71
Tablas	Página
Tabla 1 Tipo de Topografía.....	12
Tabla 2 Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero.....	29
Tabla 3 Principales características del sensor landsat.....	35
Tabla 4 Variable a utilizar en el modelo de regresión logístico.....	53
Tabla 5 Sensores y escenas a utilizar para la evaluación de los cambios en la cobertura vegetal.....	54
Tabla 6 Información vectorial y datos tabulares a usar.....	55
Tabla 7 Municipios ubicados en la zona de estudio.....	57
Tabla 8 Resultados de la investigación.....	60
Tabla 9 Comparación de cambios en la cobertura vegetal en relación a la población total de la zona de estudio.....	70
Tabla 10 Regresión logística con una variable independiente: población del censo de 1974.....	78
Tabla 11 Regresión logística incorporando el uso de la madera para construcción de paredes, piso, alumbrado y cocina.....	80
Tabla 12 Estadísticas predictivas del modelo 1974.....	81
Tabla 13 Regresión logística con una variable independiente: población total para zona de estudio, censo de 1988.....	82
Tabla 14 Regresión logística, población del censo de 1988 desagregadas por edad.....	83
Tabla 15 Modelo de regresión logístico, población desagregada por edad y por usos de la madera para 1988.....	85
Tabla 16 Estadísticas predictivas del modelo 1988.....	86
Tabla 17 Regresión logística con una variable independiente: población total para la zona de estudio, censo de 2001.....	87
Tabla 18 Regresión logística con varias variables independientes: población del censo de 2001 desagregada por edades.....	88
Tabla 19 Modelo de regresión logístico, usos de la madera para el 2001.....	90
Tabla 20 Estadísticas predictivas del modelo 2001.....	91
Tabla 21 Regresión logística con una variable independiente: población total proyectada por el INE para el año 2005.....	93
Tabla 22 Regresión logística con varias variables independientes: población proyectada por el INE, en base al censo de 2001 para el año 2005 desagregada por edades.....	94
Tabla 23 Estadísticas predictivas del modelo 2005.....	95
Figuras	Página
Figura 1 Mapa conceptual mostrando la problemática que se tratará de evaluar en esta investigación.....	30
Figura 2 Zona de estudio, path / row 17-50.....	37

Figura 3 Principales Ventajas de la Teledetección.....	38
Figura 4 Algoritmo de mínima distancia.....	44
Figura 5 Clasificador de paralelepípedos.....	45
Figura 6 Área de estudio.....	58
Figura 7 Layer Stack.....	62
Figura 8 Proceso para reproyección de WGS84 a UTM zona 16.....	63
Figura 9 Proceso para cálculo del Índice Normalizado de Vegetación (NDVI)	64
Figura 10 Mosaico de escenas 17-50 del 16 de marzo de 1976 y 18-50 del 23 de marzo de 1975.....	64
Figura 11 Índice Normalizado de Vegetación, mostrado en el canal verde.....	64
Figura 12.1.a Escena 17-50 de 22/enero/1987	65
Figura 12.1.b NDVI realzando cobertura en la escena 17-50 de 22/enero/1987	65
Figura 12.2.a Escena 17-50 de 16/febrero/2005	65
Figura 12.2.b NDVI realzando cobertura en la escena 17-50 de 22/enero/1987.	65
Figura 12.3.a Escena 17-50 de 16/febrero/2005.....	66
Figura 12.3.b NDVI realzando cobertura en la escena 17-50 de 16/febrero/2005.....	66
Figura 13 Ejecución de algoritmo ISODATA para agrupación de clústeres.....	66
Figura 14 Clasificación de clústeres mediante la utilización del editor de atributos para archivos raster.....	67
Figura 15 Reagrupación de clústeres mediante filtro denominado vecino más cercano de 3 x 3.....	68
Figura 16.1 Resultado de la aplicación del filtro vecino más cercano con una matriz de 3 x 3 en mosaico de escenas de 1975 y 1976.....	68
Figura 16.2 Resultado de la aplicación del filtro vecino más cercano con una matriz de 5 x 5 en mosaico de escenas de 1975 y 1976.....	68
Figura 16.3 Resultado de la aplicación del filtro vecino más cercano con una matriz de 7 x 7 en mosaico de escenas de 1975 y 1976.....	68
Figura 17 Dinámica de Cambios en la Cobertura Vegetal.....	69
Figura 18 Mapas de Cobertura Vegetal, Población, Red Vial y Centros Poblados.....	73
Figura 19 Utilidad que nos permite realizar diversas acciones con dos coberturas	75
Figura 20 Mecanismo para importar bases de datos a Stata SE.....	76

Siglas y Acrónimos

CBM	Corredor Biológico Mesoamericano
CCAD	Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo
COHDEFOR	Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal
COPECO	Comité Permanente de Contingencias
ESA	Agencia Espacial Europea
ESNACIFOR	Escuela Nacional de Ciencias Forestales
ETM+	Mapeador Temático Mejorado (Enhanced Thematic Mapper Plus)
FAO	Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GPS	Sistema Global de Posicionamiento
ICF	Instituto de Conservación Forestal
IGN	Instituto Geográfico Nacional
IHAH	Instituto Hondureño de Antropología e Historia
INE	Instituto Nacional de Estadísticas
INYPSA	Informes y Proyectos S.A.
IPCC	Panel Intergubernamental para el Cambio Climático
ISODATA	Algoritmo de agrupación y organización de datos
LOGIT	Modelos de Regresión Logística
MIZCO	manejo integrado de zonas costeras
MLG	Modelos Lineales Generalizados
MOU	Memorando de entendimiento
MSS	Scanner Multiespectral de Landsat (Multispectral Scanner)
NASA	Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio
ND	Niveles Digitales
NDVI	Índice Normalizado de Vegetación
ONG	Organización no Gubernamental
PACHAMAMA	Madre tierra
PATH	Proyecto de Administración de Tierra de Honduras
PMDN	Proyecto de Mitigación de Desastres Naturales
PNUD	Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo
PNUMA	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PRONOT	Programa Nacional de Ordenamiento Territorial
SAG	Secretaría de Agricultura y Ganadería
SAM	Sistema Arrecifal Mesoamericano
SERNA	Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente
SERVIR	Sistema Regional de Visualización y Monitoreo
SIAM	Sistema de Información Ambiental Mesoamericano
SIG	Sistema de Información Geográfico
SOPTRAVI	Secretaría de Obras Públicas, Transporte y Vivienda
SPSS	Paquete estadístico para las Ciencias Sociales

STATA	Paquete estadístico (Statistics/Data Analysis)
TM	Mapeador Temático de Landsat (Thematic Mapper)
UNAH	Universidad Nacional Autónoma de Honduras
UPM	Universidad Politécnica de Madrid
USGS	Servicio Geológico de los Estados Unidos

UDI-DEGT-UNAH

Introducción, Objetivos y Justificación

Introducción

Esta investigación intentará determinar cuáles han sido los cambios en la cobertura vegetal¹ (incremento o reducción) en un período de tiempo que inicia en 1975 y finaliza en el 2005, mediante el uso de sistemas de información geográficos y sensores remotos, utilizando una técnica denominada: teledetección².

La teledetección junto a otras técnicas de procesamiento de información geográfica, permiten la disponibilidad de un gran cúmulo de datos sobre el territorio, permitiendo la ejecución de diversas investigaciones en diversas áreas como: determinar el crecimiento de los centros poblados, cambios en la cobertura boscosa, uso del territorio como elemento fundamental en los planteamientos para la ordenación del territorio, impactos que se tienen como consecuencia de los fenómenos naturales (desastres), masa boscosa se ha ganado o perdido en dicha zona, localización de sitios arqueológicos desconocidos, entre otros (Chuvieco, Teledetección Ambiental, 2008).

Se tomará como caso de estudio un área geográfica específica de la República de Honduras, específicamente los municipios cubiertos de forma completa en la escena 17-50³ de los departamentos de Francisco Morazán, Olancho y El Paraíso.

Así mismo, se intentará analizar la relación entre la dinámica poblacional y la dinámica de cambios en la cobertura vegetal, así como otros elementos influyentes en que dichos cambios ocurran mediante la aplicación de modelo de regresión logística, determinando la

¹ La **cobertura vegetal** puede ser definida como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomásas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales. También se incluyen las coberturas vegetales inducidas que son el resultado de la acción humana como serían las áreas de cultivos (GeoInstitutos).

² Teledetección: “es la adquisición de información sobre un objeto a distancia, esto es, sin que exista contacto material entre el objeto o sistema observado y el observador” (Sobrin, 2000); Es la traducción del vocablo inglés remote sensing, determinado en la década de los 60’s para identificar cualquier medio de observación a distancia o remota, es una técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores aéreos o espaciales (Chuvieco, Teledetección Ambiental, 2008).

³ Yuscarán, Alauca, Danlí, El Paraíso, Guinope, Jacaleapa, Morocelí, Oropolí, Potrerillos, San Matías, Teupasenti, Trojes en el Departamento de El Paraíso, San Antonio de Oriente, Valle de Angeles, Villa de San Francisco en el Departamento de Francisco Morazán, y, Juticalpa, Campamento, Concordia, El Rosario, Guarizama, Jano, La Unión, Manto, Salamá, San Francisco de Becerra, San Francisco de La Paz, Santa María del Real, Silca, Patuca en el Departamento de Olancho.

probabilidad de impacto (explicación) que podrían tener estos los cambios sobre la dinámica de cambios en cobertura vegetal evaluados mediante escenas del sensor landsat MSS, TM y ETM+ de 1975, 1987 y 2001 contrastado con los tres últimos censos poblacionales levantados por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) 1974, 1988 y 2001.

Uno de los principales usos de las imágenes de satélite a través de la teledetección es la determinación de cambios que se producen a lo largo del tiempo y en especial después de los impactos generados por un fenómeno natural – desastres naturales – así como también los cambios generados por las acciones antrópicas. Muchas veces estos cambios son abruptos y muy pocas veces previsibles por lo que a partir de las imágenes de los satélites de órbita polar se obtienen datos de media, alta y muy alta resolución necesarios para un análisis preciso de los cambios en la cobertura del suelo. Por lo tanto, estas imágenes son un instrumento efectivo para generar rápidamente mapas y aplicaciones que facilitan la generación de cartografía temática permitiendo hacer las evaluaciones multitemporales y de hecho determinar la dinámica de los cambios en uso del suelo⁴.

Desde los años 90 se desarrollan en Centroamérica algunos proyectos que utilizan esta tecnología como: Sistema de Información Ambiental Mesoamericano (SIAM) , Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM), Corredor Biológico Mesoamericano (CBM), asimismo otros proyectos o instituciones locales como: Proyecto de Mitigación de Desastres Naturales (PMDN), Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal (COHDEFOR) hoy Instituto de Conservación Forestal (ICF), Escuela Nacional de Ciencias Forestales (ESNACIFOR) entre otros.

Para estos estudios se ha utilizado la teledetección, como un instrumento para el análisis de fenómenos naturales (huracanes, tormentas tropicales), incendios forestales, cobertura forestal, usos del territorio, inventarios y priorización de la superficie, obteniendo información de una manera rápida, precisa y cuantificada (Marshall Space Flight Center Earth Science Office (NASA)).

⁴ Uso del suelo se entiende como los arreglos, actividades y los insumos se comprometen en un país determinado tipo de cobertura para producir, cambiar o mantener la misma. (Gregorio, 2005)

La aplicación de esta metodología en Honduras es relativamente reciente de implementación, causando novedad, incluso dentro de la misma comunidad científica nacional vinculada al tema. Estas son impulsadas desde algunas instituciones como: la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA), mediante memorando de entendimiento (MOU), cooperación y apoyo firmado en 1998 entre la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) en representación de las Secretarías de Recursos Naturales y Ambiente a nivel centroamericano y NASA (NASA-CCAD, 1998), este MOU ha permitido la conformación del Sistema de Información Ambiental Mesoamericano (SIAM) y el Sistema Regional de Visualización y Monitoreo (SERVIR).

Existen otro tipo de aplicaciones que se fundamentan en la teledetección, actualmente se desarrolla una investigación en el marco del convenio PCIAE CID A/019450/08 desarrollado en forma interinstitucional (UNAH, IHAH y Universidad Politécnica de Madrid (UPM)), donde se han definido cuatro zonas para el estudio (Valle de Jesús de Otoro y Región sur del Departamento de Choluteca, Valle de Copán y Río Aner en la Biosfera del Río Plátano) que tienen características geomorfológicas o sea la forma de la tierra o el terreno de hábitat y grupos étnicos diferentes, siendo esto una ventaja que permitirá extrapolar dichos resultados en el resto de las zonas arqueológicas de Honduras. La integración de estos datos multifuentes con SIG pueden posibilitar el análisis geoespacial de las regiones y la interconexión entre los distintos procesos: naturales e históricos, permitiendo generar modelos capaces de prevenir y anticipar los efectos de posibles situaciones de riesgo (Rejas, y otros, 2009).

Los insumos fundamentales para la realización de la investigación son imágenes de un sensor llamado Landsat, el cual proporciona información del planeta desde los años 70, siendo el bosque y el medio ambiente las áreas en que se han desarrollado la mayor cantidad de aplicaciones, sin embargo hoy día también se desarrollan aplicaciones orientadas a: arqueología, fenómenos naturales, desastres, cambio climático, ordenamiento territorial, entre otras.

Este tipo de tecnologías han dado paso a una nueva generación de herramientas fundamentales para la toma de decisiones tanto para inversionistas, científicos, entidades

académicas como políticas, insertándose en diferentes niveles nacionales e internacionales en materia de investigación, academia, políticas gubernamentales entre otros.

Hoy día se han convertido en instrumento fundamental que contribuye en el manejo y desarrollo sostenible de los recursos naturales de los países, en especial aquellos relacionados con los usos y cambios de la cobertura vegetal, usos del territorio, evolución de frontera agrícola y administración forestal. Este conocimiento ayuda en la planificación, modelación, prevención y mitigación, alerta temprana en diferentes aspectos como la velocidad de la tasa de deforestación permitiendo implementar las medidas correctivas necesarias para el manejo racional de dichos recursos.

Las escenas de este sensor disponen de un área efectiva de cobertura de 182 km x 182 km (requiriendo 12 escenas para conformar el mosaico hondureño), incrementando enormemente la relación costo-beneficio, abaratando los costos relativos al desarrollo de evaluaciones multitemporales o de cualquier época que se requiera desde la implementación del sensor (1972).

Finalmente, con esta investigación se tendrá la capacidad de demostrar que municipios han perdido cobertura vegetal, que municipios han tenido regeneración o si en su defecto se ha mantenido estable en el tiempo, pudiendo apoyar a las autoridades en la construcción de diversos planes de desarrollo sostenible, garantizando el equilibrio entre la humanidad y la naturaleza, asimismo, medir la probabilidad de la influencia de la población sobre los cambios que se dan en la cobertura vegetal en la zona de estudio.

Objetivos de la Investigación

Objetivo General

Evaluar la dinámica de cambios ocurridos en la cobertura vegetal para el período 1975 a 2005 en 29 municipios cubiertos de forma completa por la escena landsat 17-50 comprendidos de los departamentos de Olancho (14), Francisco Morazán (3) y El Paraíso (12).

Objetivos Específicos

1. Zonificar (tierra con cobertura y tierra sin cobertura) las escenas de los años 1975, 1987, 2001 y 2005, permitiendo determinar los cambios en la cobertura vegetal para dicho período mediante una variable dicotómica a través de un análisis multitemporal para el período 1975-2005.
2. Analizar a través de un modelo de regresión logístico el grupo poblacional que mejor explica la dinámica de cambios en la cobertura vegetal contrastando escenas landsat de 1975-1976, 1987, 2001 y 2005 con la población de los últimos tres censos poblacionales (1974, 1988 y 2001).
3. Analizar a través de un modelo de regresión logístico el uso de la madera que mejor explica la dinámica de cambios en la cobertura vegetal para un período de tiempo entre 1975 y 2005 (población que utiliza madera en la construcción de viviendas (paredes y pisos) y fuente de energía (cocina y alumbramiento)).

Justificación

El mundo participa de una nueva tendencia de desarrollo mundial denominada “Globalización” en diversas áreas: tecnológicas, económicas, entre otras, nuevos esfuerzos se llevan a cabo, incrementando los resultados obtenidos de las tecnologías de la información que permiten el manejo de gran cantidad de documentos, bases de datos y registros en forma simultánea. Así mismo, la correcta administración y toma de decisiones sobre el uso racional y sostenible de los recursos naturales del planeta.

La humanidad se enfrenta a enormes cambios, por lo que busca diversos mecanismos para adaptarse a dichos cambios, como por ejemplo el manejo sostenible de los recursos, y en el caso hondureño, con especial énfasis en la cobertura forestal. Actualmente Honduras, al igual que el resto del mundo, experimenta cambios bruscos tanto en temperatura como en lluvias generando eventos extremos. Esto influye directamente en los ecosistemas y por ende en la cobertura boscosa (incluyendo la flora y la fauna) (Locatelli, 2006)

Se torna imperativo poder contar e implementar algunas políticas, sobre todo forestales, que ayuden a utilizar y conservar de forma sustentable los bosques como también la vida que de ellos se deriva. Éstas políticas son fundamentales para restituir las condiciones actuales de los bosques y lograr un desarrollo adecuado tanto de estos como de los seres vivos que se benefician de sus recursos. Las florestas son trascendentales para proveer recursos y servicios ambientales que garantizan la permanencia de la humanidad como a la vida silvestre, la biodiversidad, la salud humana y por ende la economía local y regional. Asimismo, los bosques contribuyen directamente con la producción y suministro de comida, medicinas, madera, entre otros.

Algunos hondureños hacen uso del bosque de manera irracional sin percatarse que: “La degradación de los bosques ocasiona una disminución de sus múltiples funciones ambientales y una pérdida de su valor económico” (Mery, y otros, Bosques que Beneficien a la Gente y Sustentan la Naturaleza, Políticas forestales esenciales para América Latina, 2009: 7). (Mery, y otros, Bosques que Beneficien a la Gente y Sustentan la Naturaleza, Políticas forestales esenciales para América Latina, 2009)

Periódicamente el país enfrenta inundaciones, sequías, cierre de los aeropuertos por falta de visibilidad (bruma y nubosidad), enfermedades gastrointestinales y respiratorias, sin poder contar todavía con verdaderos mecanismos de alerta, prevención y mitigación.

Las causas principales que contribuyen al deterioro ambiental están contenidas en el frágil sistema político y ejecutorio de las leyes medio ambientales y en el deleznable enlace de las instancias del gobierno con la sociedad civil y la comunidad internacional. En Resumen, las lagunas en el marco legal como en la ejecución de acciones de forma eficiente representan enormes dificultades para el aprovechamiento sustentable del medioambiente⁵ (FOSDEH, 2008).

Todas las acciones antes expuestas provocan cambios en el uso de la tierra, mismos que han sido el resultado de un proceso largo de siglos de coexistencia en la tierra aplicando políticas que han fracasado en alcanzar el desarrollo sustentable.

Honduras es afectada por diversos factores que están generando deterioro y degradación ambiental⁶, donde aún se creen que se cuenta con la misma proporción de bosque como la que se tenía en los años 70, de tal manera que esta investigación se enfocará en determinar cuál ha sido la dinámica de cambios en la cobertura vegetal; así como determinar el impacto que la población ejerce en la cobertura vegetal. Lo que servirá para determinar las mejores soluciones en términos políticas públicas y de actitud personal y comunal de los habitantes locales.

⁵ **El estudio sobre Diversidad Biológica de Honduras** (SERNA, 2001) asegura que el país cuenta con un invaluable tesoro nacional: 2,5% de la flora mundial. Adicionalmente establece que el 53% del país tiene bosques en diversos grados de preservación. Dentro de los ecosistemas primordiales pueden mencionarse: el bosque latifoliado, el bosque de coníferas y el bosque de mangle. Aún con toda esta riqueza, diariamente se visualiza la equivocada utilización de la misma que conlleva irremediablemente al deterioro ambiental. Esto provoca una baja en las fuentes de empleo que causan una precipitada inmigración de los pobladores rurales a las grandes urbes.

⁶ Es la fragmentación de hábitats humanos, la degradación y/o pérdida de ecosistemas y sus especies. La erosión es uno de los principales resultados adversos en la tierra y la humanidad enfrenta. Asimismo, el deterioro ambiental tiene consecuencias económicas, sociales y culturales que tienden a agravarse con el paso del tiempo, debido a la falta de sensibilización, buenas prácticas y desarrollo sostenible (PNUMA, CCAD, 2005).

Otros factores importantes en la destrucción o degradación de las formaciones naturales son la extracción de leña y el turismo (Gómez, Godoy, Herrera-MacBryde, & Villa-Lobos, 1997). Por lo que la extracción de leña utilizada como combustible doméstico significa una muy buena porción de consumo energético no solo en Honduras sino en el istmo, lo que tiene un enorme impacto en la degradación de los ecosistemas (PNUMA, CCAD, 2005).

Marco Referencial

Perfil Hondureño

Honduras cuenta con el siguiente perfil (Soihet, Kleinn, Corrales, & Gamero, 2000):

1. Geográficamente se ubica entre los 13°33' 16" de latitud norte y entre los 83° 8' 89" de longitud oeste, teniendo una extensión total de 112,492 km².
2. Limita al norte con el mar Caribe o de las Antillas; al sur con la República de El Salvador y el Golfo de Fonseca, que comparte con Nicaragua y El Salvador; al este con Nicaragua, al sur oeste con El Salvador y al Oeste con Guatemala, contando con una extensión litoral o de costas de 820 km.
3. Por su ubicación en el hemisferio es un país de clima Sub-Tropical. El clima es cálido y húmedo en las costas (temperatura media 31°C), más templado en la zona montañosa.
4. De acuerdo con la clasificación de Zonas de Vida de Holdridge⁷, en Honduras se pueden encontrar 8 zonas de vida: bosque húmedo tropical, bosque seco tropical, bosque muy seco tropical, bosque muy húmedo sub-tropical, bosque húmedo sub-tropical, bosque húmedo montano bajo y bosque muy húmedo montano bajo, sin embargo, en Honduras, solamente se distinguen dos estaciones: la lluviosa de junio a octubre y la seca de noviembre a mayo.
5. Cuenta con una topografía montañosa y accidentada, fuertes pendientes con suelos poco profundos y recientes. La cordillera Centroamericana que atraviesa el país de noroeste a sureste, lo divide en dos grandes regiones la oriental y la occidental, con alturas que sobrepasan los 2000 msnm, encontrando también fértiles valles y sabanas donde habita gran parte de la población, asimismo, debido a su ubicación está sujeta a violentos huracanes sobre todo en las costas del Atlántico, los que provocan deslizamientos, inundaciones, entre otras consecuencias.

⁷ Proyecto para la clasificación de las diferentes áreas terrestres según su comportamiento global bioclimático. Fue desarrollado por el botánico y climatólogo estadounidense Leslie Holdridge (1907-1999), quién propuso en 1947 su ya bien conocido Sistema de Clasificación Ecológica de las Zonas de Vida del Mundo. Holdridge observó que ciertos grupos de ecosistemas o asociaciones vegetales, corresponden a rangos de temperatura, precipitación y humedad, de tal forma que pueden definirse divisiones balanceadas de estos parámetros climáticos para agruparlas, eliminando la subjetividad al hacerlo (Céspedes & Tosi, 2000).

La topografía hondureña se distribuye de la siguiente manera SERNA (1997):

Tabla 1: **Tipo de Topografía**

	%
Montañosa	41,9
Colinas	29,9
Zonas Onduladas	6,6
Zonas Planas	21,5

Fuente: (SERNA, 1997)

El 87.7% de la superficie en el territorio hondureño es de vocación forestal, donde se distinguen básicamente cinco (5) tipos de bosque: bosque de coníferas o pinares, bosque latifoliado, bosque nublado, bosque seco y bosque de mangle; sin embargo el 37.2% de estas tierras son dedicadas a otros usos para los cuales el suelo no está preparado para ofrecer el óptimo rendimiento (Soihet, Kleinn, Corrales, & Gamero, 2000), ya que la producción forestal contribuye menos del 5% del Producto Interno Bruto (CONADEH, 2007).

“A pesar de la alta diversidad de especies y la importancia de estos ecosistemas la atención se ha enfocado solamente al manejo de los bosques de pino, con poca atención a los bosques latifoliados y de mangle. Los bosques nublados y secos no han sido inventariados como unidades diferentes y la atención a su manejo ha sido casi nula” (Soihet, Kleinn, Corrales, & Gamero, 2000: 11)

El bosque a nivel mundial cambia no solo en cantidad, sino en calidad así como de forma positiva y negativa, estos cambios están vinculados a: factores sociales, económicos y ambientales, concluyendo: “La información cita diversas causas del cambio de cobertura entre las principales están: crecimiento poblacional, avance de frontera agrícola y ganadería extensiva, políticas agrícolas y forestales, tenencia de la tierra, demanda de leña, etc. Los esfuerzos por detener estos procesos no han dado los resultados esperados y en algunos casos han agudizado el problema” (Soihet, Kleinn, Corrales, & Gamero, 2000: 13).

En la identificación de las causas que generan el cambio de la cobertura vegetal se debe comprender las decisiones que una población toma en relación al uso que le da a la tierra, dividiéndose en dos categorías: proximidad (directa o local) y subyacente (indirecto o

globales); asimismo, se debe evaluar el contexto de factores socio – ambientales que interactúan en esas decisiones. Estas decisiones se fundamentan en una amplia gama de escalas espaciales como: prácticas locales de uso del territorio, políticas públicas, sistema económico, entre otros (Lambin & Geist, 2007).

Asimismo, las causas directas o inmediatas que generan el cambio en la cobertura vegetal suelen explicar cómo y por qué los ecosistemas se han modificado por la incidencia de los seres humanos y que son de carácter endógeno, siendo más “sencillas” de controlar (ej. actividades agro-industriales). Por otro lado las causas subyacentes son de carácter exógeno y más difícil de controlar, funcionando de forma más difusa, explicando un contexto más amplio de las fuerzas fundamentales que inciden en una sociedad (ej. Política Ambiental, Ley de Ordenamiento Territorial, otras) (Lambin & Geist, 2007) .

Las aseveraciones anteriores motivan a preguntar: ¿Qué factores ocasionan la dinámica de cambios en la cobertura vegetal, en especial aquellos que trastocan las condiciones normales del clima, suelo, ambiente, entre otros?

Principales causas del cambio de uso de la tierra

De acuerdo a la Agencia Espacial Europea (2006), el entendimiento del funcionamiento de la tierra no es un simple ejercicio académico, se deben conocer cuáles son las interacciones inherentes a su evolución como también el comportamiento de la humanidad en las diferentes épocas. Estos tienen una importancia fundamental en el desarrollo sostenible (administración y gestión), así como la capacidad de obtener beneficios sostenibles de la tierra; quedando claro que la actividad humana tiene el mayor peso en los impactos de los cambios en la tierra (European Space Agency, 2006).

Existen diversos patrones o comportamientos en la humanidad que inciden en los cambios de la tierra como: deforestación, degradación de los recursos hídricos, incendios forestales, uso de combustibles fósiles, uso del suelo, entre otros. Se debe tener claro que estos factores locales y regionales producen cambios (en ocasiones irreversibles) que trascienden a nivel

mundial, y que recientemente estos cambios son objetivo de estudio, lo que genera muy poca comprensión de las consecuencias de los cambios en la tierra, de la humanidad como de todas las formas de vida existentes (European Space Agency, 2006) .

Desde hace más de 40 años, la percepción remota permite la observación de la tierra desde el espacio, desarrollándose herramientas para la evaluación y comprensión sobre la dinámica del funcionamiento de la tierra y sus cambios, dando la oportunidad a los investigadores realizar estudios en diversas áreas como: ambiente, recursos naturales, geología, fenómenos naturales, incendios forestales, cobertura vegetal, entre otros (European Space Agency, 2006).

Estas herramientas junto con los cambios que se pueden dar en la conciencia de la humanidad, modelos económicos, políticas nacionales e internacionales, convenios y tratados son de vital importancia, siendo capaces de poder contribuir a generar un desarrollo sostenible, teniendo que realizar muchos esfuerzos para crear los escenarios, marco legal y modelos económicos orientados al manejo racional de los recursos naturales, logrando un desarrollo sostenible (PNUMA, 2002).

Factores de mayor incidencia en los cambios en la Cobertura Vegetal

A nivel mundial existen cinco factores que inciden fuertemente en los cambios que se experimentan en la cobertura vegetal: **a. Económicos y Tecnológicos**, **b. Demográficos**, **c. Institucionales**, **d. Culturales** y **e. Globalización**. Siendo los factores demográficos los que tiene mayor incidencia en la dinámica de cambios de la cobertura vegetal (Lambin & Geist, 2007) (Locatelli, 2006).

A continuación se explica en que consiste cada uno de ellos, asimismo, en la sección destinada al planteamiento del problema se detallarán dichos factores en el marco de la realidad hondureña.

1. *Económicos y Tecnológicos*

Se refiere a los factores económicos y a las políticas agrarias que tienen una influencia directa en precios, impuestos y subsidios a los insumos y productos obtenidos del uso del suelo.

Asimismo, la desigualdad en la distribución de la riqueza, también determina quiénes y cómo son capaces de desarrollar, utilizar y beneficiarse de las nuevas tecnologías, aumentando sus beneficios obtenidos de la tierra (agroindustria: ej. agricultura que se caracteriza por la utilización de tecnologías orientadas a la producción a gran escala de monocultivos para la exportación).

Los cambios económicos y tecnológicos tiene una incidencia mayor en el mercado y las políticas públicas implementadas por el Estado, mismos que impulsan acciones hacia la agricultura intensiva y extensiva desarrollada en las mejores tierras del país dejando de lado la agricultura de subsistencia caracterizada por el uso de bajas tecnologías, por la disposición de pocos incentivos económicos y por ser la que proporciona alimentos en el mercado nacional.

2. *Demográficos*

Los incrementos al igual que las disminuciones en la población generan un impacto en el uso del suelo, estos cambios influyen en la estructura y la dinámica del hogar, mano de obra, migración, urbanización, entre otros.

Uno de los factores que generan un mayor impacto, y quizás el más importante es la migración; este influye rápidamente en los cambios en uso del suelo así como en políticas gubernamentales, patrones de consumo, economía, entre otros.

3. *Institucionales*

Los cambios en el uso del suelo se ven influenciados fuertemente por el sector político, jurídico, económico así como por instituciones donde se toma decisiones sobre la administración y gestión del territorio. El deterioro ambiental, la degradación del suelo como otras consecuencias negativas, son el resultado de políticas débiles, mal definidas y carentes de una adecuada implementación (ej. La Ley de Ordenamiento Territorial, Ley general del Ambiente).

4. *Culturales*

Este es un factor muchas veces intangible, que no es tomado en cuenta, sin embargo una población cuenta con: motivaciones, memorias colectivas, historias personales, actitudes, valores, creencias y percepciones individuales y colectivas.

Estos factores tiene una enorme influencia en las actitudes y toma de decisiones de una población sobre el uso del suelo, generando consecuencias ambientalmente adversas (ejemplo: la degradación del suelo, cambio climático, gases de efecto de invernadero, calentamiento global, inundaciones, erosión, entre otros).

5. *Globalización*

Los procesos de globalización amplifican o atenúan las fuerzas que conducen los cambios del uso de la tierra, teniendo influencias en las políticas macroeconómicas que definen las condiciones en que juegan la oferta y demanda de bienes y servicios en los mercados internacionales, las cuales son importantes, pues condicionan el uso y explotación irracional de los recursos naturales especialmente en países con ecosistemas frágiles.

Sin embargo también se puede contribuir a mejorar las condiciones ambientales a través de mecanismos de desarrollo limpio (ej. Certificados verdes, captura de carbono, desarrollo de tecnologías limpias para la generación de energía, etc.),

incluyendo la temática en el pensum académico a de las escuelas y universidades, aportando elementos consistentes para lograr sensibilizar a la población, permitiendo así establecer el proceso hacia el desarrollo sostenible⁸.

En diferentes convenciones como la de Cambio Climático⁹ (protocolo de Kyoto), los países desarrollados y más ricos siguen actuando de forma insensible, teniendo el 20% de la población mundial, quienes utilizan el 60% de los recursos energéticos del mundo, se espera que para el año 2050 la tierra cuente con unos 9 mil millones de personas, generando una enorme presión sobre los recursos naturales, es importante meditar sobre nuestro futuro en la tierra y el impacto que nuestras acciones tienen, por lo tanto, la educación y sensibilización es vital para la protección del medio ambiente, logrando un desarrollo sostenible (PNUMA, 2002).

⁸ Desarrollo Sostenible es la posibilidad de utilizar los recursos de las actuales generaciones sin restar la capacidad a las generaciones futuras de hacer uso de ellos en el momento oportuno (PNUMA, 2002).

⁹ Ejemplo: Protocolo de Kyoto firmado por primera vez el 11 de diciembre 1997 y ratificado el 18 de noviembre de 2004, fuente: UNFCCC. "United Nations Framework Convention on Climate Change." From: http://unfccc.int/portaal_espanol/essential_background/kyoto_protocol/items/3329.php.

***Dinámica de Cambios en la
Cobertura Vegetal en Honduras***

Planteamiento del Problema

Honduras, no está exenta de enfrentar los 5 factores de mayor incidencia en la dinámica de cambios en la cobertura vegetal y el uso de la tierra que de acuerdo a Lambin y Geist (2007) y Locatelli (2006) deben tomarse en cuenta al evaluar los cambios en la cobertura vegetal.

Evaluación de factores que incrementan el cambio en la Cobertura Vegetal en el contexto hondureño

1. Económicos y Tecnológicos

De acuerdo a la hoja metodológica para calcular el indicador de cobertura forestal utilizada por la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA, 2005), el valor ecológico que tienen los recursos naturales es invaluable. El desarrollo, convivencia y permanencia de la humanidad en el planeta no se podría llevar a cabo sin ellos. En el caso específico de los bosques, además de los productos que se obtienen como: semillas, madera, resina; también ayudan a renovar el oxígeno y absorber el dióxido de carbono (CO₂). Son estupendos aliados para el cuidado natural de las cuencas hidrográficas coadyuvando a la conservación de la vida silvestre.

Indudablemente, uno de los factores que impactan de forma directa en el deterioro ambiental es el incremento de actividades agroindustriales en terrenos inadecuados, irrespeto de la capacidad de uso la tierra, sobre explotación del suelo y desarrollo de infraestructuras en zonas vulnerables y suelo fértil.

Estas actividades tienen como consecuencia el aumento de reacciones negativas en el planeta como los deslizamientos, erosión, sedimentación, inundaciones. La carencia de políticas nacionales en materia de manejo integrado de zonas costeras (MIZCO) da como resultado enormes pérdidas ambientales, sociales y económicas (SERNA, 2000).

2. Demográficos

Los factores demográficos, incluyendo el crecimiento poblacional, densidad, fertilidad, mortalidad y la composición de la familia generan una enorme influencia en el uso y

cambios de uso de la tierra. Asimismo, la migración humana de las áreas rurales a las urbanas, movimientos entre países por razones políticas o económicas, también influyen significativamente en los cambios en el uso de la tierra (Entwisle, Stern, & National Research, 2005) (Locatelli, 2006).

En la actualidad, Honduras cuenta con una población de 7, 876,197 habitantes de los que 3, 882,731(49.30%) son hombres y 3, 993,466 (50.70%) son mujeres (INE, 2010), habiéndose generado un incremento de 5,219,249 (66.27%) desde el censo levantado en 1974 cuando solamente existía una población censada de 2,656,948 - 1,317,307 (49.58%) hombres y 1,339,641 (50.42%) mujeres - (Dirección General de Estadística y Censos, 1974).

A pesar de las condiciones socio-económicas del país, “Honduras posee una de las tasas de crecimiento de población más altas de América Latina, que unida a una alta tasa de migración rural-urbana, han provocado un rápido crecimiento de la población que reside en zonas urbanas” (SERNA, 2000: 55).

Investigaciones recientes demuestran que los efectos de la población no depende solamente de la cantidad, sino de la migración que esta población realiza, el tamaño del hogar como otras variables demográficas; estas incluyen la vinculación social con datos ambientales para determinar en tiempo y espacio las causalidades en la dinámica de cambios de la cobertura vegetal, en Honduras también se cuenta con importantes flujos migratorios como también incrementos en la densidad poblacional, generando problemas para el manejo de desechos, deforestación, tala ilegal¹⁰ entre otros (Entwisle, Stern, & National Research, 2005).

Honduras todavía cuenta con una extensa cobertura forestal, sin embargo, en los últimos 30 años se ha reducido considerablemente, teniendo pérdidas que oscilan entre las 80,000 y 100,000 hectáreas anuales de bosque debido a la ampliación de la frontera agrícola,

¹⁰ En agosto de 2008, el Comisionado Nacional de los Derechos Humanos (CONADEH) y diversas organizaciones gubernamentales y de la sociedad civil firmaron el Reglamento Interno del Comité Consultivo Interinstitucional, con el propósito de controlar y detener la tala y el comercio ilegal de la madera en Honduras, por concepto de multas a los infractores y por el decomiso de productos forestales ilegales se han percibido ingresos de más de 45 millones lempiras.

incendios forestales y *la tala ilegal* (especialmente en las zonas de bosque latifoliado. Asimismo, la cobertura de bosque de pino, sufre también una reducción debido a: incendios, plagas forestales y aprovechamientos selectivos como también el tráfico ilegal de madera (SERNA, 2005).

Los datos manejados por el Comisionado de los Derechos Humanos de Honduras concuerdan con los datos proporcionados por la SERNA, donde la reducción de la cobertura vegetal merma los servicios ambientales que dichos bosques pudiesen brindar a la población, siendo la tala ilegal una de las causas que más afecta las fuentes de agua e impide el desarrollo humano sostenible; por otro lado es uno de los componentes de uno de los mayores flagelos en nuestro país: *la corrupción pública y privada* (CONADEH, 2007).

Con estos datos se puede concluir que la degradación ambiental derivada de las actividades antropocéntricas constituyen la mayor presión sobre los recursos naturales, en este caso representados por la cobertura vegetal (entendida como el hábitat de una cierta biodiversidad), de tal manera que la presente investigación tratará de mostrar que bajo un contexto de ausencia de políticas ambientales adecuadas, *la densidad poblacional (crecimiento demográfico)* y los desastres “naturales” son los principales factores que afectan los cambios en uso de la tierra, en especial en la cobertura vegetal.

3. *Institucionales*

Se torna imperativo poder contar e implementar algunas políticas sobre todo forestales que ayuden a utilizar y conservar de forma sustentable los bosques como también la vida que de ellos se deriva.

Éstas políticas son fundamentales para restituir las condiciones actuales de los bosques y lograr un desarrollo adecuado para el ecosistema y la humanidad que se beneficia de sus recursos. Las florestas son trascendentales para proveer recursos y servicios que benefician a la humanidad como a la vida silvestre, la biodiversidad, ingresos y empleo.

Asimismo, los bosques contribuyen directamente a la humanidad con comida, medicinas, madera, entre otros.

Una de las causas principales que contribuyen al deterioro ambiental como el débil desarrollo sostenible – ambiental, social y económico – está contenidas en el frágil sistema político y ejecutorio de las leyes medio ambientales y en el deleznable enlace de las instancias del gobierno con la sociedad civil y la comunidad internacional. En Resumen, las lagunas en el marco legal como en la ejecución de acciones de forma eficiente representan enormes dificultades para el aprovechamiento sustentable del medioambiente (FOSDEH, 2008).

4. *Culturales*

La humanidad se enfrenta a enormes cambios – sobre todo climáticos – debido a las intervenciones depredadoras del hombre en la naturaleza. Por lo mismo, la humanidad busca diversos mecanismos para adaptarse a dichos cambios, como por ejemplo el manejo sostenible de los recursos, y en el caso hondureño, con especial énfasis en la cobertura forestal. Actualmente Honduras experimenta cambios bruscos tanto en temperatura como en lluvias generando eventos extremos. Esto influye directamente en los ecosistemas y por ende en la cobertura boscosa (incluyendo la flora y la fauna) (Locatelli, 2006).

Algunos hondureños hacen uso del bosque de manera irracional sin percatarse que: “La degradación de los bosques ocasiona una disminución de sus múltiples funciones ambientales y una pérdida de su valor económico” (Mery, y otros, Bosques que Benefician a la Gente y Sustentan la Naturaleza, Políticas forestales esenciales para América Latina, 2009: 7).

Asimismo, Honduras enfrenta una alta tasa de deforestación de 86,000 ha por año (FAO), siendo uno de los países que encabeza la lista con mayor deforestación en el mundo. La deforestación se acompaña con otros daños al ecosistema como la pérdida de flora,

fauna, migración de especies, deterioro de los ecosistemas y corredores biológicos, destrucción de fuentes de agua, erosión, deslizamientos, entre otras.

5. *Globalización*

El valor ecológico que tienen los recursos naturales es invaluable. El desarrollo, convivencia y permanencia de la humanidad en el planeta no se podría llevar a cabo sin ellos. En el caso específico de los bosques, además de los productos que se obtienen como: semillas, madera, resina; también ayudan a renovar el oxígeno y absorber el dióxido de carbono (CO₂). Son estupendos aliados para el cuidado natural de las cuencas hidrográficas coadyuvando a la conservación de la vida silvestre (SERNA, 2005).

El estudio sobre Diversidad Biológica de Honduras asegura que el país cuenta con un invaluable tesoro nacional: 2,5% de la flora mundial. Adicionalmente que el 53% del país tiene bosques en diversos grados de preservación. Dentro de los ecosistemas primordiales pueden mencionarse: el bosque latifoliado, el bosque de coníferas y el bosque de mangle. Aún con toda esta riqueza, diariamente se visualiza la equivocada utilización de la misma que conlleva irremediablemente al deterioro ambiental. Esto provoca una baja en las fuentes de empleo que causan un precipitado traslado de los pobladores a las grandes urbes (SERNA, 2001).

Como medidas mitigantes, a través de la SERNA se impulsan dos alternativas enmarcadas en Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL): Proyecto Repoblación Forestal y Medios de Subsistencia Sostenibles en Pico Bonito y Proyecto Restauración de Áreas Degradadas del Bosque Seco Tropical, Zona Sur de Honduras.

Asimismo, la SERNA contribuye al mejoramiento de las condiciones ambientales, vendiendo Certificados de Reducción de Emisiones (CER), promoviendo proyectos de energía renovable, Honduras, a través de la SERNA es el primer país en obtener la primera acreditación a nivel mundial de CER el 21 de noviembre del año 2005 (SERNA, 2005).

Adicionalmente, la SERNA es responsable de elaborar la estrategia para la implementación de un Sistema Nacional de Bienes y Servicios Ambientales, permitiendo al país contar con un instrumento guía, ayudando al estado en la recuperación de las condiciones medioambientales, conformando comités de apoyo como: El Comité Nacional de Bienes y Servicios Ambientales de Honduras (CONABISAH) y la creación de la Unidad Técnica de Bienes y Servicios Ambientales al interior de la SERNA (SERNA, 2005).

Consecuencias derivadas de la Dinámica de Cambios en la Cobertura Vegetal

Se menciona las causas, pero, ¿Cuáles son las consecuencias derivadas de la dinámica de cambios en la cobertura vegetal?, (Ellis, 2010) responde:

- a. Los cambios en el uso de la tierra datan desde la prehistoria, teniendo a la fecha consecuencias directas e indirectas debido a dichas acciones; las que pudieron haberse iniciado quemando áreas que les permitiese mayor disponibilidad y oportunidad para cazar, así como también para la agricultura, teniendo como resultado deforestación, la que continúa en el presente.
- b. Posteriormente, el auge de la industrialización, fomentando la concentración de poblaciones humanas, creando las áreas urbanas, así como la despoblación de las zonas rurales (flujos migratorios), intensificando las actividades agrícolas en suelos más productivos, abandonando suelos marginales.

Consecuencias Ambientales

Estas dos causas han detonado consecuencias ambientalmente adversas, que se observan simultáneamente en todo el mundo, tales como:

a. *Pérdida de biodiversidad*

La biodiversidad se ve drásticamente afectada y reducida por los cambios en el uso de la tierra, debido a la necesidad de hacer producir la tierra, el hombre transforma un bosque primario (nativo o intacto) en una finca o granja (uso intensivo y extensivo), produciendo la pérdida de especies forestales dentro de las áreas deforestadas, pérdida que es inmediata y completa, destruyendo ecosistemas y los corredores biológicos.

Asimismo, al introducir nuevas especies (invasión de especies no nativas domesticadas: plantas y animales) se desarrollan nuevas enfermedades y plagas que exponen el ecosistema y los asentamientos humanos.

b. *Cambio Climático*

El uso y cambios de uso de la tierra es uno de los factores primordiales en el cambio climático a nivel mundial, regional y local.

El cambio climático ejerce un impacto negativo, el cual puede ser superado y manejado a través de una efectiva práctica de adaptación. Esto significa que la población debe efectuar ajustes en su estilo de vida y actividades, de tal manera de responder positivamente a los cambios climáticos esperados. Lograr la adaptación no es un proceso fácil, es un paso complejo socio-institucional de co-aprendizaje, donde se debe manejar información en diferentes niveles, permitiendo reducir la vulnerabilidad de las amenazas y riesgos del clima (FAO, 2010).

Es importante, que los planes de adaptación que un país, en este caso Honduras, dependen de factores exógenos y endógenos en todos los entornos de la comunidad nacional e internacional. Esta capacidad depende mucho del desarrollo y visión del país, pero en general estas adaptaciones permiten obtener muchos beneficios positivos en la parte económica como ambiental, así como en la situación actual como futura. Estos cambios deben incluir al menos: cambios en comportamiento, cambios estructurales, respuestas basadas en políticas, respuestas tecnológicas y respuestas de dirección (FAO, 2010).

A nivel mundial, estos cambios generan una liberación de gases de efecto invernadero a la atmósfera, provocando el calentamiento global. Dichos cambios incrementan la liberación de dióxido de carbono a la atmósfera que se deben a las alteraciones provocadas en los suelos y la cobertura vegetal, siendo el principal elemento la deforestación, en especial cuando se deforesta para uso agroindustrial, provocando liberación adicional de carbono debido a las acciones de labranza.

Al deforestar la tierra se modifica el reflejo de la luz solar (albedo), siendo otro factor fundamental en cambio climático global. Los cambios en el albedo puede alterar el balance de temperatura de la superficie de los suelos, aumentando la temperatura observada en las zonas urbanas en comparación con las zonas rurales, conocido como el efecto isla de calor urbano.

c. *Contaminación*

Los cambios que se dan en el uso de la tierra generan cambios importantes en el agua, el suelo y el aire (contaminación); quizás uno de los mayores inconvenientes es la eliminación de la vegetación, dejando los suelos vulnerables, provocando un aumento en la erosión del suelo generada por el viento y el agua, sobre todo en terrenos con pendientes mayores a 15 grados, algunas veces esto se acompaña de incendios liberando contaminantes a la atmósfera.

Esto degrada la fertilidad del suelo, reduciendo la calidad de la tierra para uso agrícola, al mismo tiempo que libera grandes cantidades de fósforo, nitrógeno a la atmósfera y sedimentos a los arroyos y otros ecosistemas acuáticos, provocando impactos negativos (sedimentación, turbidez, entre otros).

Además de la agricultura, la minería también produce impactos, incrementando la contaminación de aguas superficiales por escorrentía y erosión, así como la contaminación de las aguas subterráneas por lixiviación de nitrógeno y metales pesados en exceso.

Uno de los aspectos culturales que por tradición realizan muchas comunidades es: tala, quema y roza de cobertura vegetal, utilizada para “limpiar” el terreno para las actividades agrícolas y pecuarias (ganadería extensiva), siendo un fuerte contribuyente para la contaminación atmosférica local y regional.

d. *Otros impactos*

Existen otros impactos ambientales derivados del cambio en la cobertura vegetal y uso de la tierra:

- i. La destrucción del ozono estratosférico por la liberación de óxido nitroso de las tierras agrícolas, alterando las cuencas hidrográficas debido a: la construcción de represas, drenaje de humedales, proyectos de riego, el aumento de superficies impermeables en las zonas urbanas, crecimiento poblacional.
- ii. Un aspecto importante de mencionar, pudiendo ser una amenaza a largo plazo, en la producción futura de alimentos y otros artículos esenciales obtenidos en la transformación de las tierras productivas a los usos no productivos, es destinar áreas utilizadas como tierras agrícolas para uso residencial y el sobrepastoreo que tiende a la compactación de los suelos utilizados como pastizales en la ganadería extensiva.
- iii. Gases de Efecto Invernadero (GEI), Honduras se ha comprometido a realizar cálculos periódicos de los niveles de emisión de gases, partiendo de 1995 como año base, se ha utilizado la metodología del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), incluyéndose cálculos para los siguientes sectores: energía, procesos industriales, agricultura, cambio de uso de la tierra y desperdicios. Estimando los siguientes gases: dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso, otros óxidos nitrosos, el monóxido de carbono y otros compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano (SERNA, 2005), en la tabla 2 se muestra el inventario del total de emisiones en el año 1995.

SECTOR	EMISIONES TOTALES					
	Gg (Gigagramos)					
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	NMVOC
Energía	3,570.46 ⁽¹⁾	0.57 ⁽²⁾	0.26 ⁽²⁾	29.87 ⁽²⁾	367.30 ⁽²⁾	50.86 ⁽²⁾
Procesos industriales	514.72					32.65
Agricultura		130.51	2.066	2.52	55.034	
Cambio de uso de la Tierra	1,351.72	126.43	2.02	31.41	1,106.26	
Desperdicios		127.98	0.83			
Total	5,436.90	385.49	5.18	63.80	1,528.59	83.51

(1) Corresponde a la emisión por combustibles fósiles (Usando el Método de Referencia)
(2) Se obtuvieron usando el Método Nivel I restando las emisiones del sector Residencial (Consumo de Leña) por estar contemplada en el Sector Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura

Tabla 2: Estimación de las emisiones totales de gases de efecto invernadero (SERNA, 2005)

En el caso del Metano (CH₄), un gas con alto potencial de calentamiento global, contribuye en el calentamiento global debido sus emisiones en sectores como: agricultura con un 33.8% del total de emisiones, el manejo de desperdicios con un 33.2% y el cambio de uso de la tierra 32.68%; siendo la fermentación entérica la principal fuente de emisiones de metano (SERNA, 2005).

El siguiente mapa conceptual resume la problemática que se enfrenta no sólo en la zona donde se pretende realizar la evaluación de la dinámica de los cambios en la cobertura boscosa, sino a nivel nacional e inclusive a nivel mesoamericano tal como se muestra en la figura 1.

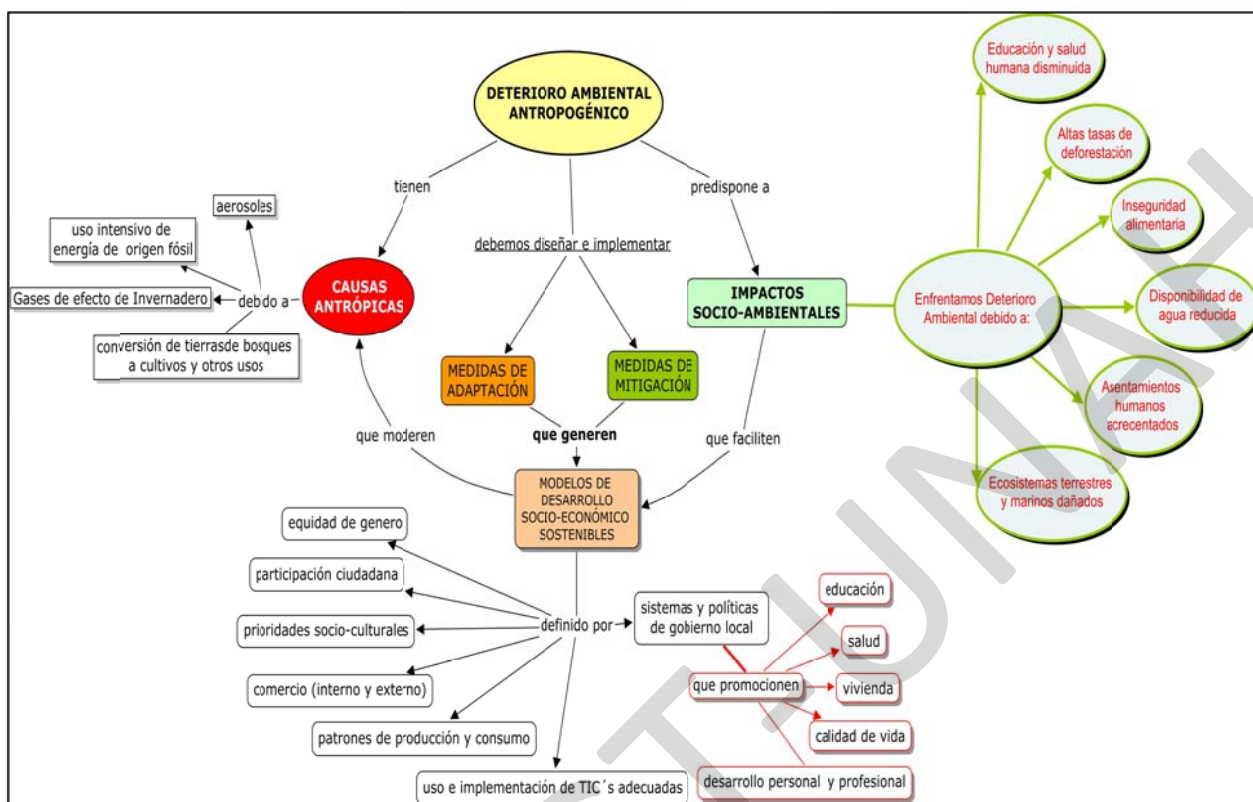


Figura 1: Mapa conceptual mostrando la problemática que se tratará de evaluar en esta investigación, fuente propia.

Los enunciados anteriores permiten efectuar las siguientes interrogantes:

- 1.- ¿Cuál ha sido la dinámica de cambio en la cobertura vegetal en los municipios¹¹ que son cubiertos de forma completa por la escena 17-50 comprendida en los departamentos de Olancho, Francisco Morazán y El Paraíso?
- 2.- ¿En qué medida los cambios poblacionales y sus actividades (uso de la madera para construcción, cocina y otras) inciden en los cambios que ocurren en la cobertura vegetal?

11 Yuscarán, Alauca, Danlí, El Paraíso, Guinope, Jacaleapa, Moroceli, Oropoli, Potrerillos, San Matías, Teupasenti, Trojes (departamento de El Paraíso), San Antonio de Oriente, Valle de Ángeles, Villa de San Francisco (Departamento de Francisco Morazán), Juticalpa, Campamento, Concordia, El Rosario, Guarizama, Jano, La Unión, Manto, Salamá, San Francisco de Becerra, San Francisco de La Paz, Santa María del Real, Silca, Patuca (Departamento de Olancho).

***Aspectos Metodológicos para la
evaluación de la Dinámica de
Cambios en la Cobertura Vegetal***

La investigación se desarrollará utilizando como instrumento principal de análisis herramientas heurísticas, estadísticas en combinación con sistemas de información geográficos que permitan enlazar datos tabulares con la situación espacial de ubicación en el mundo.

Hay muchas alternativas de solución a implementar, sin embargo, se deben efectuar algunos análisis que en el futuro se pueden o deben presentar a las autoridades para la toma de decisiones e implementación. Para esta evaluación se hará uso de la teledetección, la que ofrece una gran cantidad de ventajas con relación a otras alternativas disponibles - obviamente jamás sustituirían el trabajo *in situ*, por el contrario la complementan – que facilitará datos de zonas remotas o de difícil acceso y otras variables no obtenibles aún en escalas grandes como: relieve, estructuras geológicas, cobertura vegetal, uso del territorio, condiciones atmosféricas, entre otras (Sobrino, 2000).

Uno de los intereses fundamentales en la teledetección es la obtención de datos temáticos que nos ayudan a conocer el territorio, sin embargo, en reiteradas ocasiones, este conocimiento es restringido a la teledetección cartográfica temática, siendo un enfoque reduccionista, limitando a efectuar clasificaciones de cobertura vegetal, uso del suelo, cultivos entre otros.

Es importante comprender que una imagen de satélite es un conjunto sistemático de medidas cuantitativas sobre el territorio, pero igualmente es posible realizar investigaciones en el orden cualitativo, robustecidas a través de la teledetección (Chuvienco, Teledetección Ambiental, 2008).

Uno de los objetivos de la investigación es producir mapas que representen los cambios ocurridos en la zona de estudio mediante la evaluación de escenas en dos momentos distintos del tiempo (T_x y T_y). Al final de un análisis de detección de cambios se genera un mapa binario correspondiente a las dos clases necesarias: *cambio y no cambio*. Asimismo, determinar la probabilidad de injerencia de la población en la dinámica de cambios de la cobertura vegetal a través de un modelo de regresión logística.

Tratando de dar respuesta a los problemas planteados anteriormente, esta investigación se apoyará en el uso de sistemas de información geográficos y sensores remotos, específicamente utilizando una técnica denominada: teledetección¹², permitiéndonos generar una zonificación de la cobertura durante el período 1975 - 2005, identificando las zonas con vegetación y sin vegetación para dicho período, como:

- a.- Mapas de la cobertura.
- b.- Mapas de Densidad Poblacional, Red Vial y Centros Poblados

Con los avances tecnológicos desarrollados en los últimos años, especialmente los relativos a la observación de la tierra, mediante satélites activos¹³ y pasivos¹⁴ como plataformas terrestres, permitiendo la creación de *metodologías no intrusivas*; logrando detectar sus características biofísicas, antropomórficas así como las patologías que afectan dichas estructuras. Proporcionándonos información acerca de los cambios geomorfológicos, cobertura y usos de la tierra; cambios generados tanto por fenómenos naturales, efectos derivados del cambio climático, como también por actividades humanas (Rejas, y otros, 2009).

El desarrollo de estas metodologías ha sido probado en otros países, tendiendo resultados positivos, pudiéndose replicar en cualquier parte del mundo. Esto se debe al tipo de datos y técnica utilizada provenientes de las imágenes de satélites pasivos (ej. Landsat, IKONOS, Quickbird) y activos (ej. Radarsat, Jers-1).

¹² Esta herramienta sirve para determinar el crecimiento de los centros poblados, cambios en la cobertura boscosa, uso del territorio, elemento fundamental en los planteamientos para la ordenación del territorio, así como también los impactos que se tienen como consecuencia de los fenómenos naturales (desastres), entre otras, pudiendo especificar cuántas hectáreas o metros cuadrados de masa boscosa se ha ganado o perdido en dicha zona.

El vocablo teledetección deriva del francés “télédétection”, traducción dada en 1967 al término anglosajón “remote sensing” o percepción remota. Definir el concepto de teledetección no es sencillo ya que no existe una única definición universalmente aceptada. Se entiende por teledetección o percepción remota “la adquisición de información sobre un objeto a distancia, esto es, sin que exista contacto material entre el objeto o sistema observado y el observador” (Sobrinó 2000).

¹³ Se llaman “sensores activos” porque emiten rayos que reflejan en los objetos y miden la energía que se devuelve reflejada al sensor (European Space Agency, 2000 - 2010).

¹⁴ Estos sensores “se limitan a recoger la energía electromagnética procedente de la cubiertas terrestres, ya sea ésta reflejada de los rayos solares o emitida por su propia temperatura”. Ejemplos de este tipo de sensores son los programas Landsat, Spot e Ikonos, entre otros. (Chuvieco, Fundamentos de Teledetección Espacial, 1996).

El modelo o marco de referencia para el desarrollo de esta temática se fundamenta en las técnicas de teledetección utilizando imágenes multi- e hiper-espectrales. Se entiende por teledetección o percepción remota “la adquisición de información sobre un objeto a distancia, esto es, sin que exista contacto material entre el objeto o sistema observado y el observador” (Sobrino, 2000).

A través del uso de la teledetección y el análisis mediante herramientas de sistemas de información geográficos (SIG), se responde a preguntas sobre el pasado de un ecosistema, asimismo pautas para predicción y tendencias, permitiendo a los gobiernos la evaluación de sus leyes (ambiente, ordenamiento territorial entre otras) y proyectos enfocados en la protección y conservación (estructurales y no estructurales) de nuestro entorno a través de proyectos de prevención y mitigación de desastres (ej. Proyecto de Mitigación de Desastres Naturales, PMDN).

En el marco del Sistema de Información Ambiental Mesoamericano (SIAM) y el Sistema Regional de Visualización y Monitoreo (SERVIR), Centroamérica cuenta con productos y resultados positivos generados a través de la teledetección como: uso y cambio de uso de la tierra, monitoreo de fenómenos naturales, cambio climático, desastres, entre otros.

Entre las diversas aplicaciones del modelo seleccionado, se pueden detallar las siguientes: permite determinar el crecimiento de los centros poblados, cambios en la cobertura boscosa, uso del territorio como elemento fundamental en los planteamientos para la ordenación del territorio, como también los impactos que se tienen como consecuencia de los fenómenos naturales (desastres), entre otras, pudiendo especificar cuantas hectáreas o metros cuadrados de masa boscosa se ha ganado o perdido en dicha zona.

Es importante mencionar que para la selección del sensor remoto a utilizar se debe tener en cuenta algunos aspectos importantes como: la resolución, es decir, la calidad y tamaño de los datos a evaluar (Sobrino, 2000). Existen varios tipos de resoluciones a considerar:

- i. *Resolución Espacial* (tamaño del pixel, para el sensor seleccionado ésta es de 30m x 30m o sea 900m²),
- ii. *Resolución Espectral* (número de bandas que utiliza para discriminar los datos, entre más bandas tenemos mayor detalle en la información),
- iii. *Resolución Radiométrica* (niveles de color disponibles para la discriminación de datos), y
- iv. *Resolución Temporal* (periodicidad con la que obtenemos la información del mismo lugar, para este caso es de 16 días).

En la tabla 3 se muestran algunas de las características que tienen las diferentes versiones o modelos de sensores de acuerdo a su evolución desde 1972 hasta la actualidad (NASA, 1999).

Satélite	Lanzamiento (fin servicio)	Altitud (km)	Periodicidad (días)	Sensor	Banda: Intervalo espectral (µm)	Resolución espacial (m)					
Landsat-1	23-7-72 (6-1-78)	917	18	RBV	(1) 0,48-0,57	80					
					(2) 0,58-0,68	80					
					(3) 0,70-0,83	80					
				MSS	(4) 0,5-0,6	79					
					(5) 0,6-0,7	79					
					(6) 0,7-0,8	79					
					(7) 0,8-1,1	79					
Landsat-2	22-1-75 (25-2-82)	917	18	Idéntica configuración que Landsat -1							
Landsat-3	5-3-78 (31-3-83)	917	18	RBV	(1) 0,505-0,75	40					
					(4) 0,5-0,6	79					
				MSS	(5) 0,6-0,7	79					
					(6) 0,7-0,8	79					
					(7) 0,8-1,1	79					
					(8) 10,4-12,6	240					
					Landsat-4	16-7-82 (83)	705	16	MSS	(4) 0,5-0,6	82
										(5) 0,6-0,7	82
(6) 0,7-0,8	82										
(7) 0,8-1,1	82										
TM	(1) 0,45-0,52	30									
	(2) 0,52-0,60	30									
	(3) 0,63-0,69	30									
	(4) 0,76-0,9	30									
(5) 1,55-1,75	30										
(6) 10,4-12,5	120										
(7) 2,08-2,35	30										
Landsat-5	1-3-84	705	16	Idéntica configuración que el Landsat-4							
Landsat-6	5-10-93 (5-10-93)	705	16	Fallos en el sistema de comunicación No llegó a funcionar							
Landsat-7	15-4-99	705	16	ETM	(1) 0,45-0,52	30					
					(2) 0,52-0,60	30					
					(3) 0,63-0,69	30					
					(4) 0,76-0,9	30					
					(5) 1,55-1,75	30					
					(6) 10,4-12,5	120					
					(7) 2,08-2,35	30					
					PAN 0,50-0,90	15					

Tabla 3: Principales Características del Sensor Landsat (NASA)

Para efectuar esta investigación se tomarán en cuenta algunas variables, que se deben relacionar (correlación) con las variaciones en cobertura vegetal que enfrenta Honduras como: a. población (desagregada por edades y total) y b. uso de la madera en algunas actividades de la población (construcción de viviendas, energía para cocina y alumbramiento).

En el planteamiento del problema se establece que la actividad humana constituye la mayor presión sobre la naturaleza (Entwisle, Stern, & National Research, 2005) (Locatelli, 2006), en este caso representada por la cobertura vegetal (entendida como el hábitat de una cierta biodiversidad), esto da como resultado pensar en la siguiente **hipótesis**: *bajo un contexto de ausencia de políticas efectivas de desarrollo sostenible, la densidad poblacional, las actividades agroindustriales, el incremento de infraestructuras y los desastres producen una disminución de la cobertura vegetal.*

El enfoque particular de esta investigación radica en la evaluación del segundo factor que según los investigadores es uno de los elementos determinantes para explicar la dinámica de cambios en la cobertura vegetal: **la población** (demografía), esto permite el planteamiento de las siguientes *sub-hipótesis*:

1. Un cambio en la población produce/genera un cambio en la cobertura vegetal.
2. Un cambio en la población que utiliza la madera para la construcción de viviendas y/o fuente de energía produce/genera un cambio en la cobertura vegetal.

Para la investigación se ha determinado que se usarán imágenes Landsat MSS, TM y ETM+ dependiendo el año de evaluación, de acuerdo al visualizador global del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) se escoge la zona correspondiente al pathrow 17-50 (nomenclatura de identificación) como se muestra en la figura 2 de los años 1975 (combinado 1975 y 1976 debido a ubicación de escena), 1987, 2001 y 2005, éstas escenas se obtendrán en

SERVIR¹⁵ (<http://www.servir.net>). Con esto, se tendrían cuatro momentos distintos que ayudarán a detectar los cambios ocurridos.



Figura 2: Zona de estudio, path / row 17-50. Fuente USGS.

Adicionalmente, se cuenta con el mapa de cobertura vegetal de 1990 elaborado por la Administración Forestal del Estado (AFE-COHDEFOR, hoy Instituto de Conservación Forestal, ICF) y el mapa de uso del territorio elaborado en el marco del Programa Nacional de Ordenamiento Territorial (PRONOT), en la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA), en cual el investigador participó como parte del equipo contraparte ante la empresa que realizó dicha consultoría (Inypsa: Informes y Proyectos S.A.), ambas coberturas (mapas) servirán como referencia de la cobertura vegetal existente en esas épocas,

¹⁵ SERVIR es el Sistema Regional de Visualización y Monitoreo que integra observaciones de la tierra (Ej.: Imágenes Satelitales) y modelos de pronóstico con datos y conocimiento del terreno, para una toma de decisiones oportuna para el beneficio de la sociedad (SERVIR, 2009).

permitiendo realizar la clasificación de las escenas seleccionadas de una manera más rápida, como también evitando la erogación de fondos por concepto de trabajo de campo para la verificación de datos *in situ*.

Ventajas de utilizar imágenes de satélite

Muchos preguntarán, ¿Qué ventajas se tiene al utilizar imágenes de satélite, cuando los datos espaciales (geográficos) se pueden obtener de diversas fuentes “más baratas”, como: fotografías aéreas, estudios de campo y mapas impresos? (SRGIS Geología y Geomática Ltda., 2006) (Chuvieco, Teledetección Ambiental, 2008)

La opinión de los consultores de la empresa SRGIS Geología y Geomática Ltda. y Chuvieco E. (2008) resalta varias ventajas que permiten obtener una respuesta más sencilla y barata en la generación de información geográfica para cualquier tipo de investigación, tal como se muestra en la figura 3.

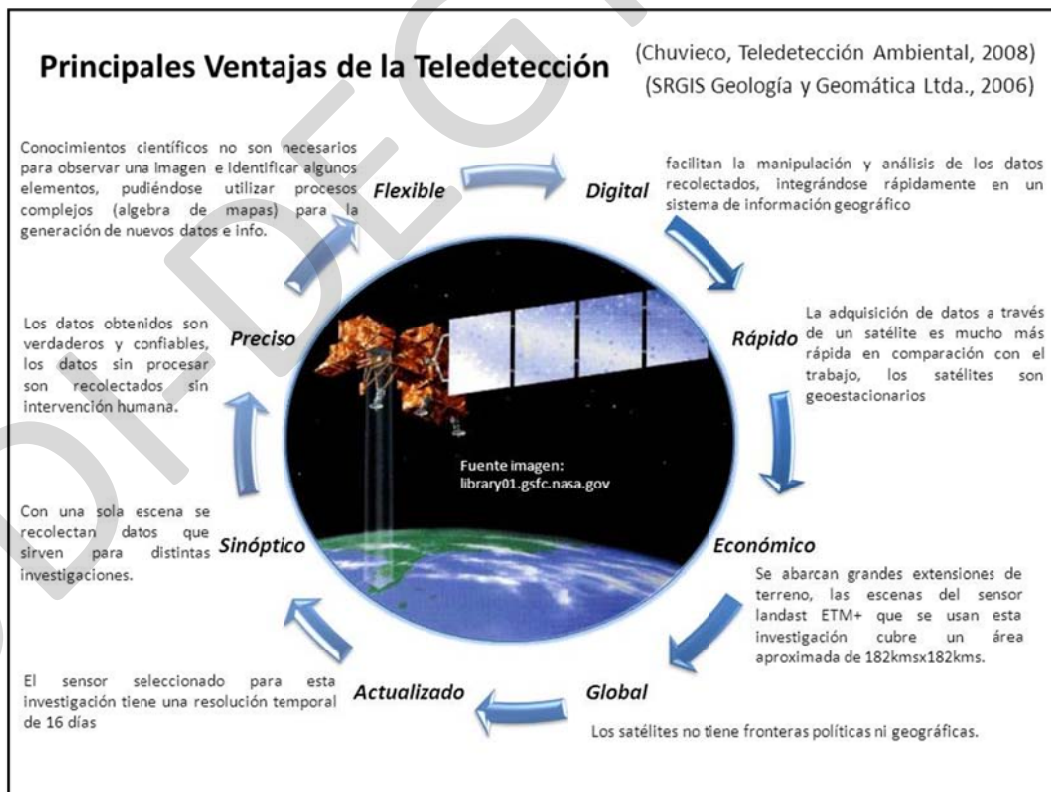


Figura 3: Principales Ventajas de la Teledetección, Elaboración propia en base a argumentos de Chuvieco E. (2008) y SRGIS Geología y Geomática Ltda. (2006)

Métodos para evaluación de cambios

Al realizar una evaluación de cambios se deben tomar en cuenta cinco parámetros básicos (Jensen, 1996):

1 *Estado del problema*

Se define el área de estudio, especificando la frecuencia con la que se evaluarán dichos cambios (ej. mensual, anual, quinquenal), así mismo, se deben identificar las categorías a utilizar en el sistema de clasificación (ej. (Bosque mixto, Bosque de coníferas ralo, Bosque de coníferas denso, etc.).

2 *Consideraciones de significancia*

Básicamente son cuatro aspectos importantes: Resolución temporal periodicidad con la que se obtiene la información del mismo lugar, para este caso es de 16 días), Resolución espectral (número de bandas que utiliza para discriminar los datos, entre más bandas tenemos mayor detalle en la información), Resolución radiométrica (niveles de color disponibles para la discriminación de datos), y la Resolución espacial (tamaño del pixel, para el sensor seleccionado ésta es de 30mts x 30mts o sea 900m²).

3 *Condiciones Ambientales*

Básicamente se considera si el día es soleado, lluvioso, nublado, condiciones atmosféricas, humedad del suelo, ciclo fenológico, fases de marea marítima, las cuales pueden perjudicar la adquisición de las escenas (datos) necesarios para una investigación.

4 *Procesamiento de imágenes y extracción de datos/información*

Las escenas deben ser obtenidas en fechas adecuadas, así como también garantía que los datos secundarios a utilizar son veraces y cumplen con las normas o regulaciones estándares establecidos por las instituciones oficiales que generan dichos datos, evaluación in-situ, correcciones radiométricas, correcciones geométricas, seleccionar algoritmo apropiado para la evaluación, realizar una clasificación supervisada¹⁶ y no supervisada¹⁷ (ISODATA), utilización de algoritmos de sistemas de información geográficos para lograr la detección de cambios, generar mapas que muestren los resultados obtenido de la evaluación, evaluación estadística (ej. correlaciones, regresiones).

Ambos métodos (supervisado y no supervisado) poseen ventajas y desventajas, el primero es mucho más subjetivo debido a que es el investigador quién establece las categorías a-priori sin haber evaluado las características espectrales, por otro lado, el segundo no garantiza que las categorías deducidas tenga realmente significado para el investigador, siendo muchas veces difícil de verificar, por lo que se recomienda un método mixto (la combinación de ambos métodos) de dos formas: 1. El supervisado guía al no supervisado y 2. La combinación de ambos (Chuvieco, 2008).

5 *Calidad y Control*

La evaluación de los resultados estadísticos, evaluación de los productos generados a partir del tratamiento de las escenas utilizadas, generación de productos digitales, conjunto de resultados impresos que ofrezcan el mínimo de error permitido y la rigurosidad que una investigación debe considerar.

¹⁶ Parte de cierto conocimiento y experiencia del o los investigador(es) de la zona de estudio, permitiendo generar con mayor precisión las áreas de entrenamiento, garantizando una buena clasificación de la escena (Chuvieco, Teledetección Ambiental, 2008).

¹⁷ Orientado a la definición de las clases espectrales presentes en la imagen, no es obligatorio el conocimiento del área de estudio, la intervención humana se basa en la interpretación de los resultados obtenidos del algoritmo isodata, que formará una serie de conglomerados o clústeres de acuerdo al comportamiento espectral de cada pixel (Chuvieco, Teledetección Ambiental, 2008).

Algoritmos para la detección de cambios

Adicionalmente, existen nueve algoritmos básicos que se pueden utilizar para la detección de cambios mediante imágenes de satélite (Jensen, 1996):

1 Función de memoria de inserción

Se fundamenta en utilizar falso color, donde el azul, verde y/o rojo representan varias bandas utilizadas por el sensor en diferentes momentos. La diferencia de color representa discrepancias en una banda en dos períodos de tiempo.

2 Detección de cambios mediante composición de imágenes multitemporales

Es la combinación de imágenes de dos o más momentos diferentes, utilizadas en la detección de cambios como una multicobertura, ejemplo: clasificación no supervisada para crear clústeres¹⁸ de “cambio” y “no cambio” (variable dicotómica). Este algoritmo se auxilia del cálculo del Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) para realzar la vegetación, asimismo hace una comparación mediante un Análisis de Componentes Principales (ACP), utilizando métodos estándares (basados en correlaciones) y no estandarizados (basados en covarianza).

3 Álgebra de mapas para detección de cambios

Se basa en diversas manipulaciones algebraicas de los valores de reflectancia (reflejo emitido por un objeto/elemento en la tierra a partir de la luz solar recibida). O sea fundamentado en la teoría de conjuntos, donde se suman o restan clúster o sectores de los resultados de reflectancia en el análisis de la imagen. Otro método de álgebra de la imagen consiste en calcular la proporción de valores de reflectancia.

¹⁸ Procedimiento para la agrupación de puntos en un espacio multidimensional, consiste en minimizar la distancia al centro de cada grupo.

4 *Comparación de cambios utilizando post-clasificación*

Este es el método más simple para la detección de cambios. Se trata de la superposición de dos o más imágenes clasificadas, las zonas de cambio son simplemente aquellas áreas que no se clasifican de la misma manera en diferentes momentos.

5 *Detección multitemporal utilizando una máscara binaria aplicada en la imagen de la segunda fecha*

Es un método híbrido del álgebra de mapas y la post-clasificación. Utiliza el álgebra de mapas para determinar las zonas que puedan haber cambiado, generando mapas con variables dicotómicas (cambio: 1 y no cambio: 0).

6 *Detección de cambios mediante imágenes multitemporales, utilizando datos auxiliares*

Es esencialmente una post-clasificación de detección de cambios con la clasificación inicial derivada de alguna otra fuente de datos de teledetección secundaria.

7 *Evaluación y digitalización en pantalla*

Es similar a la interpretación de fotos, incluyendo consideraciones similares. Este método ayuda determinar los cambios simultáneamente viendo dos imágenes; no es apropiado para grandes áreas debido a su trabajo carácter intensivo, no automatizada. Sin embargo, cuando el interés se encuentra en una zona pequeña muy particular es adecuado y, quizás, el único método capaz de visualizar los cambios.

8 *Análisis vectorial del cambio espectral*

Se realiza a partir del análisis de los cambios en los valores de píxel por píxel teniendo en cuenta las ubicaciones para las dos fechas en el espacio espectral multi-dimensionales.

9 *Visión basada en el conocimiento del sistema para detectar los cambios*

Intenta llevar a cabo detección de cambios con la menor intervención humana; los aspectos clave de pre-procesamiento son la representación espacial, la manipulación, y la incorporación de datos auxiliares, éstos son basados en el conocimiento obtenido al combinar los diferentes métodos descritos anteriormente.

Asimismo, (Jensen, 1996) explica que existen *Modelos Lineales Generalizados (MLG)*, los cuales se aplican a cualquiera de los algoritmos para la detección de cambios que utilizan funciones que se basan en los valores de reflectancia, produciendo un mapa dicotómico.

En la detección de cambios basado en imágenes de satélite, se utilizan los valores de reflectancia para describir las variables de predicción mediante variables discretas (cambio y no cambio). Al igual que con todos los modelos estadísticos, un MLG puede evaluar qué variables descriptoras son las más importantes y significativas en la predicción de la respuesta como en la modelación de la respuesta.

Es importante que los MLG's se puedan utilizar para determinar qué función de los valores de reflectancia ayuda a evaluar si o no han existido cambios. Como en cualquier modelo de regresión, el análisis estadístico se puede utilizar para determinar qué variables explicativas son significativas y cuál es la función de las variables significativas produce el mejor modelo, el uso de MLG's es útil en la selección de las variables explicativas, que ayudan a determinar "El cambio / no cambio".

Existen otros elementos a tomar en cuenta al momento de realizar un ejercicio de detección de cambios (Chuvieco, Teledetección Ambiental, 2008):

a) Imágenes continuas o ya clasificadas, donde se emplean técnicas cuantitativas: diferencias, regresiones entre otros.

b.- Tablas de contingencia o comparaciones por pares.

Estadísticas, Índices y Transformaciones

Cualquiera que haya sido el método seleccionado para la definición o clasificación de las escenas, es importante meditar sobre la separabilidad de las categorías seleccionadas, evaluando si éstas podrán ser discriminadas minimizando el error al cual está sujeta una actividad como la clasificación, evitando confusiones o adoptar una leyenda más general, pudiendo hacerlo tanto de forma gráfica como numérica (Chuvieco, Teledetección Ambiental, 2008).

Esta etapa tiene como objetivo adscribir los píxeles de la escena a una de las clases previamente definida, realizándola en función de los Niveles Digitales (ND) de cada píxel, para cada una de las bandas seleccionadas en el proceso, siendo los criterios básicos para el establecimiento de las fronteras estadísticas los siguientes: 1. Mínima distancia, 2. Paralelepípedos y 3. Máxima probabilidad (Chuvieco, Teledetección Ambiental, 2008).

Fronteras estadísticas

i. Mínima Distancia

Asigna un píxel a una de las categorías más cercanas, minimizando la distancia espectral entre el píxel y el centroide de la clase, comparando el nivel digital (ND) de cada píxel con los del centro de las distintas categorías para todas las bandas que intervienen.

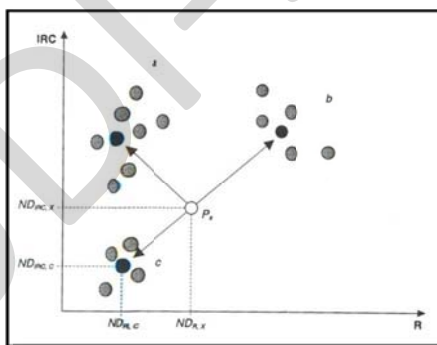


Figura 4: Algoritmo de mínima distancia (Chuvieco, Teledetección Ambiental, 2008).

Hay varias formas de calcularlo, la más empleada es la distancia euclidiana:

$$d_{x,A} = \sqrt{\sum_{i=1,m} (END_{x,i} - \overline{ND}_{A,i})^2}$$

Dónde:

$D_{x,A}$: medida de la distancia entre el píxel x y la categoría A .

$ND_{x,i}$: valor correspondiente a clasificar en la banda i , y el valor medio de esa categoría en la misma banda.

ii. Clasificador de Paralelepípedos

El investigador lo utiliza para fijar el dominio para las categorías, sin olvidar los valores de centralidad y dispersión, donde el pixel x es asignado a la clase A , siempre y cuando sus ND de las diferentes bandas ($ND_{x,k}$) están contenidos en el dominio de dicha clase.

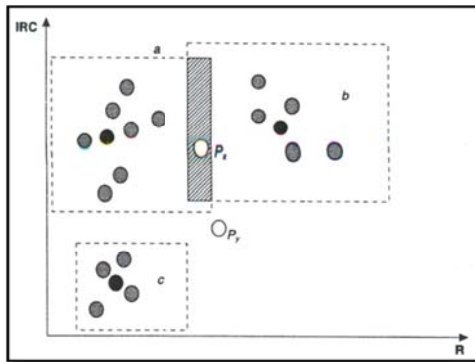


Figura 5: Clasificador de paralelepípedos (Chuvieco, Teledetección Ambiental, 2008).

$$\overline{ND}_{A,i} - R_{A,i} \leq ND_{x,i} \leq \overline{ND}_{A,i} + R_{A,i}$$

Para toda i , variando entre 1 y la cantidad de bandas $R_{A,i}$ indica el rango de dispersión señalado para la categoría A en la banda i .

Este método puede presentar algunas dificultades: pixeles comunes en dos o más categorías, pixeles que queden sin clasificar, por lo que el orden en que se realice la asignación repercute en los resultados. Este se deberá resolver ampliando paulatinamente el rango de dispersión para establecer el equilibrio entre los pixeles no clasificados y el traslape entre las categorías vecinas (adyacentes).

iii. Clasificador de Máxima Probabilidad

Este método considera que los niveles digitales (ND) de cada categoría se acomodan a una distribución normal, brindando la oportunidad de describir cada categoría como una función gaussiana, la cual parte de los vectores de media y matriz de varianza-covarianza, facilitando el cálculo de la probabilidad de que un pixel forme parte de una categoría. El cálculo debe realizarse para todas las categorías previamente definidas, asignando el pixel a la categoría que maximice la función de probabilidad, es mucho más complejo que los dos métodos anteriores, requiriendo un volumen de cálculo mayor, sin embargo es el más empleado en la precepción remota debido a su robustez y rigurosidad (Chuvieco, Teledetección Ambiental, 2008).

En la clasificación de escenas se utiliza frecuentemente el clasificador de máxima probabilidad, sin embargo tiene limitaciones para realizar el cálculo, exigiendo contar con distribuciones normales, por lo tanto se han determinado métodos alternativos y sencillos como lo es el clasificador de árbol, fundamentado en la teoría bayesiana; discriminando

secuencialmente cada una de las categorías basados en valores espectrales, estableciendo reglas dicotómicas de interpretación (Chuvieco, Teledetección Ambiental, 2008).

Índice Normalizado de Vegetación (NDVI)

Cuando se trabaja con imágenes de satélite es importante trabajar con índices, éstos ayudan a detectar rápidamente los elementos de interés de la investigación. Usar estos índices genera una transformación de las bandas a utilizar.

Básicamente se puede aplicar dos tipos de alternativas:

- a Orientadas: El investigador sabe lo que busca
 - i. Índices de vegetación (NDVI)
 - ii. Transformación Tasseled Cap
- b No orientadas: No hay claridad en lo que se busca
 - i Análisis de Componentes Principales
 - ii Análisis de Mezclas Espectrales

En esta investigación, se utilizará el Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) que ayudará identificar la vegetación, realzándola y permitiendo identificarla fácilmente. Esto permitirá un realce de los elementos sujetos al estudio para una eficiente identificación y medición de cambios.

Este índice se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$NDVI = \frac{(p4 - p3)}{(p4 + p3)}$$

El NDVI se fundamenta en la reflectividad con la cuentan los elementos en la tierra, en este caso la vegetación, la cual en el sensor a utilizar (Landsat MSS, TM o ETM+ según sea el caso) es muy alta en la banda 4 (p4) y muy baja en la banda 3 (p3), de tal manera que entre

mayor sea la diferencia entre ambas bandas mayor es el porcentaje de cobertura vegetal y más sana es esta (Chuvieco, Teledetección Ambiental, 2008) (NASA: Earth Observatory, 2011).

Herramientas para Evaluación

Para el análisis multitemporal se utilizará el programa Erdas Imagine versión 8.4, si bien es cierto, una clasificación supervisada da mejores resultados, ésta no se puede realizar para todas las épocas, por lo que se utilizará el algoritmo ISODATA para una clasificación no supervisada. Los resultados de esta herramienta pueden ser exportados a otras herramientas como Arcview GIS, logrando una combinación de datos (álgebra de mapas) para modelación, planificación entre otros.

El usar este algoritmo no elimina la posibilidad de planificar diferentes transectos para toma de referencias con GPS, logrando contar con una mayor precisión en la clasificación de las imágenes. Sin embargo para efectos de esta investigación no se planificará realizar giras de campo para recolección de datos, tomándose en cuenta como referencia el Mapa Forestal del año 1995 desarrollado en AFE-COHDEFOR, hoy ICF y el Mapa de Uso del Territorio del año 2002 desarrollado en SERNA.

Si bien es cierto, esta investigación se realizará mediante el método No Supervisado, es importante tomar en cuenta que al realizar una investigación empleando la *metodología supervisada* o en el mejor de los casos híbrida: combinando la clasificación no supervisada y la clasificación supervisada (Chuvieco, 2008); se deben tomar en cuenta algunas consideración para evitar los seis problemas básicos que según (McCoy, 2005) se cometen al realizar el trabajo de campo.

Consideraciones al realizar el campo de trabajo

Después del arduo trabajo realizado durante la ejecución de proyectos de teledetección se obtienen resultados valiosos que garantizan un enfoque sistemático logrando un producto final confiable, veraz y oportuno para la toma de decisiones (McCoy, 2005).

En muchos informes y/o publicaciones relacionadas a partir de la teledetección se enfatiza en las técnicas para procesamiento de imágenes, en la mayoría de los casos, haciendo caso omiso sobre los métodos utilizados para la recolección de datos e información en el campo. Frecuentemente, las giras de campo no se planifican adecuadamente, obteniendo datos incorrectos o débiles, pudiendo evitarse efectuando una correcta planificación y coordinación con los profesionales involucrados, generando algunos problemas en el proceso del trabajo de campo (McCoy, 2005).

Problema 1: La falta de objetivos claros para el proyecto

Es evidente que se debe tener objetivos claros y concretos antes de comenzar un proyecto. Sin embargo, a menudo los objetivos no están definidos adecuadamente. Los objetivos deben estar por escrito, determinando los métodos se deben utilizar en cada etapa de trabajo. La planificación de los objetivos dependerá en gran medida el resultado esperado y deben incluir los siguientes elementos: (1) la ubicación y el tamaño de la superficie, (2) la escala de los mapas finales, (3) La precisión con la que se trabajará, (4) propósito y usuarios finales del producto final, (5) leyenda sobre los datos y resultados para el mapa final, (6) tipos de datos, imágenes, fotografías y otros materiales de referencia que se utilizarán, y (7) métodos de recolección y verificación de campo que se utilizará.

Problema 2: Falta de un plan de muestreo válido

Toda investigación debe tomar en cuenta la dificultad de asegurar la representatividad de las muestras de campo. La precisión de los datos representados en un mapa depende en gran medida del grado en que los datos de la muestra representan verdaderamente la

superficie terrestre, teniendo que recolectar la cantidad necesaria y suficiente de muestras para cada una de las categorías definidas para la leyenda. Este es uno de los principales errores a evitar, siendo uno de los más frecuentes en cometerse, y por lo general se debe a las pocas muestras de datos recolectados.

Problema 3 Dificultad para el tratamiento de las diferencias de escala

Este problema es uno de los principales abrumadores, en especial para un investigador sin experiencia en trabajo de campo.

El trabajo de campo consiste en gran medida en la recopilación de información que puede ser ampliado mediante la agregación o enriquecimiento de los datos observados en las escenas, pudiendo relacionar el datos de un "pixel terreno" representado por un píxel de la imagen, siendo necesario recopilar y agregar datos apreciados en la tierra que mejor discriminen uno o varios píxeles en la escena.

Problema 4 Los errores en la ubicación

Contar con escenas geo referenciadas y un sistema de posicionamiento global (GPS), reduce los problemas de ubicación considerablemente; por esta razón, es necesario estimar un error de ubicación potencial en unidades de píxel y ajustar el tamaño de la unidad de la muestra de tierra en consecuencia.

Problema 5 Observaciones y mediciones inapropiadas

¿Qué medir?, ¿Cómo medirlo?, y ¿Qué nivel de detalle se debe medir? Son todavía algunas de las grandes preguntas que el personal de campo debe responder antes de iniciar la etapa o verificación de campo.

El nivel de detalle puede ser insuficiente para cumplir con los objetivos generales en términos del número de categorías que se asignan o el nivel de precisión de las previstas para cada categoría.

Problema 6 Materiales inadecuados de referencia

Los insumos a excepción de los datos de campo, son todos los datos derivados u obtenidos de fotografías aéreas, imágenes de satélite, mapas y otros datos compilados que se hace referencia a localizaciones en el mapa, por ejemplo los datos del censo. El problema de los insumos inadecuado puede crear más frustración y dilemas que todos los demás problemas juntos.

Los índices de referencia se consideran insuficientes cuando: 1. La escala y nivel de generalización de varios mapas y fotografías aéreas son muy variables y 2. Las fechas de las fotos aéreas, imágenes, mapas y el trabajo de campo se diferencian por la época del año o por más de unos pocos años.

Clasificación de Imágenes

Estas técnicas pueden ayudar a demostrar que a mayor cantidad de habitantes en una zona se enfrentan mayor cantidad de problemas tales como: deforestación, incendios forestales, inundaciones, calentamiento global (uso de aerosoles, combustible fósiles, refrigerantes, etc.), acumulación de desechos tóxicos, problemas para manejo de excretas y residuos sólidos, etc.

Al efectuar la clasificación de las imágenes (mediante la metodología no supervisada), se estará en capacidad de evaluar los cambios en cobertura boscosa, así como también los cambios en los centros poblados que ha tenido la zona central del departamento de Olancho, y por ultimo permitirá aplicar algunas técnicas de correlación y auto correlación en variables cuantitativas y cartográficas. Con esto se podría cuantificar los costos que la deforestación trae consigo, y las consecuencias sociales a las que se enfrenta el país cuando hay un incremento en el tamaño de la población en una ciudad que crece desordenadamente, como lo es Tegucigalpa.

Tipos de Productos y Modelación

No importa el método que se haya utilizado para realizar la clasificación de las escenas seleccionadas, los resultados pueden ser un producto final como también un paso intermedio para lograrlo mediante la combinación con otras capas (álgebra de mapas), esta nueva imagen da como resultado dos tipos productos: cartográficos y estadísticos (Chuvieco, Teledetección Ambiental, 2008).

a. Productos Cartográficos

Una vez obtenida la clasificación de la(s) escena(s) puede(n)/debe(n) convertirse en un mapa temático para cada uno de los años seleccionados, permitiendo determinar los cambios ocurridos en la cobertura vegetal.

b. Productos Estadísticos

El inventario de los resultados es una de las principales ventajas de una clasificación digital, permitiendo generar diversas estadísticas, logrando un entendimiento de distintos parámetros o tendencias de la evolución de los aspectos bajo estudio (ej. Ordenación del territorio, manejo de cuencas, planes de manejo forestal, prevención y mitigación de desastres, deforestación, incendios forestales entre otros).

La base de datos generada a través de los mapas dicotómicos y vinculada a los censos de población y vivienda permitirán identificar los cambios en la cobertura vegetal, así como la interpretación de la incidencia o influencia de la población en dichos cambios, a través de un modelo de regresión logístico, obteniendo dos categorías: Tierra con Cobertura (1), Tierra sin Cobertura (0).

Modelos de Regresión Logística (LOGIT)

Para efectos de esta investigación se determinará como variable dependiente la cobertura vegetal de tipo dicotómica: tierra con cobertura (1) y tierra sin cobertura (0) y la variable

independiente la población total, utilizando los tres últimos levantados por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) 1974, 1988 y 2001.

De acuerdo a (Dixon, 1988) entre las alternativas posibles para evaluar este tipo de datos (dicotómicos) se utilizan modelos de regresión logit, probit y tobit; siendo la regresión logística la más aplicada, teniendo la particularidad de acotar los valores predictivos entre 0 y 1.

Este modelo expresa la probabilidad de que ocurra un hecho en función ciertas variables. La regresión logística, al igual que otros modelos estadísticos multivariados, da la posibilidad de evaluar la influencia de cada una de las variables independientes sobre la variable dependiente, controlando el efecto del resto, al ser la variable dependiente (Y) dicotómica, podrá tomar el valor "0" o "1", asignar los valores de esta manera o a la inversa es intrascendente, pero es muy importante tenerlo en cuenta al momento de interpretar los resultados. Las variables independientes (también llamadas explicativas) pueden ser de cualquier naturaleza: cualitativas o cuantitativas. La probabilidad de que $Y=1$ se denotará por p (Hosmer & Lemeshow, 1989).

La forma analítica en que la probabilidad objeto de interés se vincula con las variables explicativas es la siguiente:

$$p = \frac{1}{1 + \exp(-\alpha - \beta_1 x_1 - \beta_2 x_2 - \dots - \beta_k X_k)}$$

Esta expresión es la que se conoce como función logística; donde \exp denota la función exponencial y $\alpha, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ son los parámetros del modelo. Al producir la función exponencial valores mayores que 0 para cualquier argumento, p tomará solo valores entre 0 y 1.

Si β es positiva (mayor que 0) entonces la función es creciente y decreciente en el caso contrario. Un coeficiente positivo indica que p crece cuando lo hace la variable. Para una mejor interpretación de los coeficientes β_i (para cualquiera de los coeficientes β) es necesario referirnos al concepto de riesgo relativo.

El riesgo relativo de un suceso se define como la razón entre la probabilidad de que dicho suceso ocurra (p) y la probabilidad de que no ocurra ($1-p$).

El exponencial de los β_i corresponde con el riesgo relativo, o sea, es una medida de la influencia de la variable x_i sobre el riesgo de que ocurra ese hecho y suponiendo que el resto de las variables del modelo permanezcan constantes.

Un intervalo de confianza para el exponencial de β que contenga al 1 indica que la variable no tiene una influencia significativa en la ocurrencia del suceso y, por el contrario, valores más alejados de este indican una mayor influencia de la variable (Powers & Xie, 2008)

Planteada la metodología a emplear, se determina que las variables a utilizar en el modelo de regresión logístico, que si bien es cierto no son todas las variables que podrían establecerse de acuerdo a los factores más importantes que generan los cambios en la cobertura vegetal antes mencionados – esto se debe a la carencia de datos, agrupación necesaria: para esta investigación se requiere nivel municipal (nacional, departamental, municipal, aldea, caserío), entre otros, por lo que esta investigación incluye en el modelo logístico las siguientes variables de estudio:

Variable Dependiente	Variables Independientes
<p>Cobertura Vegetal: variable dicotómica representada por dos valores: Tierra con Cobertura (1) y Tierra sin Cobertura (0).</p> <p>Se determinará la Cobertura Vegetal mediante imágenes Landsat para los años: 1975-1976, 1987, 2001 y 2005 obtenidas de SERVIR (www.servir.net).</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Población de los censos de 1974, 1988, 2001 y población proyectada por el INE para el año 2005. 2. Población que usa madera para construcción de paredes en viviendas. 3. Población que usa madera para construcción de pisos en viviendas. 4. Población que usa madera como fuente de energía para cocinar. 5. Población que usa madera como fuente de energía para alumbrarse en la oscuridad).

Tabla 4: Variables a utilizar en el modelo de regresión logístico. Fuente propia.

Observación:

1. Desafortunadamente el censo de 1974 no ha sido factible obtenerlo desagregado por edades, como se han recolectado para el censo de 1988 y 2001 que generan las variables independientes 2, 3, 4 y 5.
2. Se deben considerar la proyección y algunas características que debe tomarse en cuenta para toda información geográfica como: Proyección: UTM, Datum: Nad27, Esferoide: Zona 16 Clarke 1866.

Insumos para la Investigación

Esta investigación se desarrollará con dos tipos de insumos: imágenes landsat (datos raster) y datos tabulares de fuentes secundarias, obteniendo dos tipos de productos: cartográficos y estadísticos, como ya se ha descrito anteriormente.

Imágenes Landsat

Se utilizarán imágenes Landsat MSS, TM, ETM+ obtenidas en el nodo geoespacial: SERVIR (www.servir.net), descritos en el tabla 5.

Sensor	pathrow	fecha	bandas
MSS	17-50	16/marzo/1976	4
	18-50	23/marzo/1975	4
TM	17-50	22/enero/1987	7
ETM+	17-50	15/julio/2001	8
	17-50	16/febrero/2005	8

Tabla 5: Sensores y escenas a utilizar para la evaluación de la cobertura vegetal

Observación: La escena obtenida para la evaluación del año 2001 data de dos meses después de haber iniciado la época lluviosa, provocando una variación en las condiciones obtenidas en el resto de escenas utilizadas para los años 1975-1976, 1988 y 2005; a priori, se espera contar con un área de cobertura vegetal diferente a la obtenida para los meses de enero, febrero y marzo.

Si bien es cierto, las escenas del sensor pasivo¹⁹ Landsat 3 (MSS), 5 (TM) y 7 (ETM+) (dependiendo el año de la imagen) no cubren todo el departamento de Olancho, permite realizar la evaluación de casi el 90% del departamento al cubrir un espacio de 182x182 km. Se recomienda realizar un análisis multitemporal para la detección de cambios ocurridos en la zona mediante imágenes de satélite, tratando de evaluar imágenes espaciadas cada 5 años o en los tiempos disponibles.

Datos Vectoriales y Tabulares

Para esta investigación es importante contar con información secundaria recolectada en Honduras en los diferentes centros encargados de tal fin como: INE, SERNA, IGN, SOPTRAVI e ICF.

Para efectos de la investigación se procesan los datos de población para los municipios cubiertos en la escena 17-50 (descritos anteriormente) y la población que de acuerdo a los últimos tres censos levantados por el ahora Instituto Nacional de Estadísticas (INE): 1974, 1988 y 2001 utiliza la madera para construcción y fuente de energía.

En el tabla 6 se detalla la información vectorial que se pretende recolectar y la aplicabilidad que podría tener para esta investigación.

Tabla 6: Información vectorial y datos tabulares a usar

Institución	Datos	Aplicabilidad
SERVIR	Imágenes Landsat MSS, TM, ETM+, modelos de elevación (DEM).	Índices de vegetación normalizado (NDVI), mapas de uso y cambio de uso de la tierra, detección de cambios en el período 1976-2005, índices de deforestación, tendencias de crecimiento poblacional, determinación de algunas infraestructuras, modelación para inundaciones y deslizamientos, evaluación de cultura de agricultura en laderas.

19 Estos sensores “se limitan a recoger la energía electromagnética procedente de la cubiertas terrestres, ya sea ésta reflejada de los rayos solares, ya sea emitida por su propia temperatura”. Ejemplos de este tipo de sensores son los programas Landsat, Spot e Ikonos, entre otros. (Chuvieco 1996)

Institución	Datos	Aplicabilidad
INE	Censos de población	Crecimiento poblacional, densidad poblacional.
SOPTRAVI	Red vial	Vías de acceso, cambios en la infraestructura, apoyo en la corrección geométrica (geo referenciación de imágenes), evolución de la infraestructura vial.
SERNA	Mapa de uso del territorio 2002, red hidrográfica, mapa geológico, uso recomendado del suelo, tipo de suelos, mapa de cuencas. Mapa de Riesgos por deslizamiento. Mapa de Riesgos por inundaciones de 1998.	Apoyo para la extrapolación y determinación de las categorías para la clasificación de uso del territorio en las escenas de los años seleccionados, determinación de zonas inundables, características del suelo, apoyo en la generación de mapas de conflicto de uso.
IGN	Hojas cartográficas (1:50,000)	<p>Apoyo en la corrección geométrica (geo referenciación) de las escenas seleccionadas, obteniendo el más bajo error medio cuadrático (RMS), evolución de la infraestructura vial. Límites administrativos (departamentales, municipales y aldeas).</p> <p>Es importante aclarar que la cobertura para los límites administrativos municipal para 1974 es diferente a la cobertura de límites administrativos que se ha utilizado en el censo de 1988 y 2001, esto se debe a los cambios político-administrativos que se han dado en el país.</p>
ICF	Mapa forestal 1990	Apoyo para la extrapolación y determinación de las categorías para la clasificación de uso del territorio en las escenas de los años seleccionados, comparabilidad entre los años de estudio.

Unidad de Medida

Idealmente, para la ordenación del territorio se prefiere usar las divisiones naturales: la cuenca. Sin embargo para esta investigación se define el municipio como la unidad de trabajo, lo que permitirá contar con datos censales completos así como otros datos que se han recolectado a nivel municipal para los municipios de la zona de estudio mostrados en la tabla 7 y figura 6.

Tabla 7: Municipios ubicados en la zona de estudio (ver Figura 6).

Departamento de El Paraíso	Yuscarán, Alauca, Danlí, El Paraíso, Guinope, Jacaleapa, Morocelí, Oropolí, Potrerillos, San Matías, Teupasenti, Trojes
Departamento de Francisco Morazán	San Antonio de Oriente, Valle de Ángeles, Villa de San Francisco
Departamento de Olancho	Juticalpa, Campamento, Concordia, El Rosario, Guarizama, Jano, La Unión, Manto, Salamá, San Francisco de Becerra, San Francisco de La Paz, Santa María del Real, Silca, Patuca

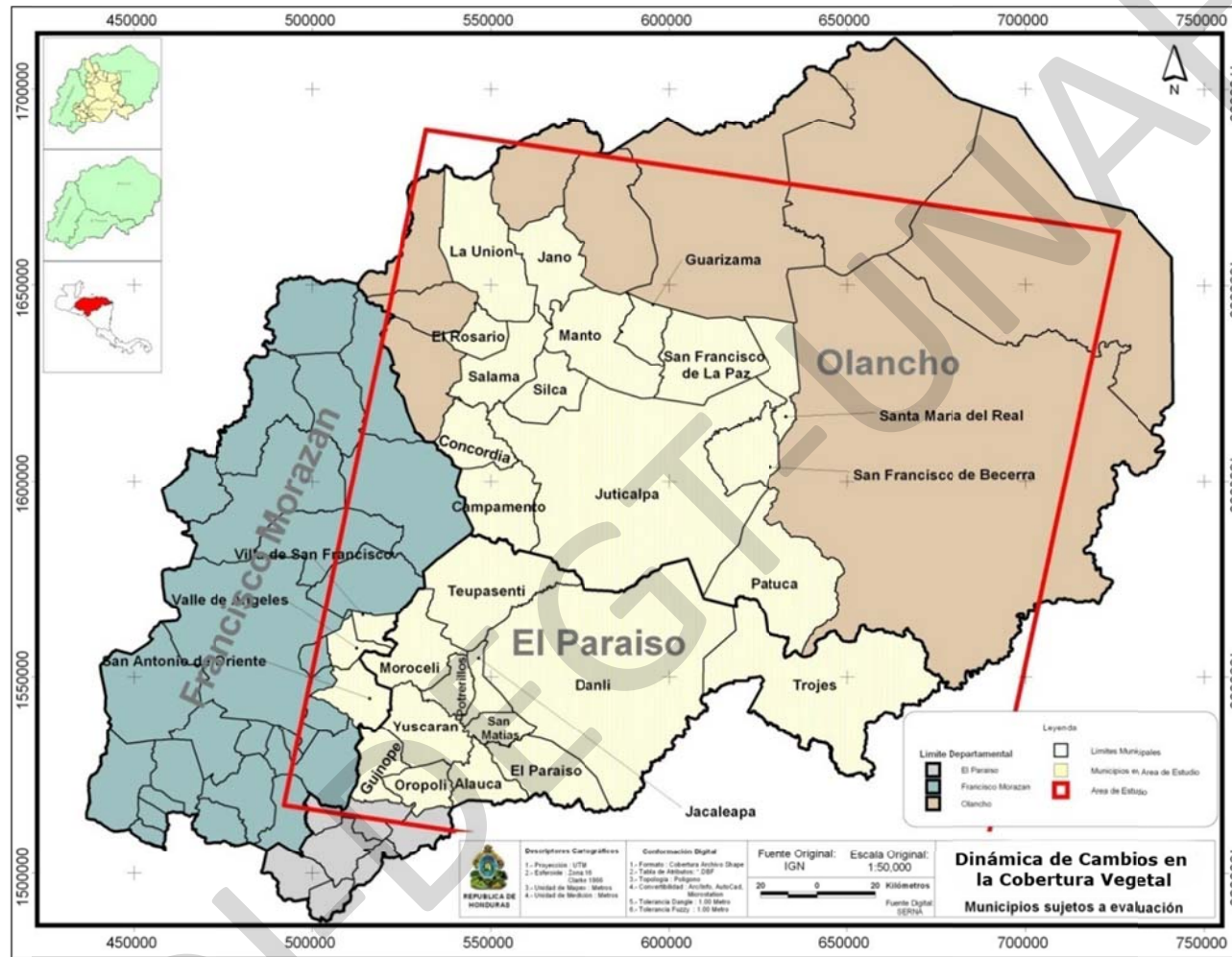


Figura 6: Área de estudio, Fuente propia, basado en la cartografía base del IGN e índice de escenas Landsat del USGS.

Equipamiento necesario

1. Computador
2. GPS
3. Herramientas de SIG y Sensores Remotos (Arcview GIS 3.3, Erdas 8.4)
4. Herramientas estadísticas (Stata, SPSS, Excel)
5. Herramientas ofimáticas (Word, Project, PowerPoint)
6. Fotocopiadora
7. Equipo reproductor (dvd's, etc.)
8. Scanner
9. Acceso a internet
10. Herramientas de Diseño y Publicación
11. Otros

Beneficiarios / Clientes

Los beneficiarios directos de los resultados de esta investigación serán las Municipalidades de los municipios cubiertos por la escena 17-50, así como Instituciones Gubernamentales y Organizaciones no Gubernamental (ONG's) relacionadas a temas ambientales, manejo de bosque y ordenamiento territorial.

Se sugiere establecer contacto con las instancias potencialmente beneficiadas, para obtener apoyo logístico e inclusive financiero. Esto garantizará efectuar una investigación más exhaustiva, con los recursos necesarios para complementar el trabajo planificado con una verificación de campo, que lo convertirán en una clasificación supervisada.

Los resultados de esta investigación (tabla 8) podrían ser utilizados por las organizaciones beneficiadas en los siguientes aspectos:

Tabla 8: Resultados de la Investigación

Resultado de la Investigación	Aplicabilidad para los beneficiarios
Cambios en la cobertura vegetal en el período 1975-2005.	<p>Permitirá determinar tendencias de cambios, información base para la elaboración planes de manejo de cuencas, Planes de manejo particularizados, proyectos de reforestación/manejo de bosques y protección de cuencas, planes de ordenación del territorio, Planes de Gestión de Riesgo, Planes de Emergencia Municipales, Planes Estratégicos de Desarrollo.</p> <p>Planes de ordenación del territorio.</p>
Evaluación de algunas variables que causan el dinamismo en la cobertura vegetal.	Proyectos de prevención y mitigación de desastres, pudiendo implementar medidas estructurales y no estructurales, alerta temprana.

Preparación y Clasificación de Imágenes

Evaluación a través de productos cartográficos

Productos Cartográficos

El proceso que se describe a continuación deberá ser realizado para cada una de las escenas o imágenes que se utilizadas en la investigación, exceptuando la conformación del mosaico que solamente será realizado para el primer momento de la investigación (1976).

Las escenas utilizadas ya han sido corregidas geométricamente, radiométricamente y atmosféricamente²⁰, es necesario unir cada una de las bandas en un solo archivo que facilite su manipulación y análisis conformando un archivo extensión img a partir de los archivos tif pertenecientes a cada bandas del sensor en mención; para este proceso se hace uso de la opción “layer stack” incluida en el programa Erdas Imagine tal como se muestra en la figura 7, este proceso se debe realizar para cada una de las escenas seleccionadas, asimismo, re proyectar de wgs84 a utm zonas 16 (figura 8).

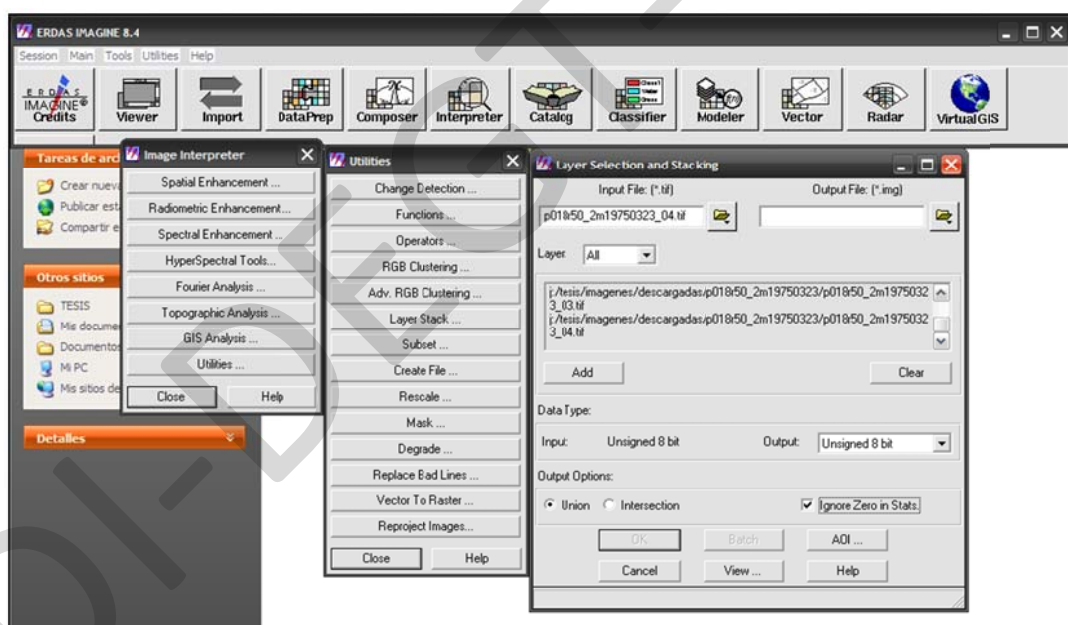


Figura 7: Layer Stack, convierte múltiples archivos de imagen tif en un solo archivo de erdas img, adicionando otras bandas necesarias para enriquecer una escena, ejemplo en NDVI. Fuente propia.

²⁰ “Landsat TM / ETM+ - Todas las imágenes Landsat ahora vienen con orto-rectificación.” (Cherrington, 2010)

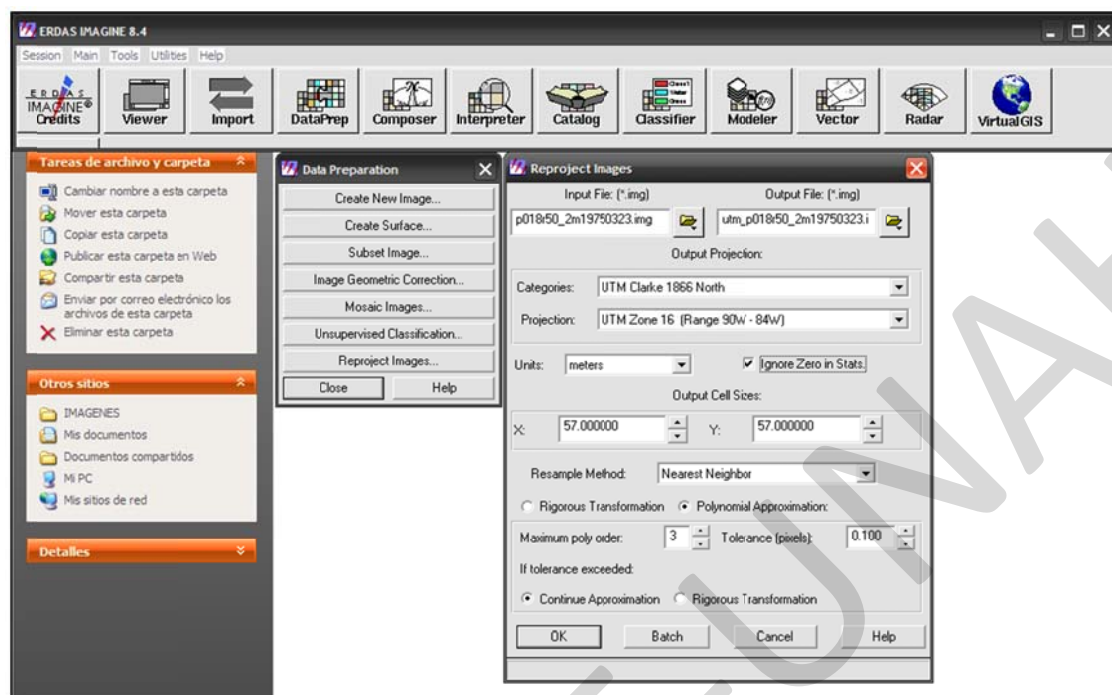


Figura 8: Proceso para reproyección de WGS84 a UTM zona 16. Fuente propia.

Una vez re proyectada la escena se debe calcular el índice normalizado de vegetación (realce espectral) (NDVI), permitiéndonos separar las zonas con cobertura vegetal y sin cobertura vegetal, mostrada en la figura 9.

Para el primer momento se ha generado un mosaico de dos escenas correspondientes a 1975 (pathrow 18-50) y 1976 (pathrow 17-50), esto se debe a que el sensor MSS contaba con un índice de escenas diferente al actual, logrando obtener la escena que se muestra en la figura 10, sin embargo para el sensor TM y ETM+ solamente se requiere la escena con pathrow 17-50; al finalizar el cálculo del NDVI logramos obtener una escena que nos permite la rápida identificación de las zonas con y sin cobertura, figura 11, de la misma manera, deben ejecutarse dichos procedimientos para las escenas de 1987, 2001 y 2005 (figura 12.1.a, 12.1.b, 12.2.a, 12.2.b, 12.3.a y 12.3.b).

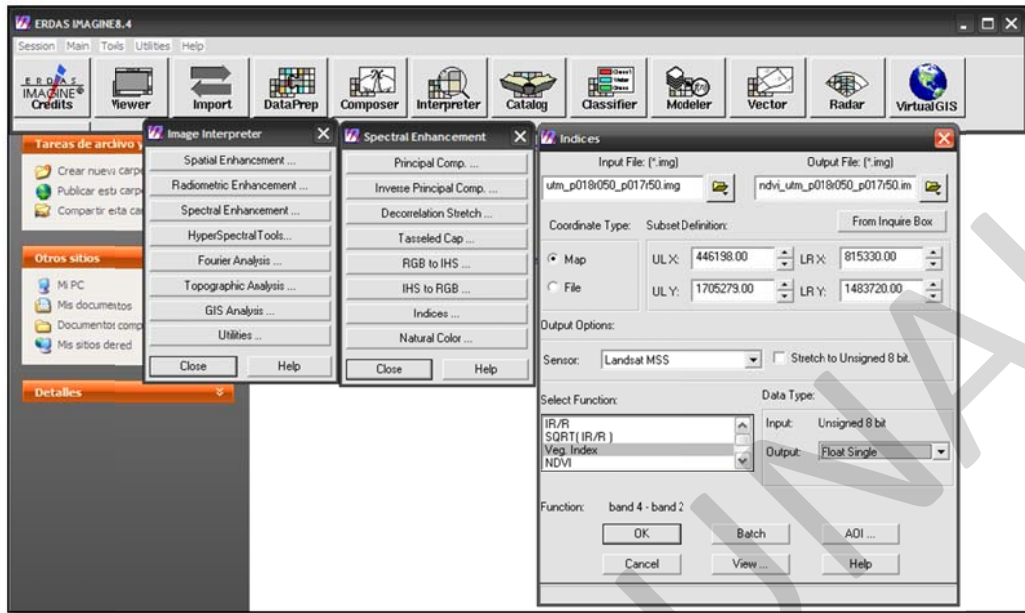


Figura 9: Proceso para cálculo del Índice Normalizado de Vegetación (NDVI). Fuente propia.

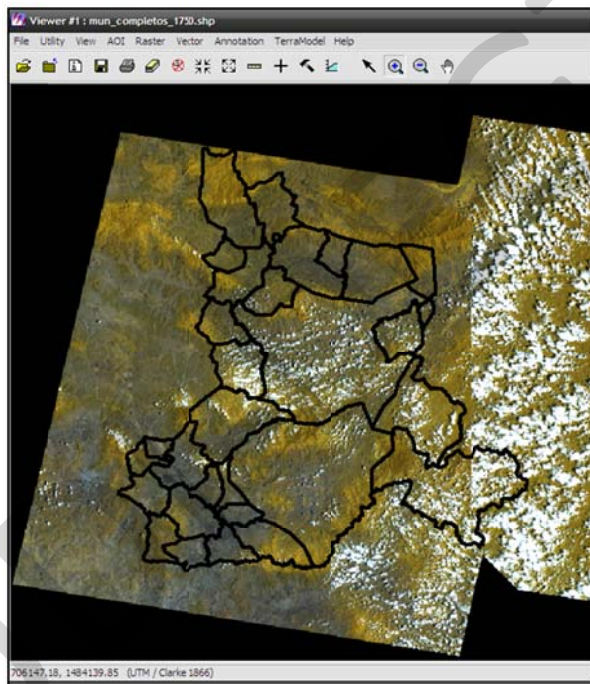


Figura 10: Mosaico de escenas 17-50 del 16 de marzo de 1976 y 18-50 del 23 de marzo de 1975 para el sensor MSS, superpuesta la cobertura de los municipios seleccionados para la investigación. Fuente: SERVIR.

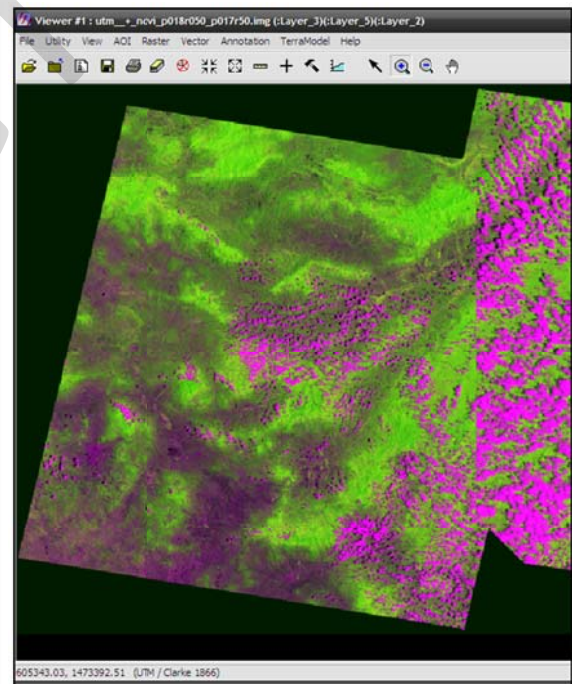


Figura 11: Índice Normalizado de Vegetación, mostrado en el canal verde, permitiendo resaltar e identificar fácilmente las áreas cubiertas de vegetación. Fuente: propia.

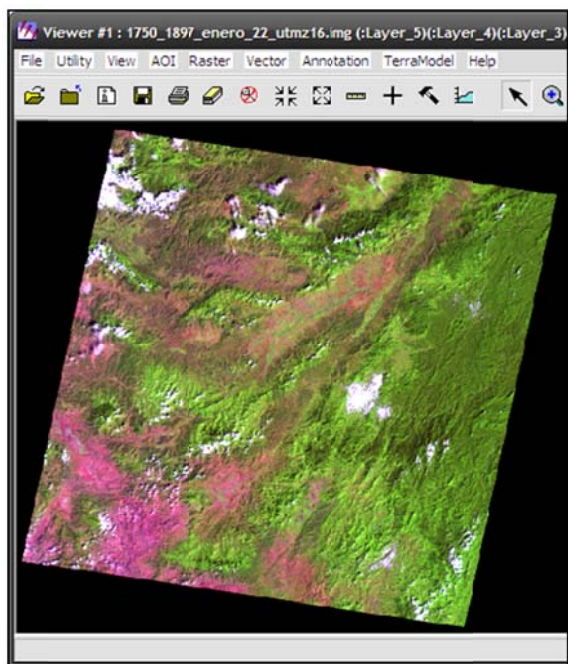


Figura 12.1.a: escena 17-50 de 22/enero/1987. Fuente: SERVIR.

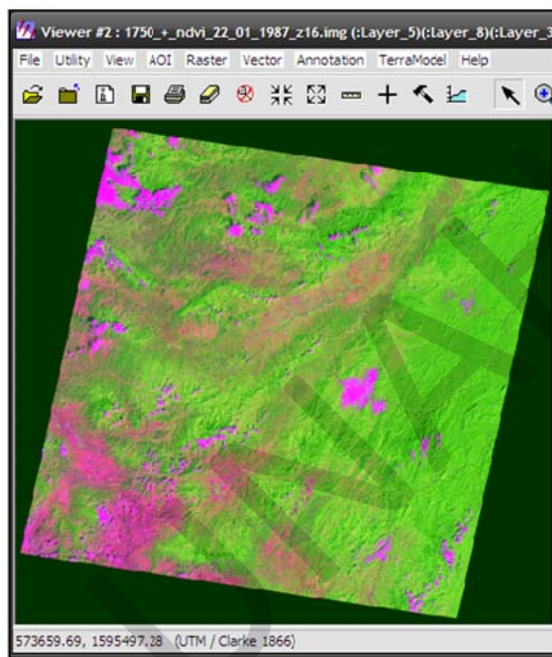


Figura 12.1.b: NDVI realizando cobertura en la escena 17-50 de 22/enero/1987. Fuente: propia.

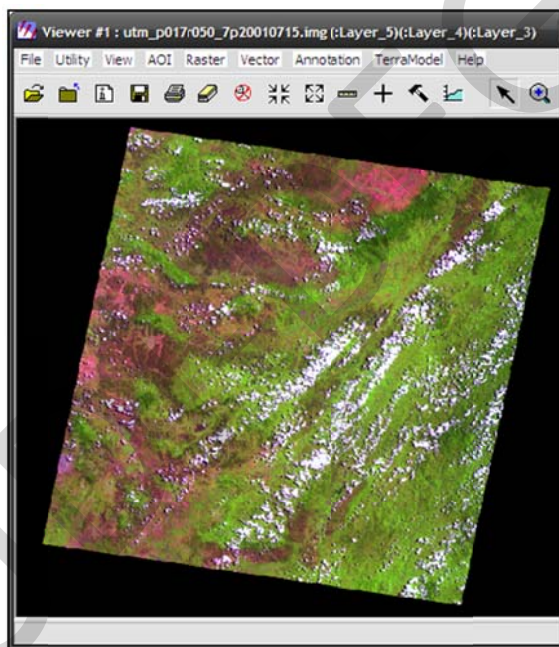


Figura 12.2.a: escena 17-50 de 15/julio/2001. Fuente: SERVIR.

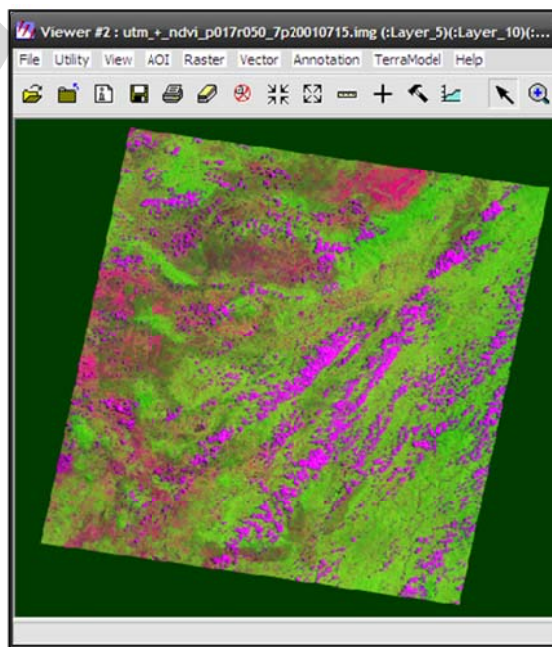


Figura 12.2.b: NDVI realizando cobertura en la escena 17-50 de 15/julio/2001. Fuente: propia.

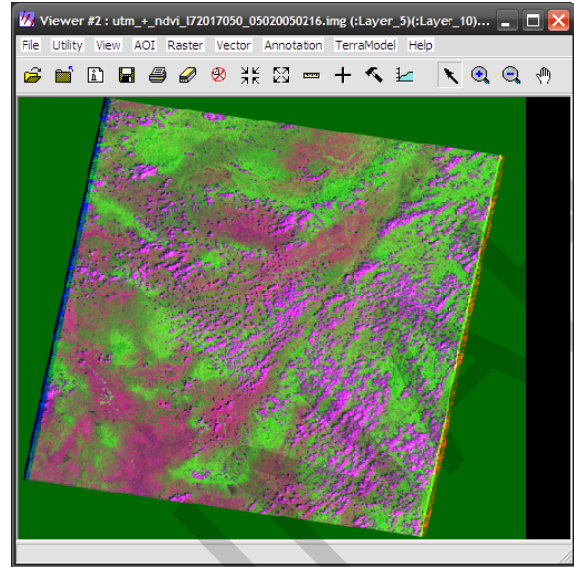
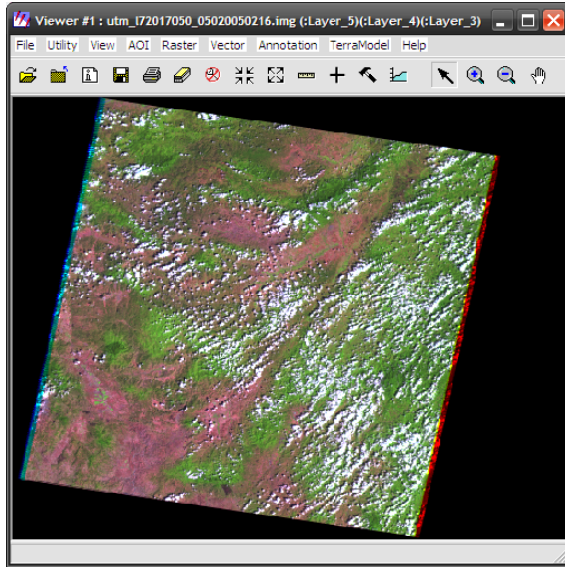


Figura 12.3.a: escena 17-50 de 16/febrero/2005. Fuente: SERVIR.

Figura 12.3.b: NDVI realizando cobertura en la escena 17-50 de 16/febrero/2005. Fuente: propia.

Con el NDVI incorporado a la escena, a través de layer stack, se ejecuta el algoritmo ISODATA, agrupando mediante la reflectancia de los pixeles en clústeres las diferentes zonas de la escena, que hemos definido como: Tierra con Cobertura (1) y Tierra sin Cobertura (0), como se muestra en la figura 13.

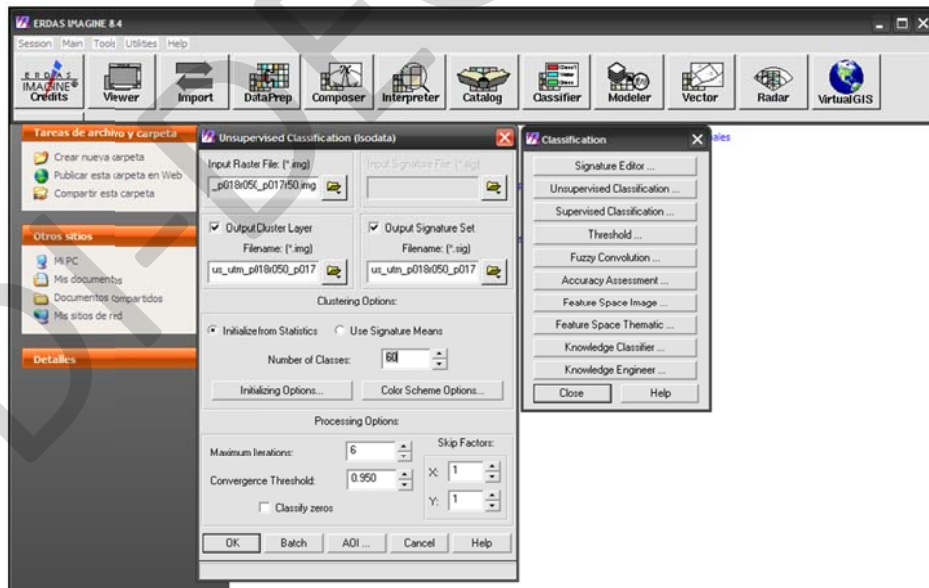
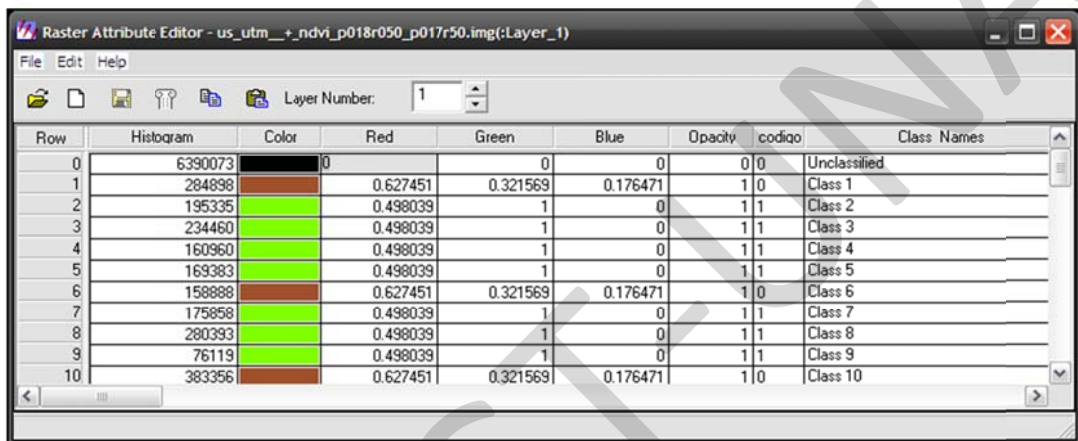


Figura 13: Ejecución de algoritmo ISODATA para agrupación de clústeres. Fuente propia.

Utilizando el editor de atributos para archivos raster, se procede a realizar la clasificación de cada uno de los clústeres, determinando cuales representan tierra con cobertura vegetal (1) y tierra sin cobertura vegetal (2) tal como se muestra en la figura 14, recordando que para esta investigación no se diferenciará el tipo de vegetación (latifoliado, pino, etc.), sino que por el contrario todas las categorías de bosque son agrupadas en una sola categoría: cobertura vegetal.



Row	Histogram	Color	Red	Green	Blue	Opacity	código	Class Names
0	6390073	0	0	0	0	0	0	Unclassified
1	284898		0.627451	0.321569	0.176471	1	0	Class 1
2	195335		0.498039	1	0	1	1	Class 2
3	234460		0.498039	1	0	1	1	Class 3
4	160960		0.498039	1	0	1	1	Class 4
5	169383		0.498039	1	0	1	1	Class 5
6	158888		0.627451	0.321569	0.176471	1	0	Class 6
7	175858		0.498039	1	0	1	1	Class 7
8	280393		0.498039	1	0	1	1	Class 8
9	76119		0.498039	1	0	1	1	Class 9
10	383356		0.627451	0.321569	0.176471	1	0	Class 10

Figura 14: Clasificación de clústeres mediante la utilización del editor de atributos para archivos raster. Fuente propia.

Es recomendable la aplicación de algún tipo de filtro para reagrupación de clústeres, en este caso se utiliza el filtro denominado vecino más cercano, el cual puede ser utilizado mediante una matriz de 3 x 3, 5 x 5 y 7 x 7 según sea el caso (figura 15), sin embargo se invita iniciar siempre con el filtro de 3 x 3, si es necesario se debe ejecutar el proceso para el filtro de 5 x 5 y luego el de 7 x 7, realizando una comparación para determinar cuál de los tres resultados se adaptan mejor a las necesidades de la investigación, figura 16.1, 16.2 y 16.3 mostrando el resultado de la aplicación del filtro vecino más cercano a lo obtenido de la clasificación del mosaico con las escenas de 1975 y 1976.

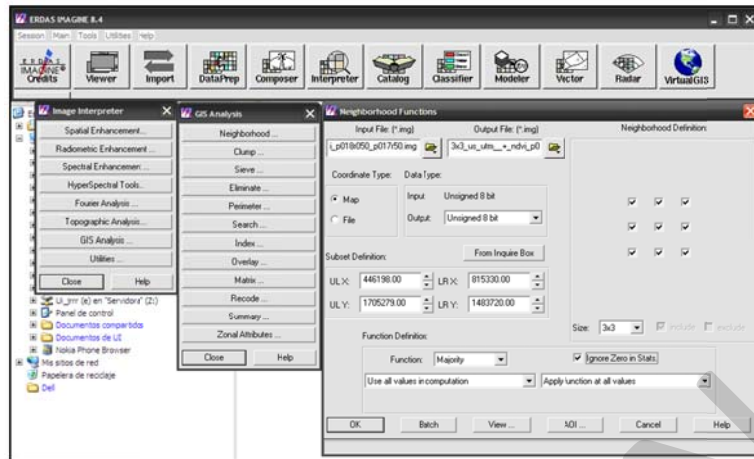


Figura 15: Reagrupación de clústeres mediante filtro denominado vecino más cercano de 3 x 3. Fuente Propia

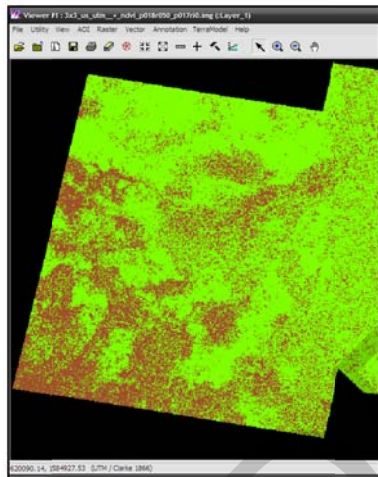


Figura 16.1: Resultado de la aplicación del filtro vecino más cercano con una matriz de 3 x 3 en mosaico de escenas de 1975 y 1976. Fuente propia.

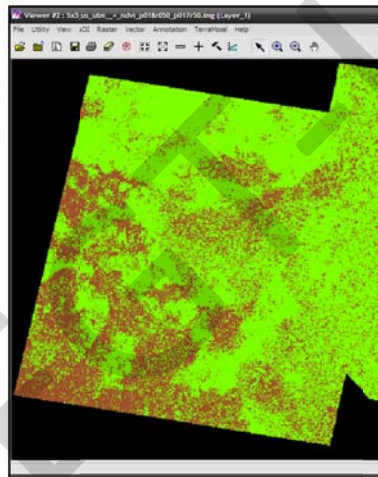


Figura 16.2: Resultado de la aplicación del filtro vecino más cercano con una matriz de 5 x 5 en mosaico de escenas de 1975 y 1976. Fuente propia.

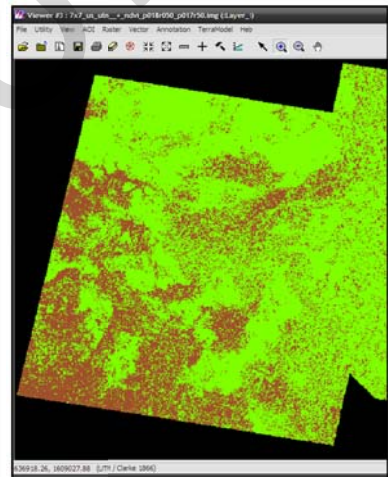


Figura 16.3: Resultado de la aplicación del filtro vecino más cercano con una matriz de 7 x 7 en mosaico de escenas de 1975 y 1976. Fuente propia.

Al finalizar la labor de clasificación no supervisada se obtienen los mapas de cobertura para cada uno de los años como se muestran en la figura 17, en la sección de anexos se muestran los mapas individuales para cada uno de los momentos evaluados (anexo 1, 2, 3 y 4).

A partir de estos resultados se realiza el análisis de cambios, así como también la integración de las variables que se utilizarán en el modelo de regresión logística y medir la probabilidad de impacto en la pérdida de la vegetación para zona de estudio seleccionada.

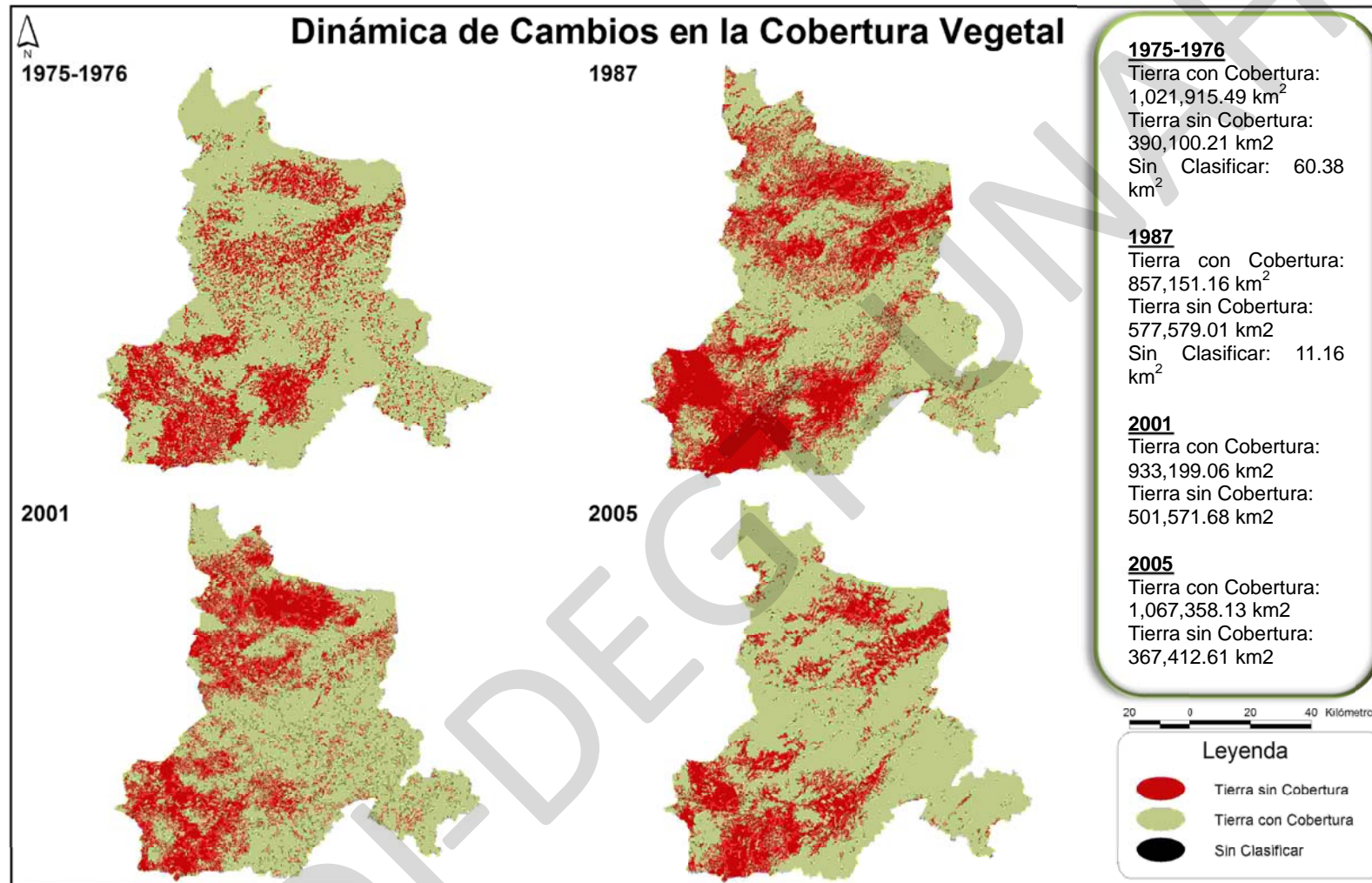


Figura 17: Dinámica de Cambios en la Cobertura Vegetal. Fuente propia.

Cobertura Vegetal, Población, Red Vial y Centros Poblados

Tradicionalmente se considera que en los municipios (o ciudades) donde se concentra la mayor cantidad de población serán los que posean menor cantidad de vegetación, sin embargo en la evaluación realizada se puede apreciar que la dinámica de cambios ha sido relativamente estable, logrando visualizar un aumento significativo en la cobertura vegetal para el año 2005 (tabla 9, pudiendo responder a: sensibilización de la población, socialización de las leyes, plan de maestro de reconstrucción, plan de nación entre otras campañas y políticas nacionales que se desarrollan e implementan en Honduras.

La tabla 9 y el gráfico 1 permiten evaluar de manera rápida la dinámica de cambios que se muestra a través de los mapas en la figura 18 (mapas detallados en anexo 5, 6, 7 y 8), donde se sobreponen la cobertura vegetal, población, red vial y centros poblados, evidenciando que donde se concentran los centros urbanos se tienen las zonas afectadas por la dinámica de cambios desde el momento T_x (1975) al momento T_y (2005).

Año escena	Año Censo de Población	Población Total ¹	Tierra con Cobertura Vegetal ² (km ²)	Tierra sin Cobertura Vegetal ² (km ²)	Sin Clasificar ² (km ²)	Total Cobertura ² (km ²)	Variación de la cobertura entre censos	Variación de la cobertura con respecto al año base (1974)
1975-1976	1974	204,423.00	1,021,915.49	390,100.21	60.38	1,412,076.08	0%	0%
1987	1988	466,622.00	857,151.16	577,579.01	11.16	1,434,741.33	-11%	-11%
2001	2001	555,752.00	933,199.06	501,571.68	0	1,434,770.74	5%	-6%
2005	2005*	610,727.00	1,067,358.13	367,412.61	0	1,434,770.74	9%	3%

Tabla 9: Comparación de cambios en la cobertura vegetal en relación a la población total de la zona de estudio. Fuente propia.

1 Datos de población obtenidos del INE

2 Datos obtenidos a partir de la clasificación de las escenas landsat realizado en Erdas 8.4, fuente propia

* Población Proyectada por el INE para el 2005

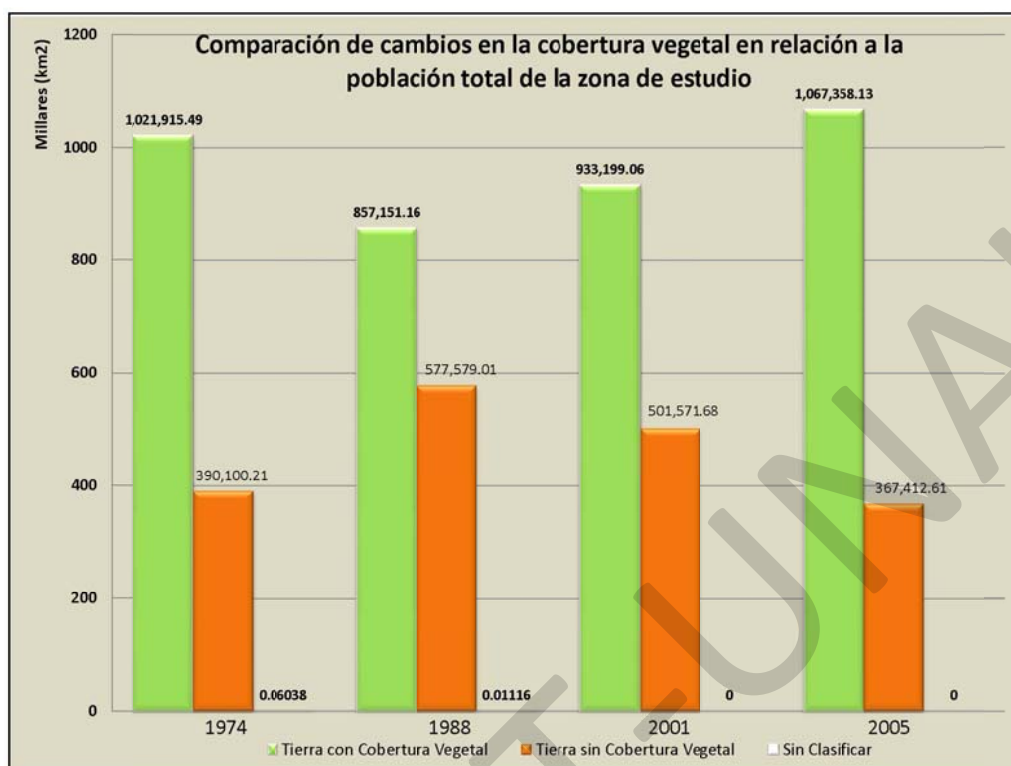


Gráfico 1: Comparación de cambios en la cobertura vegetal en relación a la población total de la zona de estudio, fuente propia

Es importante mencionar que, después los desastres que Honduras enfrentó a causa de fenómeno natural: Huracán Mitch en octubre de 1998, se diseñó el Plan Maestro de Reconstrucción y Transformación Nacional (PMRTN), este plan tenía una meta esencial: *edificar un nuevo país, con características económicas, políticas y sociales superiores a las que prevalecían al momento de la tragedia*, teniendo cuatro objetivos fundamentales:

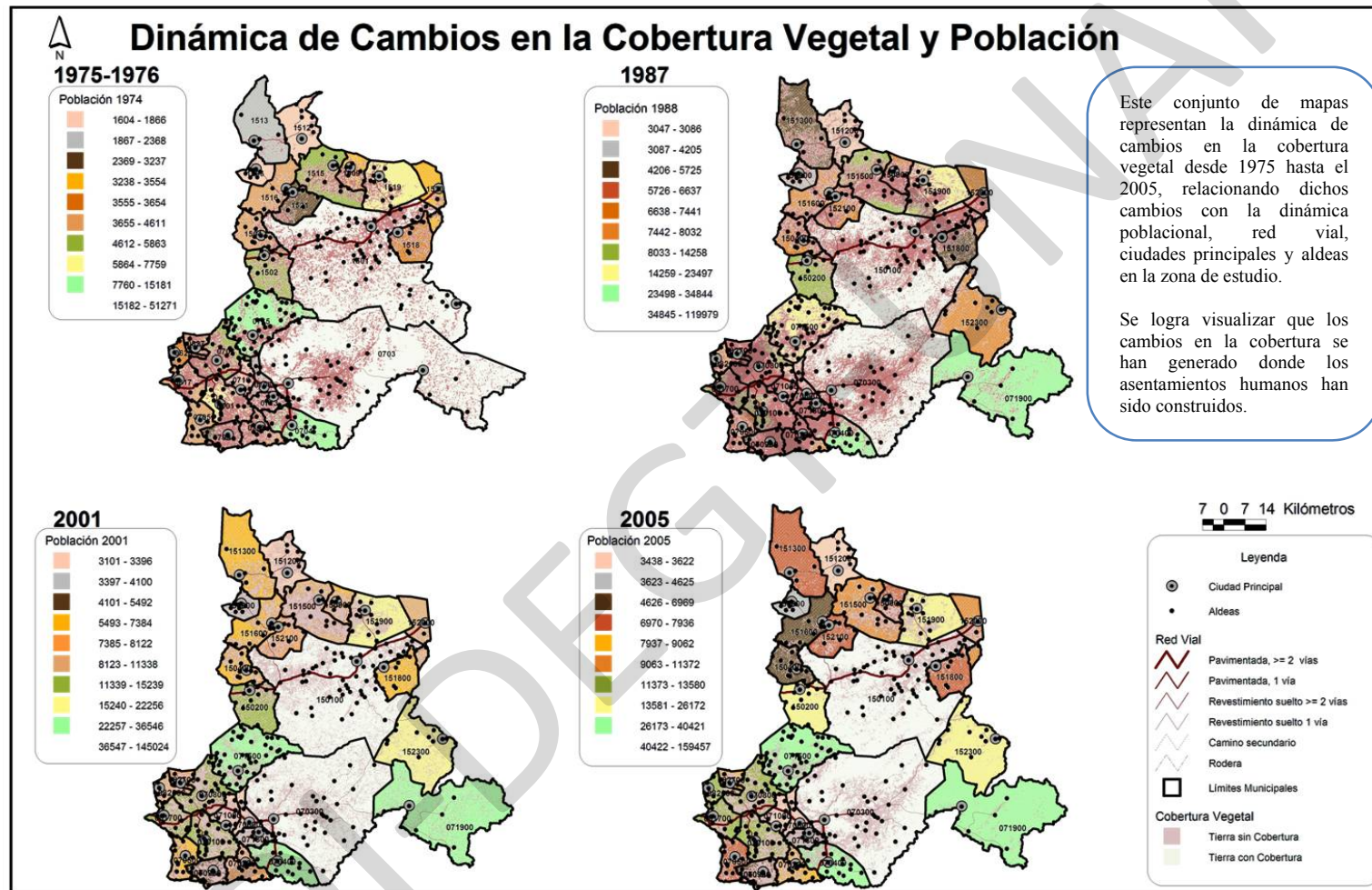
1. Reactivación económica con generación de empleo, mediante la recuperación y desarrollo de los sectores productivos e infraestructura y la consolidación y eventual ampliación de las reformas macroeconómicas;
2. Combate a la pobreza y el desarrollo humano integral, implementando medidas de mitigación de la pobreza extrema y el mejoramiento de la calidad y cobertura de los servicios sociales básicos;
3. Reducción de la vulnerabilidad, implementado políticas y/o planes de manejo sostenible de los recursos naturales y el medio ambiente con un apropiado sistema de prevención y mitigación de desastres; y

4. Promoción de la participación democrática, con equidad social en los diferentes aspectos de la vida nacional.

El PMRTN estaba enfocado en tres temas claves o fundamentales: *Pobreza, Medio Ambiente, y Participación Democrática*. En lo referente al medio ambiente, se reconoce la estrecha relación entre la ocurrencia de fenómenos naturales como el huracán Mitch y el cambio climático, mismos que suceden a nivel mundial, relacionándolos con el calentamiento de la tierra y otros daños al medio ambiente exógenos a Honduras (Grupo Consultivo Estocolmo, 1999).

Por otro lado, el Grupo Consultivo (1999), reconoce que la magnitud del desastre en 1998 se vincula con el alto grado de vulnerabilidad del país, debiéndose en gran medida a la ocupación desordenada del territorio como al diseño y localización de la infraestructura pública y privada, mismas que no cuentan con estudios ambientales y mucho menos de análisis de vulnerabilidad, amenazas y riesgos.

Asimismo, en el 2003 se aprobó mediante el decreto 180-2003 la Ley de Ordenamiento Territorial, la cual es uno de los mecanismos y normativas que coadyuvan a disminuir los riesgos y la vulnerabilidad, tratando de asegurarse el compromiso intergeneracional en favor del desarrollo sostenible, regeneración y protección del medioambiente, evidenciándose en las escenas clasificadas en esta investigación, para el año 2001 y 2005 donde la cobertura vegetal se incrementa en relación a la cobertura vegetal de 1987, que disminuyó 11% en relación al año base de esta investigación (1974) mostrados en la tabla 9 y gráfico 1.



Este conjunto de mapas representan la dinámica de cambios en la cobertura vegetal desde 1975 hasta el 2005, relacionando dichos cambios con la dinámica poblacional, red vial, ciudades principales y aldeas en la zona de estudio.

Se logra visualizar que los cambios en la cobertura se han generado donde los asentamientos humanos han sido construidos.

Figura 18: Mapas de Cobertura Vegetal, Población, Red Vial y Centros Poblados, Fuente propia

Análisis y Evaluación mediante Regresión Logística

Productos Estadísticos

Integración de datos tabulares (coberturas vectoriales)

El archivo raster generado debe convertirse a formato vectorial, lo que permite mediante la utilidad Geoprocessing Wizard de Arcview gis 3.x realizar el proceso de interceptar la cobertura municipal con la cobertura de vegetación, logrando obtener una capa de cobertura vegetal acotada al tamaño de los límites municipales utilizados en el censo, esta misma utilidad permite unir dos capas de datos con lo cual se integra los datos de cobertura vegetal y el censo de 1974, 1988, 2001, y proyección poblacional para 2005 (figura 19).

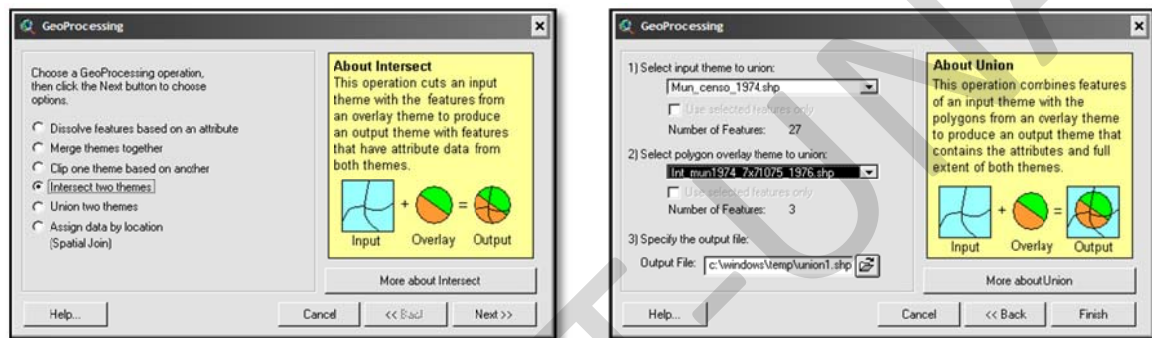


Figura 19: Utilidad que nos permite realizar diversas acciones con dos coberturas, entre ellas la cortar, intercepción y unión de coberturas, fusionando dos bases de datos representados a través de coberturas. Fuente propia.

Los datos raster han sido convertidos en vectoriales, misma que se conforma por una base de datos, teniendo ambas bases de datos (cobertura y censo poblacional) se deben integrar (join) en una sola base de datos la cual es exportada a formato dbf para poderla modelar mediante un modelo de regresión logística, dicho modelo será ejecutado en un programa estadístico: Stata SE v.11.0 (Statistics/Data Analysis Special Edition).

Para poder utilizar la base de datos generada en Arcview Gis 3.x en formato dbf, se debe importar a Stata SE v.11 (figura 20) y luego correr el modelo de regresión logística contrastando la variable dependiente con las independientes definidas anteriormente.

Los datos de población y vivienda a utilizar en las siguientes modelaciones de regresión logística se han obtenido en el Instituto Nacional de Estadística (INE), los cuales datan del Censo de Población y Vivienda de 1974, 1988 y 2001, asimismo la proyección de población realizada por el INE para el año 2005.

```
. odbc load, dsn("dBASE Files") table("tucobcenso74")
```

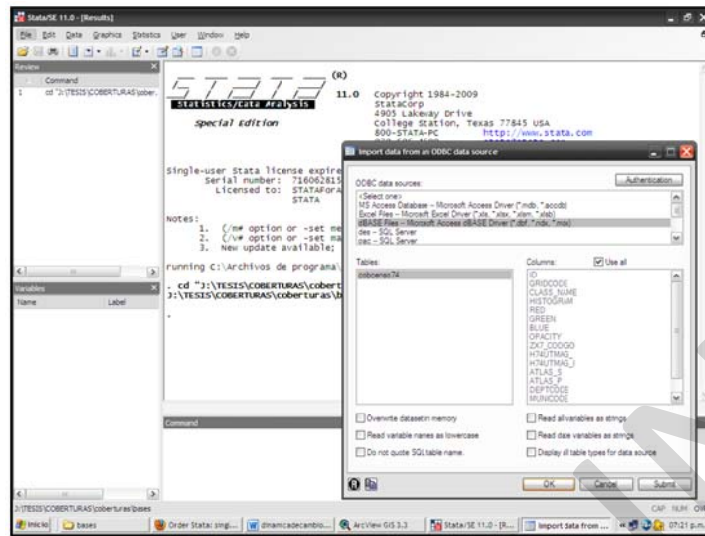


Figura 20: Mecanismo para importar bases de datos a Stata SE, Fuente propia.

Productos Estadísticos

Durante el planteamiento del problema se enumeraron cinco factores, donde según la teoría, la población (Demografía) es el factor que permite explicar la mayoría de los impactos derivados en la dinámica de cambios en la cobertura vegetal, es importante resaltar que éstos cambios no dependen solamente de la cantidad de personas, sino de las migraciones que los pobladores realizan tanto al interior como al exterior del país (Entwisle, Stern, & National Research, 2005).

Asimismo, se da a conocer que Honduras no solo cuenta con una de las más altas tasas de crecimiento (SERNA, 2000: 55), sino también una de las mas altas tasas de deforestación [86,000 ha por año (FAO)].

Por lo anterior, se reconoce que la degradación ambiental derivada de las actividades antropogénicas establecen una de las mayores amenazas para los recursos naturales, para efectos de esta investigación: la cobertura vegetal, lo que favorece la pérdida tanto de flora como de fauna, poniendo en precario la misma población (Mery, y otros, Bosques que Beneficien a la Gente y Sustenten la Naturaleza, Políticas forestales esenciales para América Latina, 2009).

Con estos antecedentes, se espera que al ejecutar el modelo de regresión logística permita evaluar estadísticamente la dinámica en la cobertura vegetal, permitiendo valorar la probabilidad que la población, en especial la población económicamente activa (PEA), sea un factor determinante en los cambios de la cobertura vegetal como también algunos de los usos que la población da a la madera: población que usa madera en la construcción de viviendas, piso de viviendas, población que usa leña/madera como fuente de energía para cocinar y/o alumbrarse, población que usa palos en la construcción de viviendas.

En la actualidad todavía el 90% de familias rurales y el 50% en áreas urbanas hondureñas utilizan estufas tradicionales para cocinar los alimentos, generando un desperdicio del 90% de energía proveniente del uso de madera en sus actividades cotidianas, adicionalmente contribuyen al calentamiento global; adicionalmente la madera y la leña representa el 70% del consumo energético del país (SERNA, 2005).

Durante muchos años la leña constituye la principal fuente de energía utilizada por la población, en especial en las zonas rurales y áreas periféricas de las grandes ciudades, este insumo es utilizado con fines domésticos, principalmente en la cocción de alimentos con fines industriales en la pequeña y mediana empresa tales como panaderías, ladrilleras, y salineras entre otras. (Benitez, 2004). Esto contrasta con datos de PNUD/SECPLAN (1992) y ENEE/ACDI (1993) que establecen que el 18% de la población urbana y 71% de la población rural no cuentan con servicios de energía eléctrica.

Estudio realizado por PNUMA (2002) revela que el 65% de la energía generada en el país proviene de la leña; asimismo, el 75% de la población la utiliza con fines domésticos, siendo Tegucigalpa, San Pedro Sula y Choluteca los centros urbanos con mayor consumo de leña. Según este informe la mayoría de las zonas boscosas cercanas a los centros urbanos han sido devastadas por los leñadores. (PNUMA 2002; República de Honduras 2003).

Por lo anterior, se espera a priori que las variables que *permitan explicar la dinámica de cambios en la cobertura vegetal de la zona de estudio seleccionada sean:*

1. *la Población Económicamente Activa (PEA),*
2. *Población que hace uso de madera como fuente de energía para la cocción de alimentos como para alumbrarse en los casos que carecen de energía eléctrica o candiles que usen gas como material combustible, y*
3. *Población que usa la madera para la construcción de viviendas*

A continuación se describe como la población de los últimos tres censos (1974, 1988 y 2001) como también la proyección de población para el 2005 y sus actividades influyen en la dinámica de cambios de la cobertura vegetal a través del modelo de regresión logística.

1. *Cobertura Vegetal 1975-1976 y Censo de Población y Vivienda de 1974*

```

. logit CODCOB POP74
Iteration 0:  log likelihood = -38.114004
Iteration 1:  log likelihood = -38.111964
Iteration 2:  log likelihood = -38.111964

Logistic regression
Log likelihood = -38.111964
Number of obs   =      55
LR chi2(1)      =      0.00
Prob > chi2     =     0.9491
Pseudo R2      =     0.0001
    
```

CODCOB	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
POP74	-1.57e-06	.0000246	-0.06	0.949	-.0000498	.0000467
_cons	.0481165	.3265072	0.15	0.883	-.5918259	.6880589

```

. mfx
Marginal effects after logit
y = Pr(CODCOB) (predict)
= .50909125
    
```

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[95% C.I.]		x
POP74	-3.93e-07	.00001	-0.06	0.949	-.000012	.000012	7475.11

Tabla 10: Regresión logística con una variable independiente: población total para la zona de estudio, censo de 1974. Fuente propia.

El valor marginal (mfx = 0.50909125) de la regresión logística mostrados en la tabla 10 explica que existe un 50.91% de probabilidad que la población total para el año de 1974 influye en los cambios de la cobertura vegetal en la zona de estudio.

El resultado del cálculo para las derivadas parciales ($d_y/d_x = -3.93e^{-07}$) para este ejercicio no es significativo, asimismo, el converger la máxima verosimilitud (-38.11) en cuatro o

menos iteraciones permite descartar la multicolinealidad²¹, con una probabilidad $\text{Prob} > \chi^2 = 0.949$; sin embargo, un resultado marginal negativo en un nivel de significancia al 95%, impide al investigador aceptar la hipótesis nula (Cameron & Trivedi, 2009).

No aceptar la hipótesis nula debido a los resultados marginales indica que la población de 1974 no es un único factor determinante para los cambios en la cobertura vegetal debido al valor obtenido de probabilidad relativamente bajo (50.91%); por lo anterior, en esta investigación se incorporan otras variables:

1. *maderapiso*: población que utiliza madera en la construcción del piso de la vivienda,
2. *madcocina*: población que utiliza madera para cocinar,
3. *alumbrado*: población que usa madera para alumbrarse por la noche o en la oscuridad,
4. *paredmad*: población que usa madera para la construcción de paredes,
5. *paredpalo*: población que usa palos para construcción de paredes.

```
. logit CODCOB POP74 MADERAPISO MADCOCINA ALUMBRADO PAREDMAD PAREDPALO
Iteration 0: log likelihood = -38.114004
Iteration 1: log likelihood = -38.110193
Iteration 2: log likelihood = -38.110193

Logistic regression               Number of obs   =      55
LR chi2(6)                       =      0.01
Prob > chi2                      =      1.0000
Pseudo R2                       =      0.0001

Log likelihood = -38.110193
```

	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
POP74	-5.92e-06	.000171	-0.03	0.972	-.0003411	.0003293
MADERAPISO	.0000361	.0123986	0.00	0.998	-.0242648	.0243369
MADCOCINA	.000062	.0030891	0.02	0.984	-.0059925	.0061166
ALUMBRADO	.0000954	.002197	0.04	0.965	-.0042106	.0044015
PAREDMAD	-.0003173	.0122588	-0.03	0.979	-.0243442	.0237096
PAREDPALO	-.0015197	.0595251	-0.03	0.980	-.1181867	.1151473
_cons	.0333888	.6106005	0.05	0.956	-1.163366	1.230144

²¹ Se define como la existencia de una relación perfecta o exacta entre las variables explicativas de un modelo de regresión. El término de error estocástico es incluido en la evaluación de la multicolinealidad, esto se refiere a relaciones lineales entre variables x y no elimina las relaciones no lineales existentes entre ellas. En un modelo clásico de regresión lineal se entiende que no hay multicolinealidad debido a que: cuando la multicolinealidad es perfecta los coeficientes de la regresión de las variables x son indeterminados y sus errores estándar son infinitos, caso contrario los coeficientes de regresión poseen grandes errores estándar, lo que hace que los coeficientes no pueden ser estimados con gran precisión. (Gujarati, 2004).

. mfx							
Marginal effects after logit							
y = Pr(COCCOB) (predict)							
= .50909176							
variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[95% C.I.]
POP74	-1.48e-06	.00004	-0.03	0.972	-.000085	.000082	7475.11
MADERA~0	9.01e-06	.0031	0.00	0.998	-.006064	.006082	20.3818
MADCOC~A	.0000155	.00077	0.02	0.984	-.001498	.001529	309.4
ALUMBR~0	.0000239	.00055	0.04	0.965	-.001052	.0011	440.673
PAREDMAD	-.0000793	.00306	-0.03	0.979	-.006084	.005925	38.1818
PAREDP~0	-.0003798	.01488	-0.03	0.980	-.029537	.028777	1.74545

Tabla 11: Regresión logística incorporando el uso de la madera para construcción de paredes, piso, alumbrado, y cocina. Fuente propia.

De igual manera, al integrar la población con otras variables esta probabilidad se mantiene ($mfx = 50.91\%$, ver tabla 11), de acuerdo con Cameron y Trivedi (2009), *los valores negativos no son relevantes o significativos en el modelo*, por lo que basados en los resultados anteriores se deduce que las variables “significativas” y que podrían explicar mejor la dinámica de cambios ocurridos en la cobertura vegetal de esta época son:

1. Población que utiliza madera para construcción de pisos (*maderapiso*),
2. Población que utiliza madera para cocinar (*madcocina*), y
3. Población que utiliza madera para alumbrado (*alumbrado*).

Para este modelo de regresión se obtiene una tabla de clasificación y estadísticas relacionadas mediante la utilización del comando `lstat` (tabla 12), donde: D significa que el evento ocurre, ~D que el evento no ocurre, + la probabilidad predictiva es mayor o igual que el valor límite (cutoff), y - la probabilidad predictiva es menor que el valor límite.

```

. lstat
Logistic model for CODCOB

```

Classified	True		Total
	D	~D	
+	25	24	49
-	3	3	6
Total	28	27	55

```

Classified + if predicted Pr(D) >= .5
True D defined as CODCOB != 0

```

Sensitivity	Pr(+ D)	89.29%
Specificity	Pr(- ~D)	11.11%
Positive predictive value	Pr(D +)	51.02%
Negative predictive value	Pr(~D -)	50.00%
False + rate for true ~D	Pr(+ ~D)	88.89%
False - rate for true D	Pr(- D)	10.71%
False + rate for classified +	Pr(~D +)	48.98%
False - rate for classified -	Pr(D -)	50.00%
Correctly classified		50.91%

Tabla 12: Estadísticas predictivas del modelo 1974. Fuente propia.

De la clasificación estadística mostradas en la tabla 12, se obtiene una comparación de los valores actuales y ajustados, siendo correctamente clasificados el 50.91%, de acuerdo a estos resultados 24 de un total de 55 registros han sido clasificados de forma incorrecta como 1, cuando debieron haberse clasificado como 0; 3 registros como 0, cuando lo correcto debieron haberse clasificado como 1.

De acuerdo a estas estadísticas, la capacidad predictiva del modelo para datos correctamente clasificados como 1 es de 51.02% y clasificados como 0 es de 50%; siendo correctamente clasificados 28 registros (25+3) de los 55 registros que conforman la base de datos utilizada. La tabla también proporciona las probabilidades condicionales tal como la sensibilidad o el porcentaje de observaciones con $P > 0.5$ dado que el cambio en la cobertura ocurre 25 veces de 28, en otras palabras la sensibilidad es del 89.29%.

Con resultados obtenidos anteriormente, se podría inferir que la cantidad de datos utilizados no son suficientemente representativos, lo que puede deberse a que solamente se utilizan los datos de población para 29 municipios. Se sugiere que para futuras investigaciones la desagregación de los datos se realice con datos a nivel de aldea o en su

defecto se utilice un área de estudio mucho más grande, incrementando la muestra utilizada y cubriendo mayor cantidad de municipios y/o aldeas.

2. Cobertura Vegetal 1987 y Censo de Población y Vivienda de 1988

```

. logit ZX7CODIGO POBTOT
Iteration 0:  log likelihood = -40.887209
Iteration 1:  log likelihood = -40.886566
Iteration 2:  log likelihood = -40.886566

Logistic regression
Log likelihood = -40.886566
Number of obs   =      59
LR chi2(1)      =       0.00
Prob > chi2     =     0.9714
Pseudo R2      =     0.0000
    
```

ZX7CODIGO	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
POBTOT	-3.72e-07	.0000104	-0.04	0.971	-.0000207	.0000199
_cons	.0399983	.3110425	0.13	0.898	-.5696339	.6496304

```

. mfx
Marginal effects after logit
y = Pr(ZX7CODIGO) (predict)
= .50847471
    
```

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[95% C.I.]		x
POBTOT	-9.29e-08	.00000	-0.04	0.971	-5.2e-06	5.0e-06	16405.4

Tabla 13: Regresión logística con una variable independiente: población total para la zona de estudio, censo de 1988. Fuente propia.

El valor marginal (mfx = 0.50847471) de la regresión logística mostrados en la tabla 13 explica que existe un 50.85% de probabilidad que la población total para el año de 1988 influye en los cambios de la cobertura vegetal en la zona de estudio.

El resultado del cálculo para las derivadas parciales ($d_y/d_x = -9.29e^{-08}$) para este ejercicio no es significativo, asimismo, el converger la máxima verosimilitud (-40.89) en cuatro o menos iteraciones permite descartar la multicolinealidad, con una probabilidad $Prob > \chi^2 = 0.9714$; sin embargo, un resultado marginal negativo en un nivel de significancia al 95%, impide al investigador aceptar la hipótesis nula (Cameron & Trivedi, 2009).

No aceptar la hipótesis nula debido a los resultados marginales indica que la población de 1988 no es un único factor determinante para los cambios en la cobertura vegetal debido al valor obtenido de probabilidad relativamente bajo (50.85%); por lo anterior, en

esta investigación se incorpora la población desagregada por grupos de edades, permitiendo conocer el grupo de población que mejor explica o influye en los cambios de la cobertura vegetal mostrados en la tabla 14:

1. **pop0a6**: población en edad entre 0 y 6 años (pop0a6 = 213,970),
2. **pob7a12**: población en edad entre 7 y 12 años (pob7a12 = 158099),
3. **pea88**: población en edad entre 13 y 64 años (PEA para 1988 = 541,162 personas), y
4. **pobmayor65**: población mayor de 65 años (pobmayor65 = 29,503).

```

. logit ZX7CODIGO pob0a6 pob7a12 pea88 pobmayor65
Iteration 0: log likelihood = -40.887209
Iteration 1: log likelihood = -40.837943
Iteration 2: log likelihood = -40.837943

Logistic regression
Log likelihood = -40.837943
Number of obs = 59
LR chi2(4) = 0.10
Prob > chi2 = 0.9988
Pseudo R2 = 0.0012
    
```

ZX7CODIGO	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
pob0a6	-.0002824	.0020801	-0.14	0.892	-.0043592	.0037945
pob7a12	-.0000203	.0025936	-0.01	0.994	-.0051038	.0050631
pea88	.0001672	.000549	0.30	0.761	-.0009087	.0012432
pobmayor65	-.0010554	.0045247	-0.23	0.816	-.0099236	.0078129
_cons	.1063211	.4003962	0.27	0.791	-.678441	.8910832

```

. mfx
Marginal effects after logit
y = Pr(ZX7CODIGO) (predict)
= .5084922
    
```

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[95% C.I.]		X
pob0a6	-.0000706	.00052	-0.14	0.892	-.001089	.000948	3626.61
pob7a12	-5.08e-06	.00065	-0.01	0.994	-.001276	.001265	2679.64
pea88	.0000418	.00014	0.30	0.761	-.000227	.000311	9172.24
pobma-65	-.0002638	.00113	-0.23	0.816	-.00248	.001953	500.051

Tabla 14: Regresión logística, población del censo de 1988 desagregada por edad. Fuente propia.

Al desagregar la población en rango de edades, se obtiene una probabilidad similar (mfx = 50.85%, ver tabla 14); sin embargo, se evidencia que la población que permite explicar los cambios en la cobertura vegetal se encuentra el rango de 13 a 64 (PEA) con un valor marginal positivo de 0.0000418, concordando con lo que se esperaba a priori de ejecutar el modelo de regresión logístico anterior.

En la clasificación que realiza UNICEF, se consideran niños y niñas aquellas personas menores de 19 años, asimismo, UNICEF y el INE define la población económicamente activa (PEA)²² la integran aquellas personas mayores en edades comprendidas entre los 19 y los 64 años de edad; sin embargo, en la experiencia del investigador como colaborador en el desarrollo de ciertas investigaciones, muchos de estos niños trabajan, generalmente en el sector informal y en especial en las zonas rurales de nuestro país, recordando que los municipios seleccionados para la zona de estudio seleccionada representan en su mayoría municipios rurales, esta consideración se tomará en cuenta también para los datos evaluados en la población del censo del 2001 y 2005.

En este punto y de acuerdo al modelo, se han encontrado los rangos de edades de la población que influyen en la dinámica de cambios en la cobertura vegetal para la zona de estudio, y para completar el análisis con los datos del censo del año 1988, se ejecuta nuevamente el modelo de regresión logística con los datos obtenidos del INE en relación al uso que le daba la población a la madera en ese año (tabla 15):

1. **alumbrado**: población que usa madera para alumbrarse,
2. **cocinalena**: población que usa leña para cocinar,
3. **madpared**: población que usa madera para la construcción de paredes en las viviendas,
4. **paredpalo**: población que usa palos para la construcción de paredes en las viviendas.

²² En el año 2009, el 15% de la Población Económicamente Activa (PEA) de Honduras la estaba constituida por niños en edades comprendidas en el rango de 5 a 17 años (INE, 2010).

ZX7CODIGO	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
pob0a6	-.0001572	.0036202	-0.04	0.965	-.0072526	.0069382
pob7a12	-.0000732	.0039889	-0.02	0.985	-.0078913	.0077448
pea88	.000149	.0008939	0.17	0.868	-.001603	.001901
pobmaycr65	-.0012165	.0051318	-0.24	0.813	-.0112747	.0088416
ALUMBRADO	.0000133	.0012113	0.01	0.991	-.0023608	.0023875
COCINALENA	-.000045	.0004321	-0.10	0.917	-.0008918	.0008018
MADPARED	.0002567	.0038221	0.07	0.946	-.0072344	.0077478
PAREDFALO	-.0008661	.0106789	-0.08	0.935	-.0217964	.0200642
_cons	.1302498	.4780244	0.27	0.785	-.8066609	1.06716

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[95% C.I.]		x
pob0a6	-.0000393	.0009	-0.04	0.965	-.001813	.001734	3626.61
pob7a12	-.0000183	.001	-0.02	0.985	-.001972	.001936	2679.64
pea88	.0000372	.00022	0.17	0.868	-.000401	.000475	9172.24
pobma~65	-.000304	.00128	-0.24	0.813	-.002818	.00221	500.051
ALUMBR~0	3.34e-06	.0003	0.01	0.991	-.00059	.000597	507.475
COCINA~A	-.0000113	.00011	-0.10	0.917	-.000223	.0002	2122.08
MADPARED	.0000642	.00096	0.07	0.946	-.001808	.001936	187
PAREDP~0	-.0002165	.00267	-0.08	0.935	-.005448	.005015	54.9831

Tabla 15: Modelo de regresión logístico, población desagregada por edad y por usos de la madera para 1988. Fuente propia.

De igual manera, al integrar la población con otras variables esta probabilidad se mantiene (mfx = 50.85%, ver tabla 15), de acuerdo con Cameron y Trivedi (2009), *los valores negativos no son relevantes o significativos en el modelo*, por lo que basados en los resultados anteriores se deduce que las variables “significativas” y que podrían explicar mejor la dinámica de cambios ocurridos en la cobertura vegetal de esta época son:

1. Población económicamente activa (*pea88 = población comprendida en el rango de edad de 13 y 64 años, para este año PEA = 541,162 personas*),
2. Población que usa la madera para alumbrar (*alumbrado*), y
3. Población que usa madera para construcción de paredes (*madpared*).

Para este modelo de regresión se obtiene una tabla de clasificación y estadísticas relacionadas mediante la utilización del comando lstat (tabla 16), donde: D significa que el evento ocurre, ~D que el evento no ocurre, + la probabilidad predictiva es mayor o igual que el valor límite (cutoff), y - la probabilidad predictiva es menor que el valor límite.

. lstat			
Logistic model for ZX7CODIGO			
Classified	True		Total
	D	~D	
+	21	20	41
-	9	9	18
Total	30	29	59
Classified + if predicted Pr(D) >= .5			
True D defined as ZX7CODIGO != 0			
Sensitivity	Pr(+ D)		70.00%
Specificity	Pr(- ~D)		31.03%
Positive predictive value	Pr(D +)		51.22%
Negative predictive value	Pr(~D -)		50.00%
False + rate for true ~D	Pr(+ ~D)		68.97%
False - rate for true D	Pr(- D)		30.00%
False + rate for classified +	Pr(~D +)		48.78%
False - rate for classified -	Pr(D -)		50.00%
Correctly classified			50.85%

Tabla 16: Estadísticas predictivas del modelo 1988. Fuente propia.

De la clasificación estadística mostradas en la tabla 16, se obtiene una comparación de los valores actuales y ajustados, siendo correctamente clasificados el 50.85%, de acuerdo a estos resultados, 20 de un total de 59 registros han sido clasificados de forma incorrecta como 1, cuando debieron haberse clasificado como 0; 9 registros como 0, cuando lo correcto debieron haberse clasificado como 1.

De acuerdo a estas estadísticas, la capacidad predictiva del modelo para datos correctamente clasificados como 1 es de 51.22% y clasificados como 0 es de 50%; siendo correctamente clasificados 30 registros (21+9) de los 59 registros que conforman la base de datos utilizada. La tabla también proporciona las probabilidades condicionales tal como la sensibilidad o el porcentaje de observaciones con $P > 0.5$ dado que el cambio en la cobertura ocurre 21 veces de 30, en otras palabras la sensibilidad es del 70.00%.

Al igual que para el modelo de 1974, de los resultados obtenidos anteriormente se podría inferir que la cantidad de datos utilizados no son suficientemente representativos, lo que puede deberse a que solamente se utilizan los datos de población para 29 municipios. Se sugiere que para futuras investigaciones la desagregación de los datos se realice con datos a nivel de aldea o en su defecto se utilice un área de estudio mucho más grande, incrementando la muestra utilizada y cubriendo mayor cantidad de municipios y/o aldeas.

3. Cobertura Vegetal 2001 y Censo de Población y Vivienda de 2001

```

. logit ZX3CODIGO POB_2000
Iteration 0: log likelihood = -40.887209
Iteration 1: log likelihood = -40.88462
Iteration 2: log likelihood = -40.88462

Logistic regression
Log likelihood = -40.88462
Number of obs = 59
LR chi2(1) = 0.01
Prob > chi2 = 0.9426
Pseudo R2 = 0.0001
    
```

ZX3CODIGO	Ccoef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
POB_2000	-6.40e-07	8.91e-06	-0.07	0.943	-.0000181	.0000168
_cons	-.0214533	.3126503	-0.07	0.945	-.6342367	.59133

```

. mfx
Marginal effects after logit
y = Pr(ZX3CODIGO) (predict)
= .49152424
    
```

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[95% C.I.]		x
POB_2000	-1.60e-07	.00000	-0.07	0.943	-4.5e-06	4.2e-06	19442.7

Tabla 17: Regresión logística con una variable independiente: población total para la zona de estudio, censo de 2001. Fuente propia

El valor marginal (mfx = 0.49152424) de la regresión logística mostrados en la tabla 17 explica que existe un 49.12% de probabilidad que la población total para el año 2001 influye en los cambios de la cobertura vegetal en la zona de estudio.

El resultado del cálculo obtenido de las derivadas parciales ($d_y/d_x = -1.60e^{-07}$) para este ejercicio no es significativo, asimismo, el converger la máxima verosimilitud (-40.88) en cuatro o menos iteraciones permite descartar la multicolinealidad, con una probabilidad $Prob > \chi^2 = 0.9426$; sin embargo, un resultado marginal negativo en un nivel de

significancia al 95%, impide al investigador aceptar la hipótesis nula (Cameron & Trivedi, 2009).

No aceptar la hipótesis nula debido a los resultados marginales indica que la población de 2001 no es un único factor determinante para los cambios en la cobertura vegetal debido al valor obtenido de probabilidad relativamente bajo (49.12%); por lo anterior, en esta investigación se incorpora la población desagregada por grupos de edades, permitiendo conocer el grupo de población que mejor explica o influye en los cambios de la cobertura vegetal mostrados en la tabla 18:

1. **ed_0a6**: población en edad entre 0 y 6 años (ed_0a6 = 224,326),
2. **ed_7a12**: población en edad entre 7 y 12 años (ed_7a12 = 190,483),
3. **pea2001**: población en edad entre 13 y 63 años (PEA para el año 2001 = 614,202 personas), y
4. **ed_63**: población mayor de 63 años (ed_63 = 44,314)

```

. logit ZX3CODIGO ED_0A6 ED_7A12 pea2001 ED_63
Iteration 0: log likelihood = -40.887209
Iteration 1: log likelihood = -40.794324
Iteration 2: log likelihood = -40.794316
Iteration 3: log likelihood = -40.794316

Logistic regression              Number of obs   =       59
                                LR chi2(4)      =       0.19
                                Prob > chi2     =     0.9959
                                Pseudo R2      =     0.0023

Log likelihood = -40.794316
    
```

ZX3CODIGO	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
ED_0A6	5.10e-06	.0011068	0.00	0.996	-.0021642	.0021744
ED_7A12	-.0000934	.0016651	-0.06	0.955	-.003357	.0031702
pea2001	-.0000342	.000512	-0.07	0.947	-.0010378	.0009694
ED_63	.0008942	.0039365	0.23	0.820	-.0068212	.0086095
_cons	-.0673262	.4711623	-0.14	0.886	-.9907873	.856135

```

. mfx
Marginal effects after logit
y = Pr(ZX3CODIGO) (predict)
= .49144206
    
```

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[95% C.I.]		X
ED_0A6	1.28e-06	.00028	0.00	0.996	-.000541	.000543	3802.14
ED_7A12	-.0000234	.00042	-0.06	0.955	-.000839	.000792	3228.53
pea2001	-8.55e-06	.00013	-0.07	0.947	-.000259	.000242	10410.2
ED_63	.0002235	.00098	0.23	0.820	-.001705	.002152	751.085

Tabla 18: Regresión logística con varias variables independientes: población del censo de 2001 desagregada por edades. Fuente propia.

Al desagregar la población en rango de edades, se obtiene una probabilidad similar ($mfx = 49.14\%$, tabla 19), de acuerdo con los resultados marginales las poblaciones comprendidas en los rangos de: 7-12 y la población comprendida en la PEA no son variables significativas para el modelo; por lo que se deduce que las variables que mejor explican los cambios en la cobertura vegetal son: **ed_0a7**: población comprendida en edades entre 0 y 7 años, y **ed_63**: población mayor de 63 años.

Se debe recordar que la escena obtenida para la evaluación del año 2001 no data de la misma época que el resto de escenas obtenidas para 1975-1976, 1988 y 2005, pudiendo generar incongruencias en los resultados, tal como los obtenidos en el modelo mostrado en la tabla 18; en base a la experiencia del investigador y el conocimiento empírico se descartan los datos de la población comprendidos entre edad de 0 a 6 años debido por no ser un elemento determinante para la investigación.

En este punto y de acuerdo al modelo, se han encontrado los rangos de edades de la población que influyen en la dinámica de cambios en la cobertura vegetal para la zona de estudio, y para completar el análisis con los datos del censo del año 2001, se ejecuta nuevamente el modelo de regresión logístico con los datos obtenidos del INE en relación al uso que le daba la población a la madera en ese año (tabla 19):

1. **luz_ocote**: población que usa madera para alumbrarse,
2. **eg_coc_len**: población que usa madera para cocinar,
3. **p_madera**: población que usa madera para la construcción de paredes en las viviendas,
4. **c_palo**: población que usa palos para la construcción de paredes en las viviendas,
5. **c_madera**: población que usa madera para la construcción de viviendas.

```
. logit ZX3CODIGO ED_0A6 ED_7A12 pea2001 ED_63 C_MADERA C_PALO P_MADERA LUZ_OCOTE EG_COC_LEN
```

Iteration 0: log likelihood = -40.887209
 Iteration 1: log likelihood = -40.755328
 Iteration 2: log likelihood = -40.755264
 Iteration 3: log likelihood = -40.755264

Logistic regression

Log likelihood = -40.755264

Number of obs	=	59
LR chi2(9)	=	0.26
Prob > chi2	=	1.0000
Pseudo R2	=	0.0032

zx3CODIGO	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
ED_0A6	.0002814	.0022852	0.12	0.902	-.0041976	.0047603
ED_7A12	-.0003653	.002751	-0.13	0.894	-.0057571	.0050265
pea2001	.0003001	.0006449	0.05	0.963	-.0012339	.001294
ED_63	.0006495	.0056443	0.12	0.908	-.0104132	.0117121
C_MADERA	.0003235	.0047354	0.07	0.946	-.0089578	.0096048
C_PALO	-.0048286	.0254926	-0.19	0.850	-.0547931	.0451359
P_MADERA	-.0012004	.0579018	-0.02	0.983	-.1146859	.112285
LUZ_OCOTE	.0001678	.0009659	0.17	0.862	-.0017252	.0020609
EG_COC_LEN	-.0002861	.0022188	-0.13	0.897	-.0046349	.0040628
_cons	.0494006	.7278722	0.07	0.946	-1.377203	1.476004

```
. mfx
```

Marginal effects after logit
 y = Pr(ZX3CODIGO) (predict)
 = .49133239

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[95% C.I.]	x
ED_0A6	.0000703	.00057	0.12	0.902	-.001049	.00119	3802.14	
ED_7A12	-.0000913	.00069	-0.13	0.894	-.001439	.001256	3228.53	
pea2001	7.51e-06	.00016	0.05	0.963	-.000308	.000323	10410.2	
ED_63	.0001623	.00141	0.12	0.908	-.002603	.002927	751.085	
C_MADERA	.0000808	.00118	0.07	0.946	-.002239	.0024	203.644	
C_PALO	-.0012068	.00637	-0.19	0.850	-.013694	.011281	20.2034	
P_MADERA	-.0003	.01447	-0.02	0.983	-.028663	.028063	13.2542	
LUZ_OC~E	.0000419	.00024	0.17	0.862	-.000431	.000515	420.695	
EG_COC~N	-.0000715	.00055	-0.13	0.897	-.001158	.001015	2789.97	

Tabla 19: Modelo de regresión logístico, usos de la madera para el 2001. Fuente propia.

De igual manera, al ejecutar el modelo de regresión logístico con las variables que representan el uso de la madera, esta probabilidad se mantiene (mfx = 49.13%, ver tabla 19), de acuerdo con Cameron y Trivedi (2009), *los valores negativos no son relevantes o significativos en el modelo*. Adicionalmente, en base a la experiencia del investigador y el conocimiento empírico se descartan los datos de la población comprendidos entre edad de 0 a 6 años debido por no ser un elemento determinante para la investigación, por lo que se deduce que las variables que mejor explican los cambios en la cobertura vegetal son:

1. **pea2001**: población comprendida entre 13 y 63 años,
2. **ed_63**: población mayor de 63 años,
3. **c_madera**: población que utiliza madera en la construcción de viviendas,
4. **luz_ocote**: población que utiliza madera para alumbrase.

Para este modelo de regresión se obtiene una tabla de clasificación y estadísticas relacionadas mediante la utilización del comando lstat (tabla 20), donde: D significa que el evento ocurre, ~D que el evento no ocurre, + la probabilidad predictiva es mayor o igual que el valor límite (cutoff), y - la probabilidad predictiva es menor que el valor límite.

. lstat			
Logistic model for ZX3CODIGO			
Classified	True		Total
	D	~D	
+	13	13	26
-	16	17	33
Total	29	30	59
Classified + if predicted Pr(D) >= .5			
True D defined as ZX3CODIGO != 0			
Sensitivity	Pr(+ D)		44.83%
Specificity	Pr(- ~D)		56.67%
Positive predictive value	Pr(D +)		50.00%
Negative predictive value	Pr(~D -)		51.52%
False + rate for true ~D	Pr(+ ~D)		43.33%
False - rate for true D	Pr(- D)		55.17%
False + rate for classified +	Pr(~D +)		50.00%
False - rate for classified -	Pr(D -)		48.48%
Correctly classified			50.85%

Tabla 20: Estadísticas predictivas del modelo 2001. Fuente propia.

De la clasificación estadística mostradas en la tabla 21, se obtiene una comparación de los valores actuales y ajustados, siendo correctamente clasificados el 50.00%, de acuerdo a estos resultados 13 de un total de 59 registros han sido clasificados de forma incorrecta como 1, cuando debieron haberse clasificado como 0; 16 registros como 0, cuando lo correcto debieron haberse clasificado como 1.

De acuerdo a estas estadísticas, la capacidad predictiva del modelo para datos correctamente clasificados como 1 es de 50.00% y clasificados como 0 es de 52%; siendo correctamente clasificados 30 registros (13+17) de los 59 registros que conforman la base de datos utilizada. La tabla también proporciona las probabilidades condicionales tal como la sensibilidad o el porcentaje de observaciones con $P > 0.5$ dado que el cambio en la cobertura ocurre 20 veces de 30, en otras palabras la sensibilidad es del 44.83%.

De igual manera que para el modelo de 1974 y 1988, en este modelo y con resultados obtenidos anteriormente, se podría inferir que la cantidad de datos utilizados no son suficientemente representativos, lo que puede deberse a que solamente se utilizan los datos de población para 29 municipios. Se sugiere que para futuras investigaciones la desagregación de los datos se realice con datos a nivel de aldea o en su defecto se utilice un área de estudio mucho más grande, incrementando la muestra utilizada y cubriendo mayor cantidad de municipios y/o aldeas.

Para esta época, muchas condiciones han cambiado, en especial las vías de comunicación o los accesos a los diferentes poblados, políticas y/ o planes de manejo que se consideraron en el PMRTN de 1999 (aunque algunos sigan con las mismos senderos para llegar hasta ellos).

De acuerdo a datos obtenidos del INE, en relación al uso de la madera para construcción, cocina y alumbramiento, se infiere que la implementación de algunos planes (Plan Maestro de Reconstrucción y Transformación Nacional, PMRTN), leyes (Ley de Ordenamiento Territorial, Ley General del Ambiente) como campañas de sensibilización y concienciación realizadas a través de la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA) es posible que *la población haya podido cambiar algunas costumbres como el uso de leña o madera para construcción, cocina, iluminación entre otros, permitiendo cambiar sus costumbres (cultura)*, siendo este otro de los factores que influyen en los cambios en la cobertura vegetal (Lambin & Geist, 2007), como también la utilización de la madera para otros fines, por ejemplo tráfico ilícito (SERNA, 2005) (CONADEH, 2007).

4. Cobertura Vegetal 2005 y Proyección de la Población para 2005

```

. logit ZX3CODIGO TOTPOB
Iteration 0: log likelihood = -40.887209
Iteration 1: log likelihood = -40.886397
Iteration 2: log likelihood = -40.886397

Logistic regression
Log likelihood = -40.886397
Number of obs = 59
LR chi2(1) = 0.00
Prob > chi2 = 0.9679
Pseudo R2 = 0.0000

```

ZX3CODIGO	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
TOTPOB	3.25e-07	8.06e-06	0.04	0.968	-.0000155	.0000161
_cons	-.0406873	.3101192	-0.13	0.896	-.6485097	.5671352

```

. mfx
Marginal effects after logit
y = Pr(ZX3CODIGO) (predict)
= .49152527

```

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[95% C.I.]		x
TOTPOB	8.12e-08	.00000	0.04	0.968	-3.9e-06	4.0e-06	20887.2

Tabla 21: Regresión logística con una variable independiente: población total proyectada por el INE para el año 2005. Fuente propia

El valor marginal ($mfx = 0.49152527$) de la regresión logística mostrados en la tabla 21 explica que existe un 49.15% de probabilidad que la población total para el año 2005 influye en los cambios de la cobertura vegetal en la zona de estudio.

El resultado del cálculo obtenido de las derivadas parciales ($d_y/d_x = 8.12e^{-08}$) para este ejercicio es significativo, asimismo, el converger la máxima verosimilitud (-40.886397) en cuatro o menos iteraciones permite descartar la multicolinealidad, con una probabilidad $Prob > \chi^2 = 0.9679$. Con esta probabilidad, el investigador puede aceptar la hipótesis nula con un nivel de significancia al 95% (Cameron & Trivedi, 2009).

Los resultados marginales indican que la población total de 2005 podría explicar los cambios en la cobertura vegetal debido al valor obtenido de probabilidad (49.15%) y un valor marginal positivo. Adicionalmente, en esta investigación se incorporan la población desagregada por grupos de edad, permitiendo determinar qué grupo de edad explica o influye en los cambios de la cobertura vegetal (tabla 22):

1. **pob0a6**: población en edad entre 0 y 6 años (poba0a6 = 253,17),
2. **pob7a12**: población en edad entre 7 y 12 años (pob7a12 = 200,940),
3. **pea2005**: población en edad entre 13 y 64 años (PEA para el año 2005 = 731,717),
4. **pobmayor65**: población mayor de 65 años (pobmayor65 = 46,047).

```
. logit ZX3CODIGO pob0a6 pob7a12 pea2005 pobmayor65
Iteration 0: log likelihood = -40.887209
Iteration 1: log likelihood = -40.883232
Iteration 2: log likelihood = -40.883232

Logistic regression
Log likelihood = -40.883232
Number of obs = 59
LR chi2(4) = 0.01
Prob > chi2 = 1.0000
Pseudo R2 = 0.0001
```

ZX3CODIGO	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interva]	
pob0a6	-.0000207	.0010641	-0.02	0.985	-.0021062	.0020649
pob7a12	-9.96e-06	.0017475	-0.01	0.995	-.0034349	.003415
pea2005	.0000255	.0004104	0.06	0.951	-.000779	.0008299
pobmayor65	-.0002666	.0036383	-0.07	0.942	-.0073975	.0068644
_cons	-.0189164	.4432459	-0.04	0.966	-.8876624	.8498297

```
. mfx
Marginal effects after logit
y = Pr(ZX3CODIGO) (predict)
= .49152453
```

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[95% C.I.]		X
pob0a6	-5.16e-06	.00027	-0.02	0.985	-.000526	.000516	4291.07
pob7a12	-2.49e-06	.00044	-0.01	0.995	-.000858	.000854	3405.76
pea2005	6.36e-06	.0001	0.06	0.951	-.000195	.000207	12402
pobma~65	-.0000666	.00091	-0.07	0.942	-.001849	.001716	780.458

Tabla 22: Regresión logística con varias variables independientes: población proyectada por el INE, en base al censo de 2001 para el año 2005 desagregada por edades. Fuente propia.

Al desagregar la población en rango de edades, se obtiene una probabilidad similar (mfx = 49.15%, tabla 22), de acuerdo con los resultados marginales las poblaciones comprendidas en los rangos de: 0-6, 7-12 y mayor de 65 años no son variables significativas para el modelo; por lo que se deduce que la variable que mejor explica los cambios en la cobertura vegetal es: **pea2005**: población comprendida en edades entre 13 y 64 años, PEA para este año = 731,717 personas.

Asimismo, para este modelo de regresión se obtiene una tabla de clasificación y estadísticas relacionadas mediante la utilización del comando lstat (tabla 23), donde: D

significa que el evento ocurre, ~D que el evento no ocurre, + la probabilidad predictiva es mayor o igual que el valor límite (cutoff), y - la probabilidad predictiva es menor que el valor límite.

. !stat			
Logistic model for ZX3CODIGO			
Classified	True		Total
	D	~D	
+	4	4	8
-	25	26	51
Total	29	30	59
Classified + if predicted Pr(D) >= .5			
True D defined as ZX3CODIGO != 0			
Sensitivity	Pr(+ D)		13.79%
Specificity	Pr(- ~D)		86.67%
Positive predictive value	Pr(D +)		50.00%
Negative predictive value	Pr(~D -)		50.98%
False + rate for true ~D	Pr(+ ~D)		13.33%
False - rate for true D	Pr(- D)		86.21%
False + rate for classified +	Pr(~D +)		50.00%
False - rate for classified -	Pr(D -)		49.02%
Correctly classified			50.85%

Tabla 23: Estadísticas predictivas del modelo 2005. Fuente propia.

De la clasificación estadística mostradas en la tabla 23, se obtiene una comparación de los valores actuales y ajustados, siendo correctamente clasificados el 50.85%, de acuerdo a estos resultados 4 de un total de 59 registros han sido clasificados de forma incorrecta como 1, cuando debieron haberse clasificado como 0; 27 registros como 0, cuando lo correcto debieron haberse clasificado como 1.

De acuerdo a estas estadísticas, la capacidad predictiva del modelo para datos correctamente clasificados como 1 es de 50.00% y clasificados como 0 es de 50.98%; siendo correctamente clasificados 30 registros (4+26) de los 59 registros que conforman la base de datos utilizada. La tabla también proporciona las probabilidades condicionales tal como la sensibilidad o el porcentaje de observaciones con $P > 0.5$ dado que el cambio en la cobertura ocurre 4 veces de 30, en otras palabras la sensibilidad es del 13.79%.

De igual manera que para el modelo de 1974, 1988 y 2001, en este modelo y con resultados obtenidos anteriormente, se podría inferir que la cantidad de datos utilizados

no son suficientemente representativos, lo que puede deberse a que solamente se utilizan los datos de población para 29 municipios. Se sugiere que para futuras investigaciones la desagregación de los datos se realice con datos a nivel de aldea o en su defecto se utilice un área de estudio mucho más grande, incrementando la muestra utilizada y cubriendo mayor cantidad de municipios y/o aldeas.

Conclusiones

1. A pesar que en los informes del ICF, SERNA y CONADEH, Honduras posee una de las tasas de crecimiento de población más altas de América Latina, como también una de las tasas más altas de deforestación (legal / ilegal), los cambios en la cobertura vegetal que se han determinado para la zona de estudio no han demostrado que la deforestación es predominante, por el contrario los datos estadísticos disponibles evidencian una regeneración en la cobertura vegetal.

Esta conclusión motiva a reflexionar sobre el paradigma ambiental actual relacionado con los avances de la frontera agrícola, áreas deforestadas, asumiendo que no existe regeneración de la vegetación o que los esquemas socio-culturales se mantienen en tala, roza y quema permitiendo reflexionar sobre acciones y/o temas de investigación a realizar en el corto, mediano y largo plazo tales como: tendencias de cambios, planes de manejo de cuencas, acciones de reforestación/manejo de bosques para la protección de cuencas, planes de ordenación del territorio, gestión de riesgo, planes estratégicos de desarrollo, prevención y mitigación de desastres, pudiendo implementar medidas estructurales y no estructurales, alerta temprana.

2. Aún y cuando el conocimiento empírico, donde se argumenta por algunos autores que la población el factor más influyente en los cambios en la cobertura vegetal, los resultados de las evaluaciones realizadas a través del modelo de regresión logística, se puede concluir que la población es un factor a tomar en cuenta, sin embargo no se visualiza como el factor predominante; en futuras evaluaciones es necesario incluir otras variables que permitan una evaluación integral.
3. La evaluación de los cambios en la cobertura boscosa (vegetación) como en centros poblados coadyuvan en la cuantificación de costos (pérdidas) que la deforestación trae consigo, como también los costos de las consecuencias sociales a las que se enfrenta el país cuando existen cambios en el tamaño de la población, en especial ciudades que crecen desordenadamente, como lo es Tegucigalpa.

4. Es importante destacar, que las causas que generan la dinámica de cambios en la cobertura vegetal son complejas de evaluar, definiéndose por variables ecológicas, sociales, políticas, económicas, demográficas, tecnológicas, culturales, entre otras; las que en su mayoría presentan una sinergia entre ellas, variando en el tiempo y espacio debido a los condicionantes del momento en cada época.
5. Actualmente, en Honduras existen diversas leyes orientadas a proteger y conservar el patrimonio natural, asimismo es participe de distintos protocolos y convenios internacionales orientados a la adaptación de los efectos generados derivados del cambio climático; sin embargo es importante la implementación correcta para poder conservar los ecosistemas, generando conciencia y sensibilización para la protección del patrimonio natural de Honduras y el mundo entero.
6. La teledetección en combinación de modelos de regresión logística permiten robustecer los análisis de la dinámica de cambios en la cobertura vegetal, permitiendo el desarrollo de planes de contingencia eficientes y efectivos, debiendo ser estas medidas incluyentes, contando con la participación de todos los sectores de la sociedad.
7. En Honduras, ya existe una Ley para la Ordenación del Territorio (Decreto No. 180-2003), que debe trabajarse de forma conjunta con otros aspectos importantes como son: áreas de manejo especial como las áreas protegidas, recursos hídricos (ley de aguas), crecimiento poblacional, desarrollo turístico, biodiversidad, aprovechamiento de la madera, gases de efecto de invernadero, entre otros y garantizar la participación de todos los sectores de la sociedad evitando mayor degradación del bosque, suelo, agua, clima, etc.

Recomendaciones

1. Con el decreto 87-87 se establecieron distintas áreas hondureñas como importantes de conservar, denominadas áreas protegidas, sería de suma importancia vincular el análisis realizado en esta investigación, permitiendo establecer si estas áreas han sido conservadas como se establece en la ley o en su defecto también han sido abatidas por los cambios como otros lugares de Honduras, siendo capaces de robustecer las actuales políticas, planes de manejo y campañas de protección y conservación.
2. Desagregar la clasificación, determinando los usos del territorio, permitiendo evaluar la dinámica de cambios de una manera más detallada que permita el establecimiento de la frontera agrícola, sus avances o retrocesos, esto su vez podría incorporar variables relacionadas con las actividades agroindustriales, datos que se podrían obtener en la Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG) a través del censo agrícola que ellos realizan.
3. Evaluar las diferentes leyes del país que se relacionan con esta investigación, otorgándole un peso (evitando al máximo la subjetividad, por ejemplo: Ley General de Ambiente, Ley de Ordenamiento Territorial, Ley de Aguas, Decretos de Áreas Protegidas entre otras) de tal manera que pueda integrarse al modelo de regresión logística con la que se ha evaluado la injerencia de la población sobre la cobertura vegetal.
4. En diversos libros y en especial el de Teledetección Ambiental del autor Emilio Chuvieco (2008), establece que un análisis multitemporal puede realizarse con escenas recolectadas cada tres años, sin embargo para nuestro país pueden realizarse con escenas obtenidas cada cinco años, esto se debe al tamaño del país y de la población. Adicionalmente se recomienda que las escenas a obtener sean siempre de la misma fecha o época lo que garantiza la homogeneidad de condiciones para efectos del análisis.
5. Si bien es cierto las evaluaciones ambientales mediante imágenes landsat han sido eficientes, se recomienda la adquisición de escenas con una resolución mayor a la que landsat ofrece (900m²), permitiendo una discriminación de los elementos de una

manera más fácil y eficaz, como también la incorporación de datos vectoriales a una mayor escala (1:50,000, 1:20,000) que ofrecen más detalles que los datos utilizados en esta investigación.

6. Para este tipo de investigaciones y en especial por el tipo de datos (primarios y secundarios que se encuentran en escalas pequeñas de 1:500,000) que se utilizan es recomendable la planificación y realización de trabajo de campo, esto permite al investigador asegurarse que la clasificación que se está realizando en gabinete sea correcta, ofrece elementos necesarios para realizar las correcciones y ajustes necesarios.
7. Todos los elementos y especies (humana, animal, flora) confluyen en un proceso de sinergia de manera estrecha, por lo que a través de la teledetección es factible evaluar y modelar los efectos e impactos que se pudiesen presentar, en especial los relacionados a la actividad humana, permitiendo contar con sistemas de alerta temprana en el caso de los fenómenos naturales, disminuyendo las pérdidas humanas, económicas, infraestructura, ambientales entre otras.
8. Debido a la experiencia del investigador en diversas áreas de trabajo como bombero voluntario, representante por Honduras ante proyectos regionales como el SIAM e iniciativas mundiales como el Grupo de Observación de la Tierra Sistema de Sistemas (GEOSS), recomienda incluir en futuras investigaciones datos relacionados a: los fenómenos naturales (huracanes, tormentas, deslizamientos, terremotos erosión, entre otros), incendios forestales y tala ilegal, cambio climático, flujos migratorios entre otros. Estas son variables importantes en la pérdida de la cobertura, es importante poder contar con dichos datos.

Bibliografía

Bibliografía

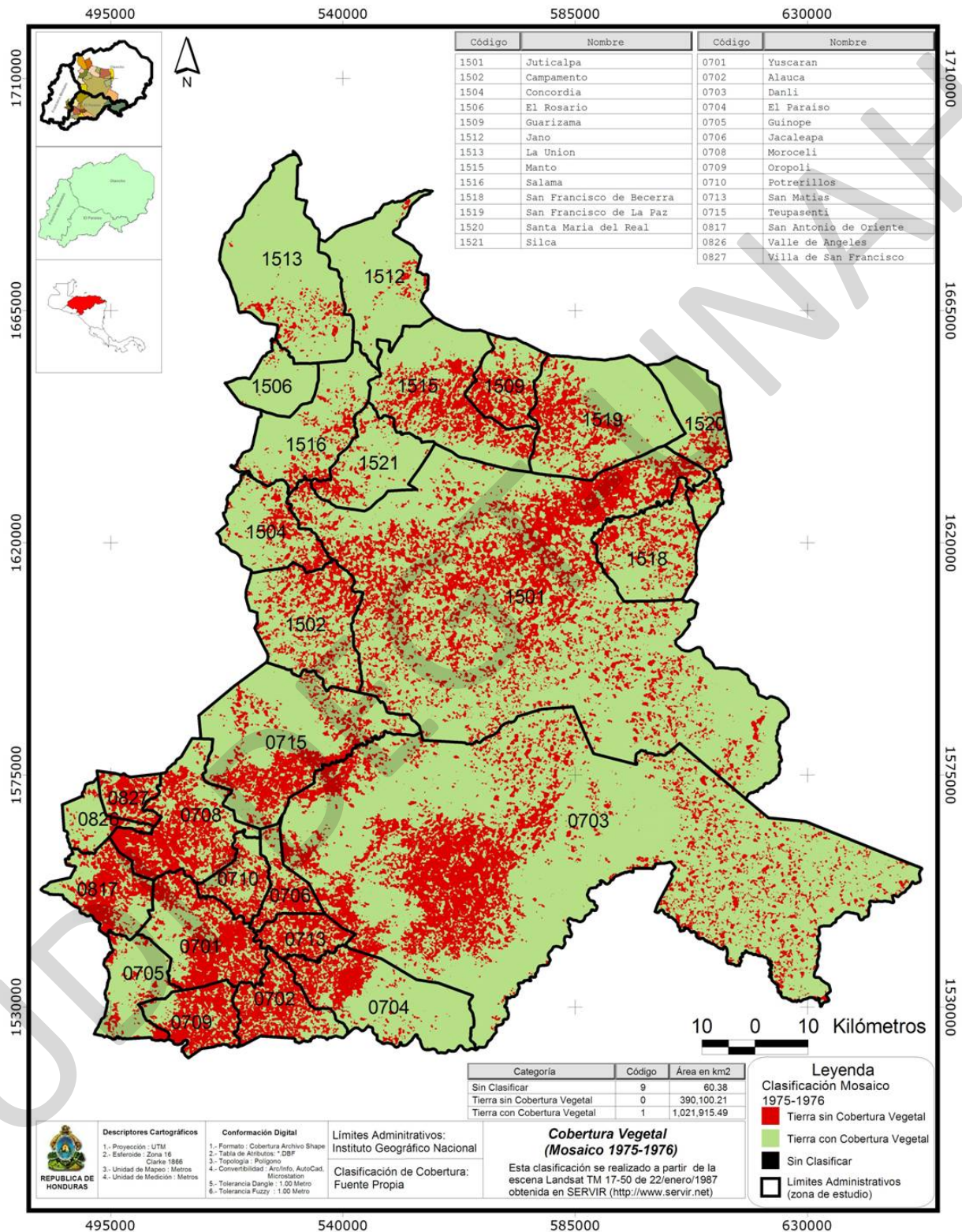
- Cameron, A. C., & Trivedi, P. K. (2009). *Microeconometrics Using Stata*. Texas: Stata Press.
- Céspedes, V. W., & Tosi, J. A. (2000). El Sistema de Zonas de Vida. (C. C. Tropical, Ed.) *Biocenosis* 13(1/2), 9.
- Cherrington, E. (17 de septiembre de 2010). consulta vía correo electrónico. Panamá, Panamá: Applied Research and Scientific Development Division Manager (emil.cherrington@cathalac.org).
- Chuvieco, E. (1996). *Fundamentos de Teledetección Espacial*. RIALP.
- Chuvieco, E. (2008). *Teledetección Ambiental*. Barcelona: Book Print Digital.
- Cole, J. H. (s.f.). Nociones de Regresión Lineal. *Enciclopedia Multimedia Virtual de Economía EMVI*.
- CONADEH. (2007). *Comisionado Nacional de los Derechos Humanos de Honduras*. Recuperado el 6 de marzo de 2011, de http://www.conadeh.hn/noticias/convenio_bosquep.htm
- Dirección General de Estadística y Censos. (1974).
- Dixon, W. (1988). *BMDP Statistical Software*. University of California Press.
- Ellis, E. (18 de abril de 2010). *The Encyclopedia of Earth*. Recuperado el 21 de septiembre de 2010, de http://www.eoearth.org/article/Land-use_and_land-cover_change
- Entwisle, B., Stern, P. C., & National Research. (2005). *Population, Land Use, and Environment*. Washington DC: National Academics Press.
- European Space Agency. (2000 - 2010). *ESA - Eduspace*. Recuperado el 24 de julio de 2010, de <http://www.eduspace.esa.int>
- European Space Agency. (julio de 2006). *The Changing Earth*. The Netherlands: ESA Publications Division.
- FAO. (7 de octubre de 2010). *Cambio climático*. Recuperado el 10 de marzo de 2011, de <http://www.fao.org/climatechange/49371/es/>
- FAO. (s.f.). *FAO*. Recuperado el 2 de diciembre de 2009, de <http://www.fao.org>
- FOSDEH. (2008). *Honduras: Balance 2008. Estamos mal, pero ¿podremos mejorar?* Tegucigalpa.
- GeoInstitutos. (2011). *GeoInstitutos*. Recuperado el 3 de marzo de 2011, de http://www.geoinstitutos.com/art_03_cober2.asp
- GeoInstitutos. (s.f.). *Plataforma de los Institutos Geográficos Iberoamericanos*. Recuperado el 1 de marzo de 2010, de <http://www.geoinstitutos.com/>
- Gómez, L. D., Godoy, J. C., Herrera-MacBryde, O., & Villa-Lobos, J. (1997). *Central America Regional*. (S. Institution, Productor) Recuperado el 3 de marzo de 2011, de

- Centres of Plant Diversity: A Guide and Strategy for their Conservation, Vol. III: The Americas: <http://botany.si.edu/projects/cpd/ma/macentral.htm>
- Grupo Consultivo Estocolmo. (25-28 de mayo de 1999). Honduras: Plan Maestro de Reconstrucción y Transformación Nacional. Estocolmo, Suecia.
- Gujarati, D. N. (2004). *Basic Econometrics*. McGraw-Hill.
- Hosmer, D. W., & Lemeshow, S. (1989). *Applied Logistic Regression* (2da Edición ed.). New York: John Wiley.
- Index Mundi . (2008). Recuperado el 2010 de septiembre de 20, de Index Mundi: http://www.indexmundi.com/es/honduras/tasa_de_crecimiento.html
- INE. (febrero de 2010). *Instituto Nacional de Estadísticas*. Recuperado el 22 de febrero de 2010, de <http://www.ine-hn.org/>
- INE. (8 de junio de 2010). *Instituto Nacional de Estadísticas*. Recuperado el 28 de marzo de 2011, de <http://www.ine.gob.hn>
- Jensen, J. R. (1996). *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*. Prentice Hall.
- Lambin, E. F., & Geist, H. J. (2007). *Encyclopedia of Earth*. Recuperado el 20 de septiembre de 2010, de http://www.eoearth.org/article/Causes_of_land-use_and_land-cover_change>
- Locatelli, B. (2006). *Vulnerabilidad de los bosques y sus servicios ambientales al cambio climático*. CIRAD-CATIE.
- Marshall Space Flight Center Earth Science Office (NASA). (s.f.). *Earth Science Office* . Recuperado el 24 de julio de 2010, de <http://weather.msfc.nasa.gov>
- McCoy, R. M. (2005). *Field Methods in Remote Sensing*. New York, NY: The Guilford Press.
- Mery, G., Galloway, G., Sabogal, C., Alfaro, R., Louman, B., Kengen, S., y otros. (2009). *Bosques que Beneficien a la Gente y Sustenten la Naturaleza, Políticas forestales esenciales para América Latina*(88), 24. Turrialba, Costa Rica: MasterLitho.
- Mery, G., Galloway, G., Sabogal, C., Alfaro, R., Louman, B., Kengen, S., y otros. (2009: 7). *Bosques que Beneficien a la Gente y Sustenten la Naturaleza, Políticas forestales esenciales para América Latina*(88), 24. Turrialba, Costa Rica: MasterLitho.
- NASA. (1999).
- NASA: Earth Observatory. (marzo de 2011). *Earth Observatory*. (J. Weier , & D. Herring, Editores) Recuperado el 4 de marzo de 2011, de http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php
- NASA-CCAD. (10 de diciembre de 1998). Memoradum of Understanding between The National Aeronautics and Space Administration of The United States of America and The Central American Commission on Environment and Development. 10. Washington D.C.
- PNUMA. (2002). *Pachama: Guía del Maestro*. Nairobi, Kenia: Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

- PNUMA. (2002). *Pachamama Guía del maestro*.
- PNUMA, CCAD. (2005). *GEO Centroamérica, Perspectivas del medio ambiente 2004*. México, septiembre 2005.
- Powers, D. A., & Xie, Y. (2008). *Statistical Methods for Categorical Data Analysis*. (E. G. Limited, Ed.) New York: Statistics in Medical Research.
- Rejas, J. G., Rodríguez, J. R., Véliz, S. V., Pineda, M. C., Martínez, E. L., Euraque, D. A., y otros. (agosto de 2009). Archaeological remote sensing approach in Honduras. A project for cultural heritage and human habitats protection. *Archaeopress Ltd*(ISBN 978 1 4073 0659 9), 6.
- SERNA. (1997). *Perfil Ambiental de Honduras*.
- SERNA. (2000). *Informe del Estado del Ambiente*. Comayaguela MDC: Ediciones Zas.
- SERNA. (2001). *Estudio sobre Diversidad Biológica de la República de Honduras*. Tegucigalpa: Multiprint S. de R. L. de C. V.
- SERNA. (2005). *Geo Honduras 2005, Informe del Estado y Perspectivas del Medio Ambiente*. Tegucigalpa: PNUMA / SCANCOLOR.
- SERVIR. (2009). Obtenido de <http://www.servir.net/>
- Sobrino, J. A. (2000). *Teledetección*. Valencia, España: Guada Impresores S.L.
- Soihet, C., Kleinn, C., Corrales, L., & Gamero, R. (octubre de 2000). FRA 2000 Bibliografía comentada cambios en la cobertura forestal en Honduras. (*Documento de Trabajo 44*), 42. Roma: Departamento de Montes de la FAO - CATIE.
- SRGIS Geología y Geomática Ltda. (2006). *SRGIS Sensores Remotos & GIS*. Recuperado el 10 de octubre de 2010, de <http://www.srgis.cl>
- Universidad de Murcia. (s.f.). *Universidad de Murcia*. Recuperado el 11 de marzo de 2010, de <http://www.um.es/geograf/sig/teledet/>
- USGS. (s.f.). *USGS Global Visualization Viewer*. Recuperado el 3 de diciembre de 2009, de <http://glovis.usgs.gov/> revisada 03 de diciembre de 2009

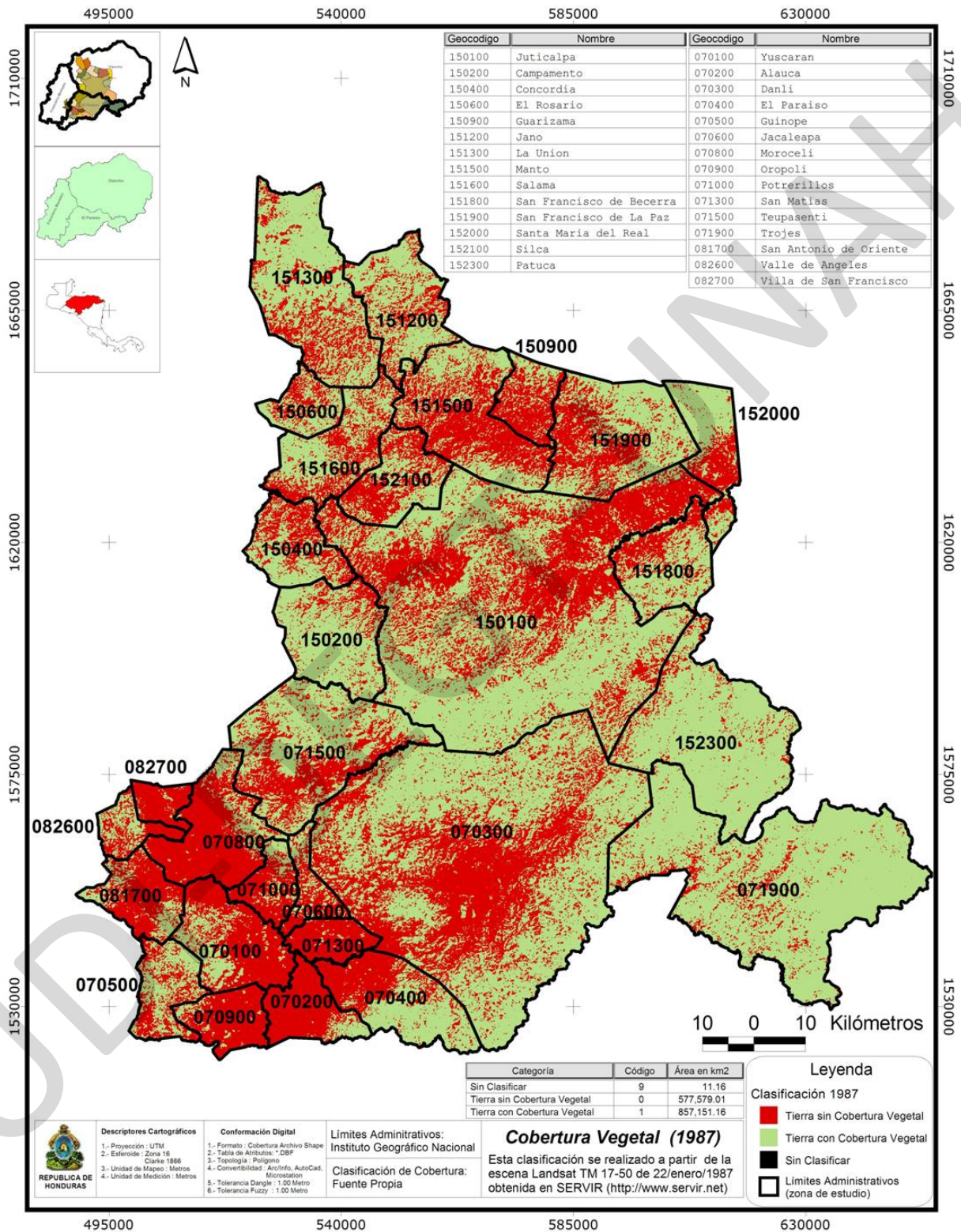
Anexos

Anexo 1



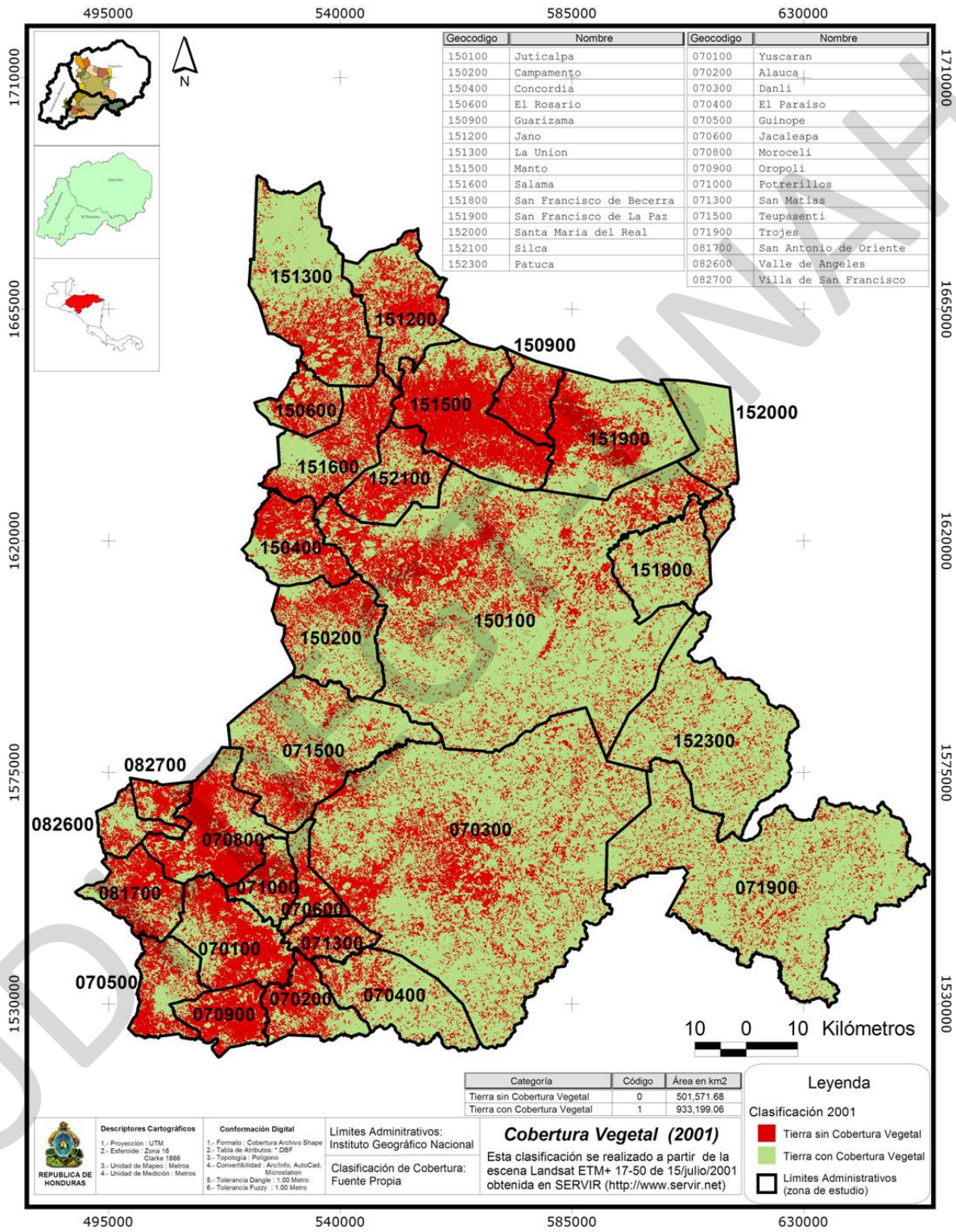
Cobertura Vegetal mosaico de 1975-1976, Fuente propia.

Anexo 2



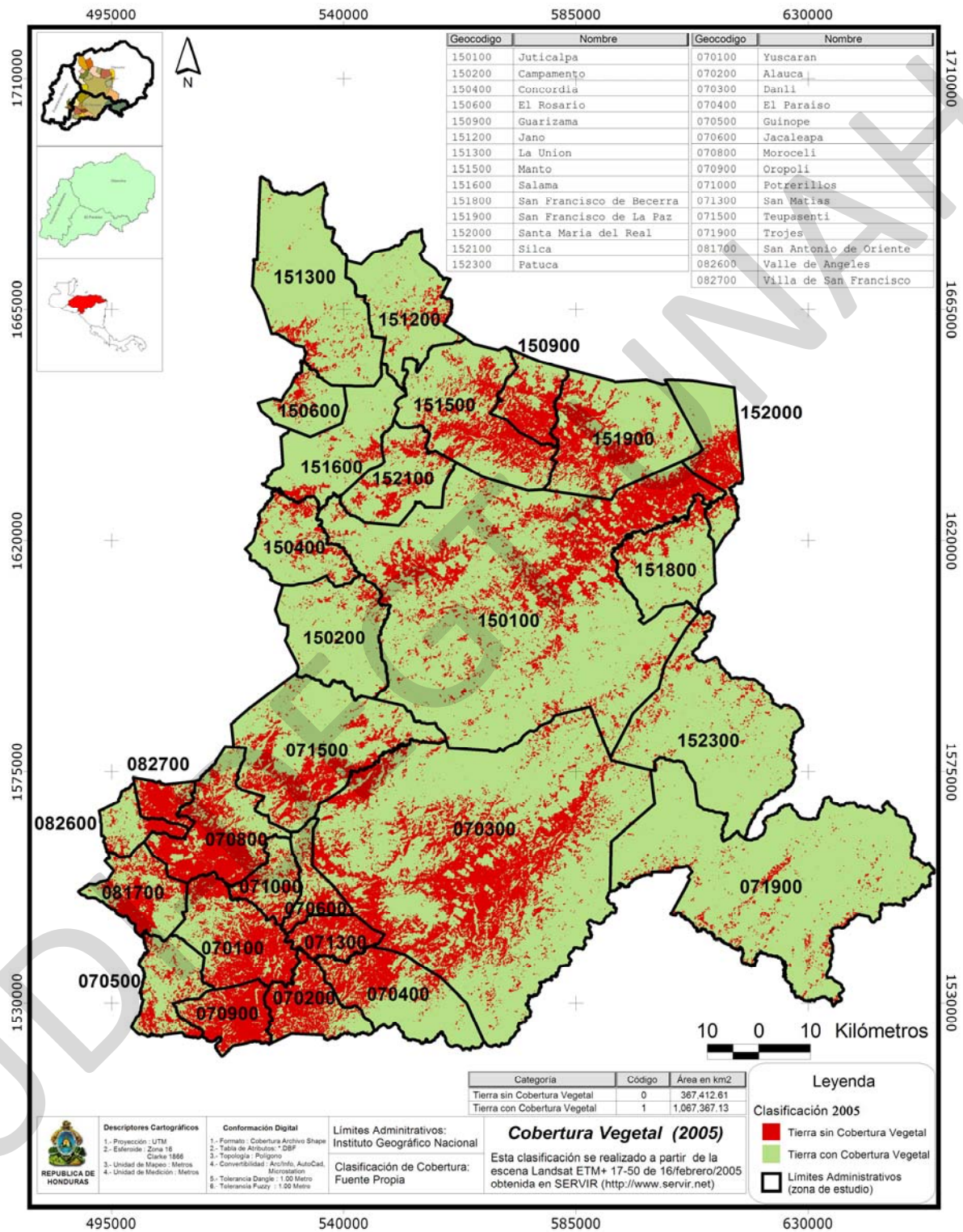
Cobertura Vegetal 1987, Fuente propia

Anexo 3



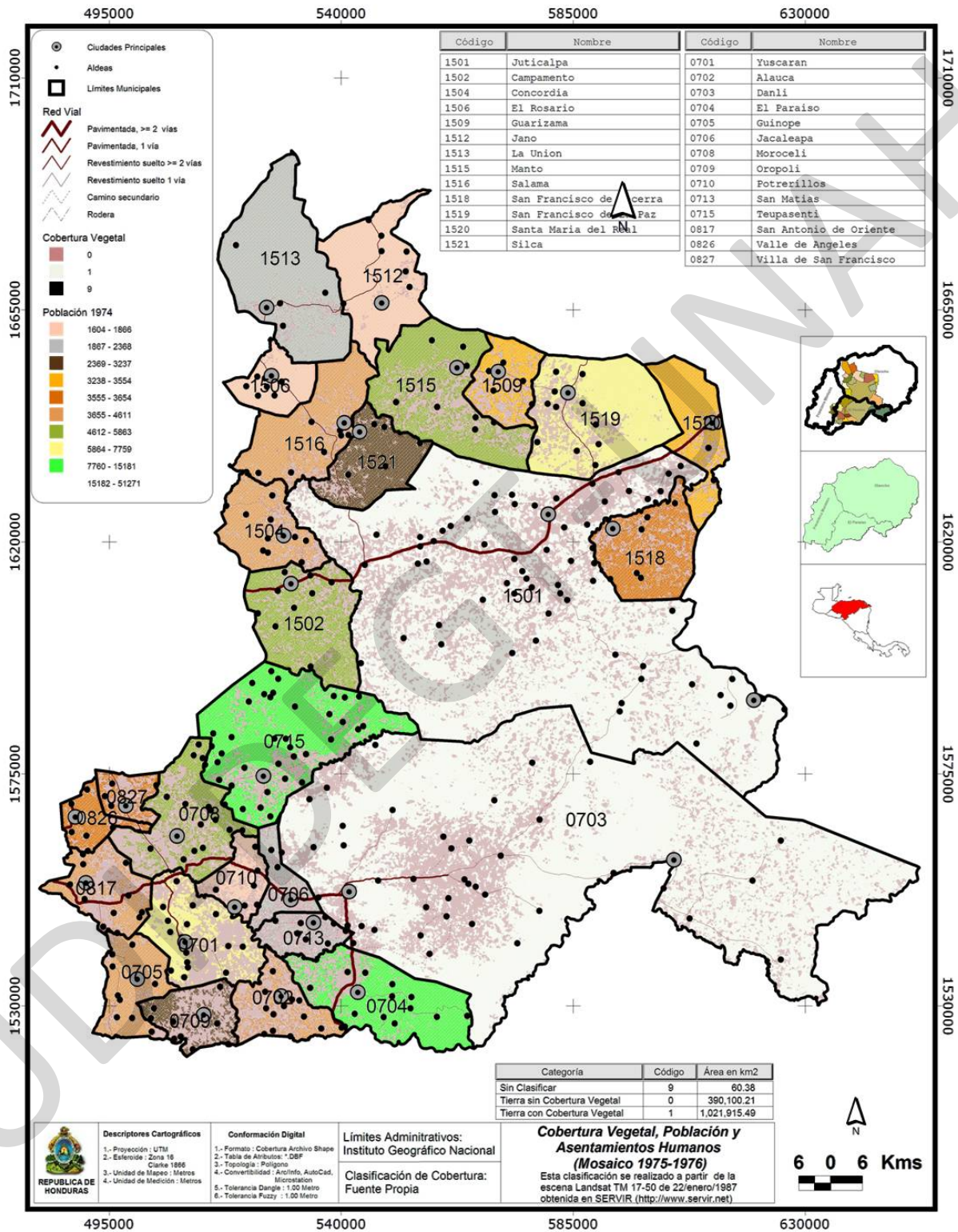
Cobertura Vegetal 2001, Fuente propia

Anexo 4



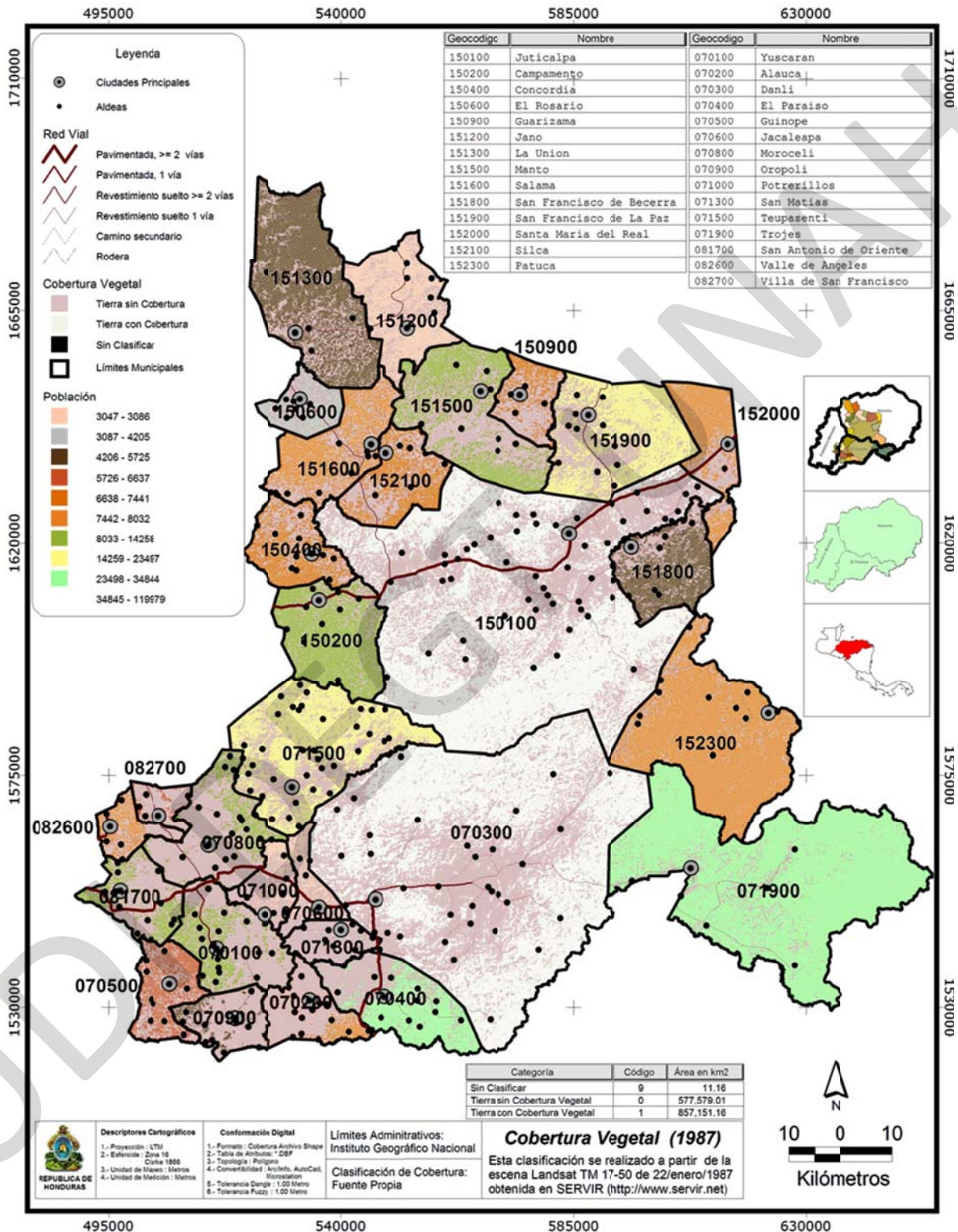
Cobertura Vegetal 2005, Fuente propia

Anexo 5



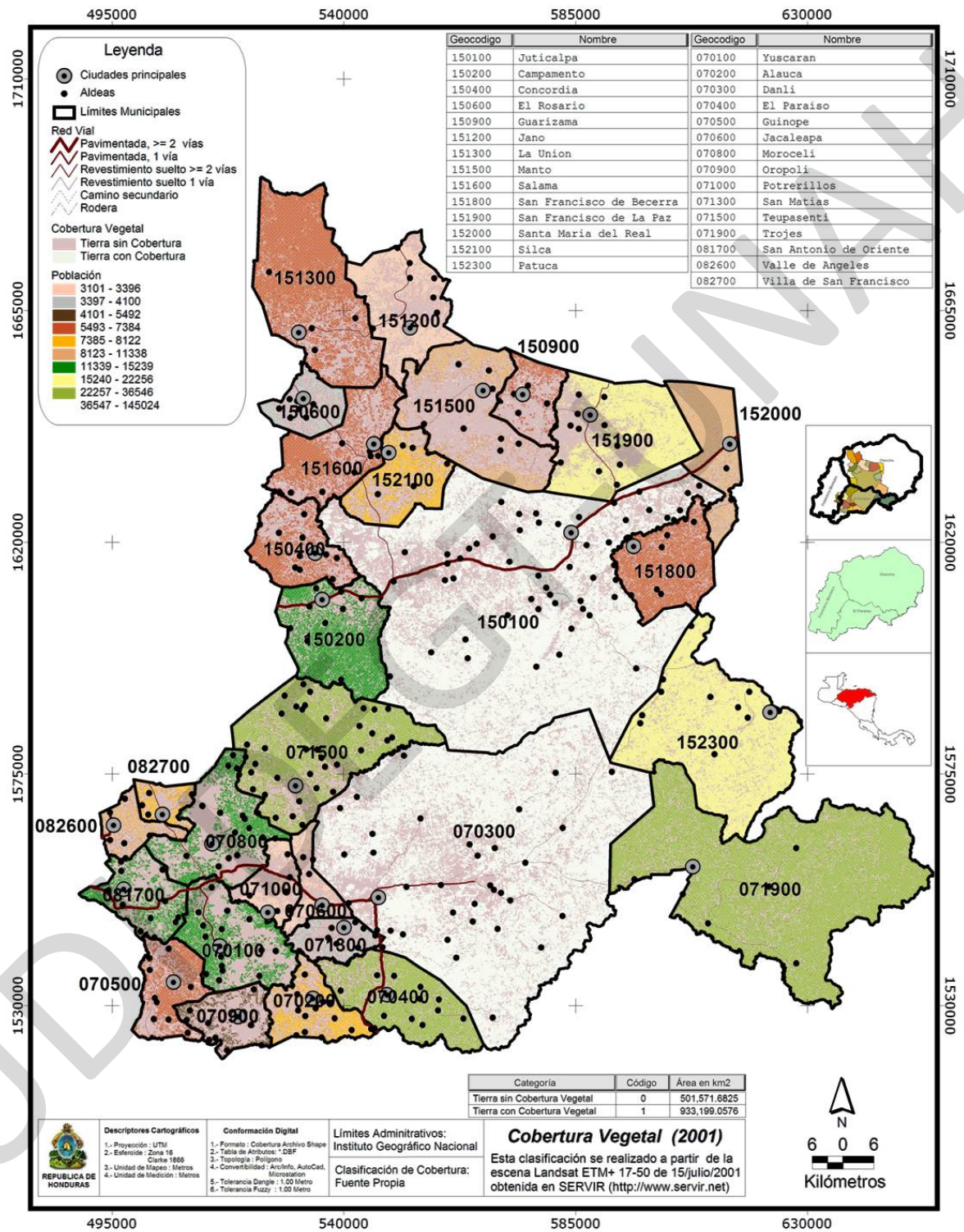
Cobertura Vegetal 1975-1976, Población, Asentamientos Humano y Red Vial. Fuente Propia

Anexo 6



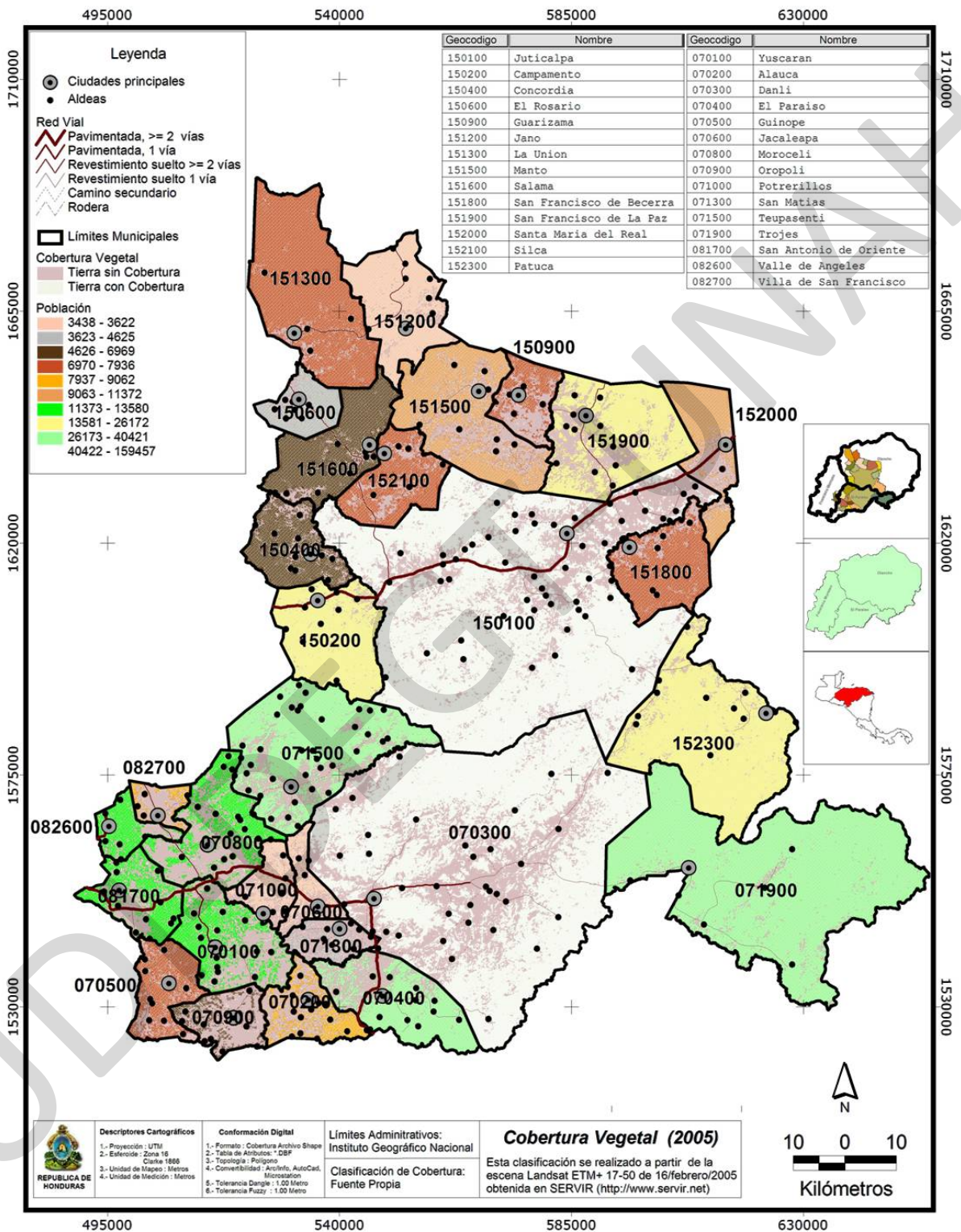
Cobertura Vegetal 1987, Población, Asentamientos Humano y Red Vial. Fuente Propia

Anexo 7



Cobertura Vegetal 2001, Población, Asentamientos Humano y Red Vial. Fuente Propia

Anexo 8



Cobertura Vegetal 2005, Población, Asentamientos Humano y Red Vial. Fuente Propia