



Informe Final  
Análisis Multitemporal del Cambio de Uso del Suelo en  
la cuenca alta del río coco, períodos de tiempo 1985 -  
1990, 1990- 2000, 2000-2010, 2010-2019

Fernando Mendoza Jara, PhD  
fmendozajara@gmail.com

Managua, septiembre 2019

## Tabla de Contenido

1.	Introducción .....	4
2.	Área de estudio .....	5
3.	Objetivos .....	5
4.	Procedimiento metodológico y de análisis .....	6
4.1.	Obtención de Datos.....	6
4.2.	Metodología .....	12
4.2.1.	Etapa de Pre-Análisis:.....	12
4.2.2.	Etapa de Campo: .....	15
4.2.3.	Resultados y comentarios de Etapa de campo .....	17
5.	Mapas de Uso del Suelo .....	38
5.1.	Mapa de Uso del Suelo 1985.....	39
5.2.	Mapa de Uso del Suelo 1990.....	40
5.3.	Mapa de Uso del Suelo 2000.....	41
5.4.	Mapa de Uso del Suelo 2010.....	42
5.5.	Mapa de Uso del Suelo 2019.....	43
5.6.	Análisis del Cambio de Uso del Suelo y TAC.....	44
5.7.	Lo ocurrido con las áreas de bosque.....	46
5.7.1.	Bosque latifoliado cerrado (Blc) .....	46
5.7.2.	Bosque latifoliado ralo (Blr).....	46
5.7.3.	Bosque de roble .....	46
5.7.4.	Bosque de coníferas .....	46
5.7.5.	Café bajo sombra .....	46
5.7.6.	Tacotales, Vegetación arbustivas y Pasto .....	46
5.7.7.	Cultivos anuales y centros poblados .....	47
5.8.	Mapa de áreas potencial a degradación .....	48
6.	Discusión y conclusiones .....	50
7.	Bibliografía. ....	52

## Índice de figuras

Figura 1: Mapa del Uso del Suelo de 1983 obtenida del Plan Nacional de los Recursos hídricos: Diagnostico y Propuesta de Líneas Estratégicas (ENACAL, 2017) .....	7
Figura 2: Mapa del Uso del Suelo de 2000 obtenida del Plan Nacional de los Recursos hídricos: Diagnostico y Propuesta de Líneas Estratégicas (ENACAL, 2017) .....	8
Figura 3: Mapa del Uso del Suelo de 2005 obtenida del Plan Nacional de los Recursos hídricos: Diagnostico y Propuesta de Líneas Estratégicas (ENACAL, 2017) .....	9
Figura 4: Mapa del Uso del Suelo de 2010 obtenida del Plan Nacional de los Recursos hídricos: Diagnostico y Propuesta de Líneas Estratégicas (ENACAL, 2017) .....	10
Figura 5: Mapa del Uso del Suelo de 2015 obtenida del Plan Nacional de los Recursos hídricos: Diagnostico y Propuesta de Líneas Estratégicas (ENACAL, 2017) .....	11
Figura 6: Inventario de diferentes fuentes de imágenes de satélites que pueden estar disponibles en la ventana del tiempo del análisis multitemporal de imágenes de satélites de la Parte Alta del Rio Coco, Madriz. ....	13
Figura 7. Flujograma del Análisis de las Imágenes de Satélites para determinar la Clasificación Supervisada y la determinación de la Detección de Cambios para el área de estudio. .	14
Figura 8. Puntos de Campo tomados para la elaboración del mapa de usos de la Cuenca Alta del Rio Coco.....	16
Figura 9. Tacotales en estado de degradación y franja de bosque de galería en la comunidad de aguas caliente.....	17
Figura 10. Vegetación arbustiva espinoso en la comunidad los Canales.....	18
Figura 11. Panorámica de un bosque latifoliado ralo en la comunidad agua calientes.....	18
Figura 12. Zona de cultivos en sector de la comunidad agua calientes .....	19
Figura 13. Tacotales en estado de degradación comunidad los Uriles .....	19
Figura 14. Áreas desforestadas para actividad agrícola en sector de agua caliente .....	20
Figura 15. Bosque de pino ralo zona San José de Cusmapa.....	21
Figura 16. Bosque de Quercus dominando el paisaje en zona de San José de Cusmapa las delicias .....	22
Figura 17. Bosque de pino ralo dañado por gorgojo San José de Cusmapa .....	22
Figura 18. Bosque de Quercus zona San José de Cusmapa.....	23
Figura 19. Café bajo sombra en comunidades de San José de Cusmapa.....	23
Figura 20. Laderas de la reserva Tepesomoto con invasión de pasto.....	24
Figura 21. Panorámica del bosque con parches de suelo desnudo zona san José de Cusmapa.....	25
Figura 22. Comunitario de la zona San José de Cusmapa .....	25
Figura 23. Vegetación arbustiva y tacotales con degradación en las comunidades hacia Icalupe..	26
Figura 24. Bosque de tacotales y arbustivas en comunidades sector Icalupe .....	27
Figura 25. Vegetación arbustiva en la comunidad el melonar sector Icalupe .....	27
Figura 26. Áreas de cultivo en las laderas del bosque camino Somoto - Icalupe .....	28
Figura 27. Comunitario de Totogalpa, comunidad el Cacao. Miguel Gómez 77 años .....	29
Figura 28. Evidencia de la degradación del bosque por la extracción de leña.....	29
Figura 29. Áreas de tacotales en comunidades del municipio de Totogalpa.....	30
Figura 30. Áreas de cultivos en las laderas de las montañas en comunidades de Totogalpa.....	31

Figura 31. Cultivo de tomate infestado con culillo negro por falta de agua comunidades de Totogalpa.....	31
Figura 32. Área pastoreo en ladera del bosque en comunidades de Totogalpa.....	32
Figura 33. Bosque latifoliado ralo en estado de degradación en comunidad valle Santo Domingo, Totogalpa.....	32
Figura 34. Bosque de pino ralo en el Parteagua de la parte alta de la cuenca se observa presencia de Quercus, comunidad Ococona .....	33
Figura 35. Fotografía del punto 85 se observan áreas dedicada al pasto, pero en agosto que fue visitado se encontraba como suelo desnudo.....	34
Figura 36. Alto grado de Degradación del bosque en la zona de Macuelizo .....	34
Figura 37. Presencia de parches de bosques de pino cerrado. Estas áreas son bien reducidas en la parte norte de la Cuenca, en la zona Dipilto – Ococona.....	35
Figura 38. Evidencia de aprovechamiento de área de pino bajo manejo en la finca la Ternura zona de Dipilto .....	36
Figura 39. Área de Pino con evidencia incendio zona de Dipilto .....	36
Figura 40. Bosque de pino ralo en la zona de Dipilto.....	37
Figura 41. Área de pastizales en laderas del bosque de pino zona de Dipilto .....	37
Figura 42. Mapa del Uso del Suelo de la cuenca alta del Rio Coco para el año 1985 (Fuente: Procesamiento de imágenes de satélite Landsat 5).....	39
Figura 43. Mapa del Uso del Suelo de la cuenca alta del Rio Coco para el año 1990 (Fuente: Procesamiento de imágenes de satélite Landsat 7).....	40
Figura 44. Mapa del Uso del Suelo de la cuenca alta del Rio Coco para el año 2000 (Fuente: Procesamiento de imágenes de satélite Landsat 7).....	41
Figura 45. Mapa del Uso del Suelo de la cuenca alta del Rio Coco para el año 2010 (Fuente: Procesamiento de imágenes de satélite Landsat 7).....	42
Figura 46. Mapa del Uso del Suelo de la cuenca alta del Rio Coco para el año 2019 (Fuente: Procesamiento de imágenes de satélite Landsat 8 con asistencias de imágenes Rapid Eyes y Planet Scopes 2019) .....	43
Figura 47. Mapa de pendiente en porcentaje (%) calculado con el algoritmo de ESRI, utilizando el MDE (10m de resolución espacial) facilitado por la Direccion de Ordenamiento Territorial del INETER (2019).....	48
Figura 48. Mapa de degradación potencial con base en el mapa de pendiente en porcentaje (%), mapa de uso del suelo del 2019 y áreas quemadas presente en el año 2010.....	49

## **Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo en la cuenca alta del río Coco, períodos de tiempo 1985 -1990, 1990- 2000, 2000-2010, 2010-2019.**

### **1. Introducción**

El Cambio de Uso de Suelo, principalmente la expansión de la ganadería extensiva constituye uno de los factores principales de la destrucción del bosque trópico seco. La expansión de la frontera agrícola, a través de estos agrosistemas, sustituye los complejos y muy diversificados sistemas naturales tropicales, por agrosistemas extensivos y poco productivos. La expansión de la ganadería vacuna de pastoreo en las zonas tropicales húmedas, para muchos países, ha constituido una causa fundamental que ha provocado la destrucción de millones de hectáreas (ha) en los últimos años.

Las ciencias ambientales han estudiado la problemática y los posibles impactos de la degradación de los ecosistemas y principalmente de los Bosques Tropicales. La teledetección (Sensores Remotos) es una técnica que ha significado un gran aporte para los estudios de las ciencias ambientales. Esta permite diferenciar las cubiertas terrestres; las cuales reflejan o emiten energía de acuerdo con sus características físicas. Las características orbitales del satélite permiten que las imágenes sean adquiridas periódicamente y en condiciones similares de observación, facilitándose así cualquier estudio que requiera una dimensión temporal.

El análisis Multi-temporal permite detectar cambios entre dos fechas de referencia, deduciendo la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre ese medio (Chuvioco, 1996). El uso de la teledetección (imágenes de satélites y fotografías aéreas para este caso) en el siguiente trabajo permitirá observar el tipo de ocupación existente sobre el suelo, ya sea vegetación natural, cultivos agrícolas o espacios urbanos; y detectar los cambios que existan a lo largo del tiempo. Permitiendo cuantificar la disminución de la vegetación natural y calcular cual ha sido la disminución en la capacidad teórica de captación de carbono del área de estudio.

La Detección de Cambios a partir de una secuencia multi-temporal de imágenes de satélite es una de las aplicaciones más importantes en teledetección. Como es bien sabido, este proceso requiere de una adecuada corrección radiométrica y geométrica de las imágenes, de manera que los cambios detectados sólo sean atribuibles a verdaderas modificaciones del

paisaje. La comparación de imágenes multi-temporales se ha venido empleando fundamentalmente en la detección de cambios en la cubierta terrestre, para seguir la evolución de áreas forestales, superficies quemadas, desastres naturales, recursos naturales, etc.

La necesidad de este estudio surge a solicitud de PROATAS-GIZ para diagnosticar el cambio de uso de suelo que permita conocer la dinámica de este en el tiempo y espacio (Cuenca Alta del Río Coco). Esta información será de vital importancia, ya que asegurará la implementación de un proceso de optimización forestal que, como producto, **contribuya a maximizar la infiltración y la erosión**. El conocimiento de lo antes descrito será fundamental en el establecimiento las condiciones actuales del recurso hídrico, con el fin de establecer su potencialidad, vulnerabilidad, conflictos y restricciones.

## 2. Área de estudio

El área de estudio se ubica dentro de los límites de la cuenca alta del río Coco que posee un área de 942.9 km<sup>2</sup>. La delimitación que se utilizó para esta consultoría es las unidades hidrográficas cuencas a nivel 6 de la metodología Pfafstetter. Los municipios que incluyen esta delimitación son: San José de Cusmapa, Las Sabanas, San Lucas, Somoto, Totogalpa, Ocotal, Macuelizo y Santa María.

## 3. Objetivos

Analizar el Cambio de Uso de la Tierra de la Cuenca Alta del Río Coco en el período de 1985, 1990, 2000, 2010, 2019 en Madriz y Nueva Segovia, Nicaragua, haciendo uso de la información existente y validando o corrigiendo las mismas mediante técnicas de percepción remota para el análisis de imágenes satelitales.

### Objetivos específicos

- Homologar los criterios utilizados por el Plan Nacional de los Recursos Hídricos con la técnica de la percepción remota (índice de vegetación normalizado diferenciado (NDVI)), que permita tener mapas de usos de suelos homologados y a la escala que se defina según la información obtenida.
- Cuantificar el uso de suelo del área de estudio para cada imagen temporal usando el método de clasificación supervisada usando datos de campo.
- Establecer la tendencia de cambio en los usos del suelo para el periodo 1985, 1990, 2000, 2010, 2019 del área de estudio. Estos periodos estarán finalmente aprobados por INETER en dependencia de la información disponible.

- Elaborar el mapa de pendiente de la cuenca, basados en la metodología acordada con INETER.

## 4. Procedimiento metodológico y de análisis

### 4.1. Obtención de Datos

Entre la información base disponible para la realización de este trabajo están los resultados del Plan Nacional de los Recursos Hídricos (ENACAL, 2017). El área de estudio fue extraída para representar los mapas en los periodos de tiempo para este plan (1983, 2000, 2005, 2010 y 2015). El resultado se presenta a continuación en las Figuras 1, 2, 3, 4 y 5.

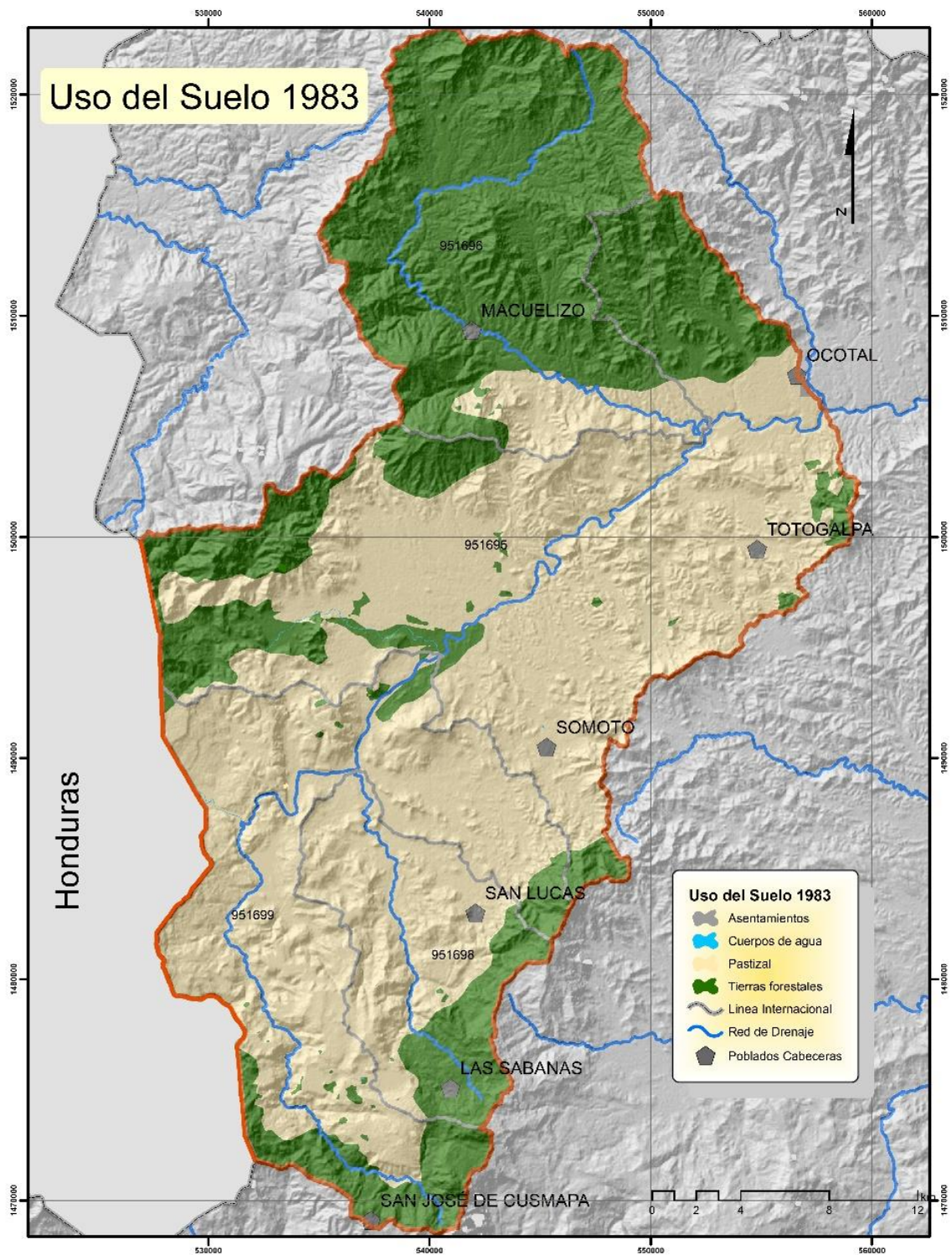


Figura 1: Mapa del Uso del Suelo de 1983 obtenido del Plan Nacional de los Recursos hídricos: Diagnóstico y Propuesta de Líneas Estratégicas (ENACAL, 2017)



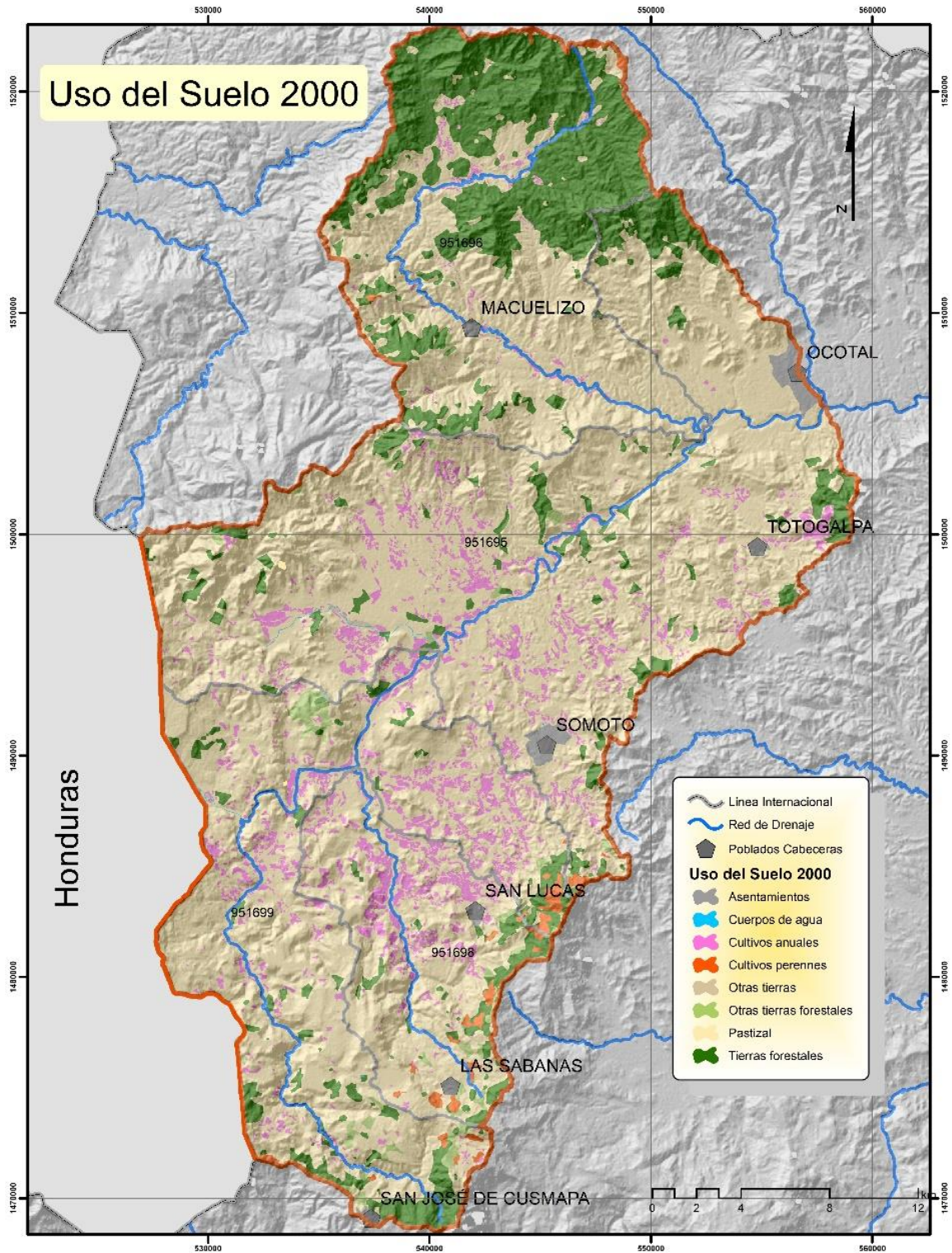


Figura 2: Mapa del Uso del Suelo de 2000 obtenido del Plan Nacional de los Recursos Hídricos: Diagnóstico y Propuesta de Líneas Estratégicas (ENACAL, 2017).

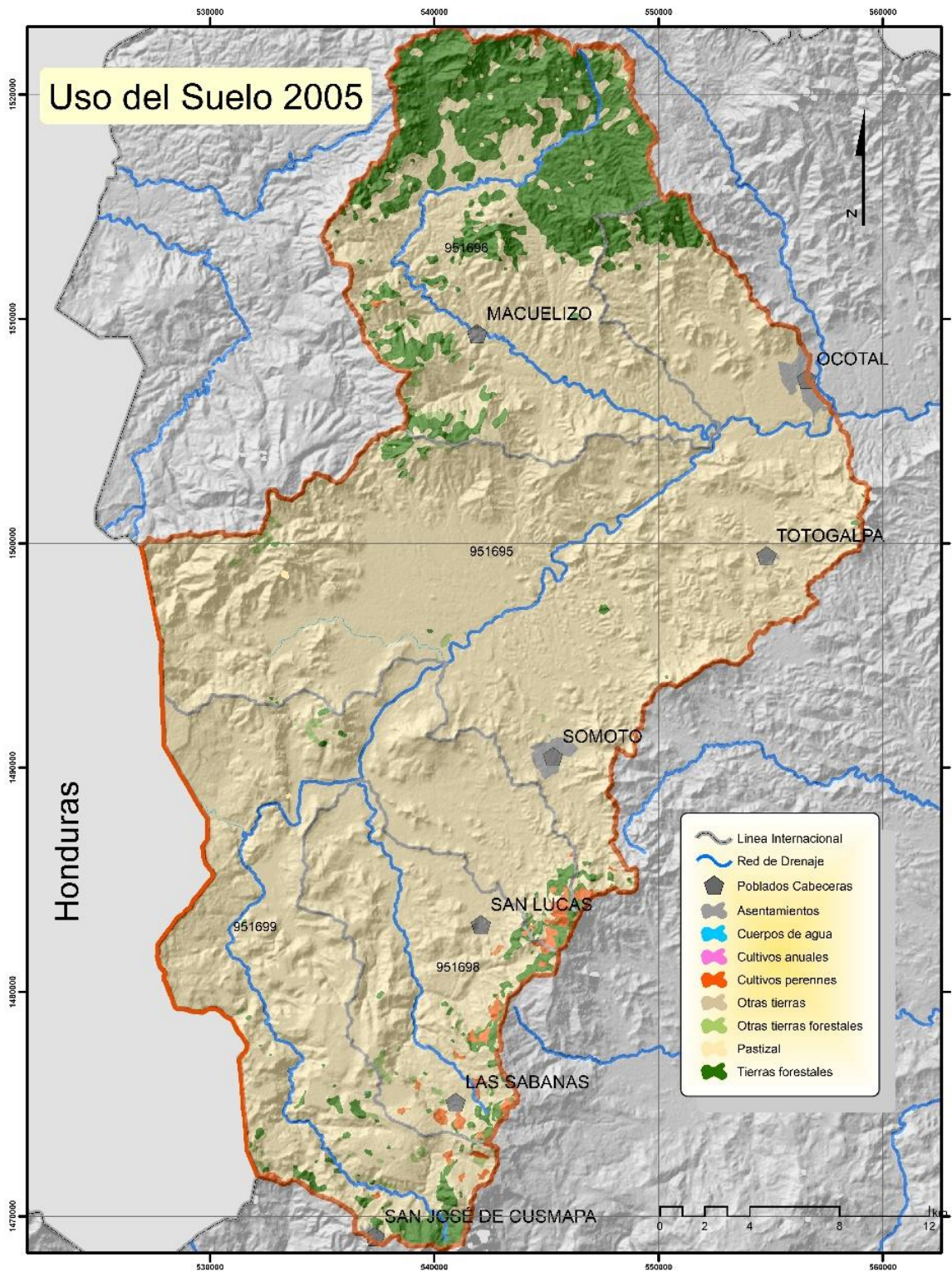


Figura 3: Mapa del Uso del Suelo de 2005 obtenida del Plan Nacional de los Recursos Hídricos: Diagnóstico y Propuesta de Líneas Estratégicas (ENACAL, 2017)

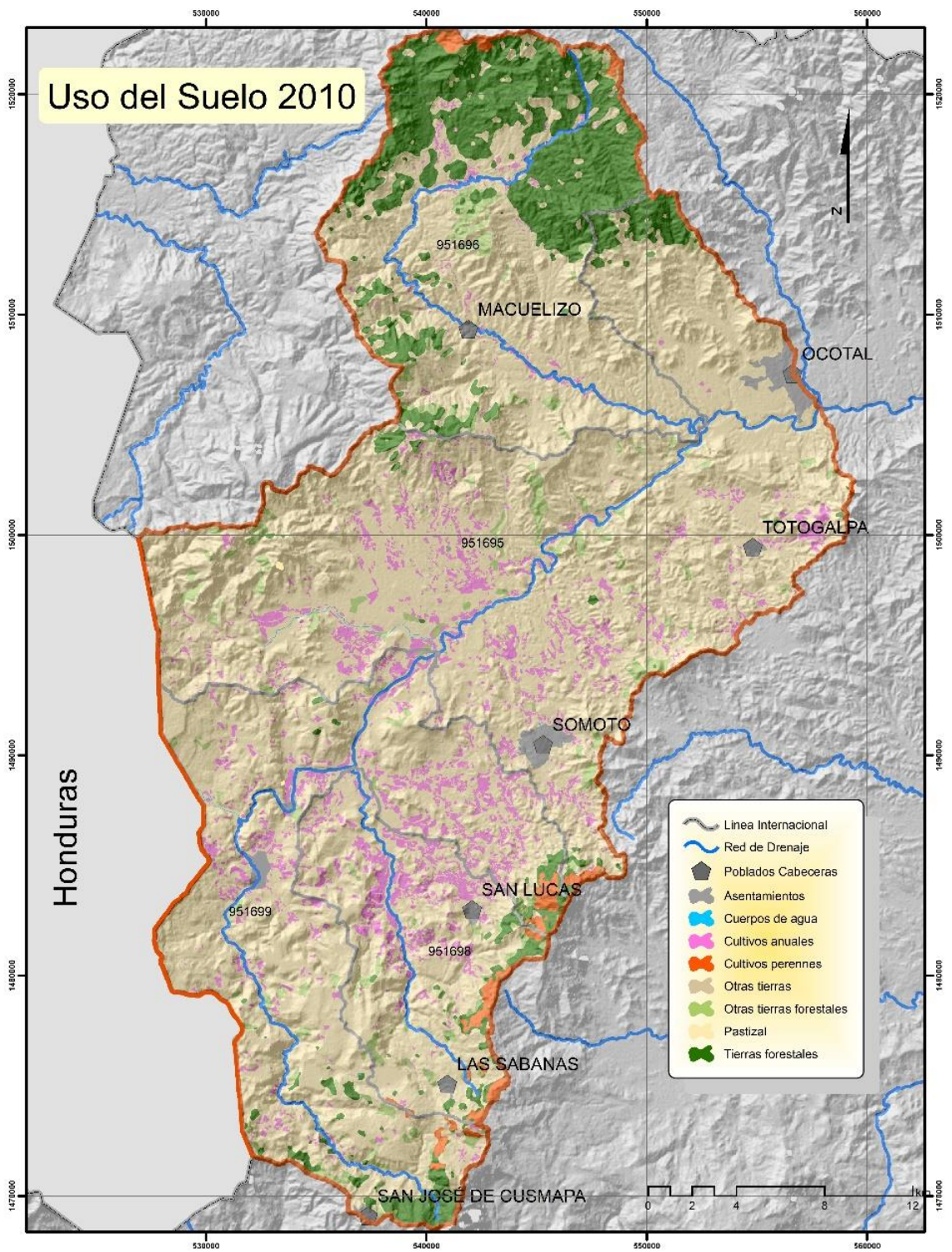


Figura 4: Mapa del Uso del Suelo de 2010 obtenido del Plan Nacional de los Recursos Hídricos: Diagnóstico y Propuesta de Líneas Estratégicas (ENACAL, 2017)

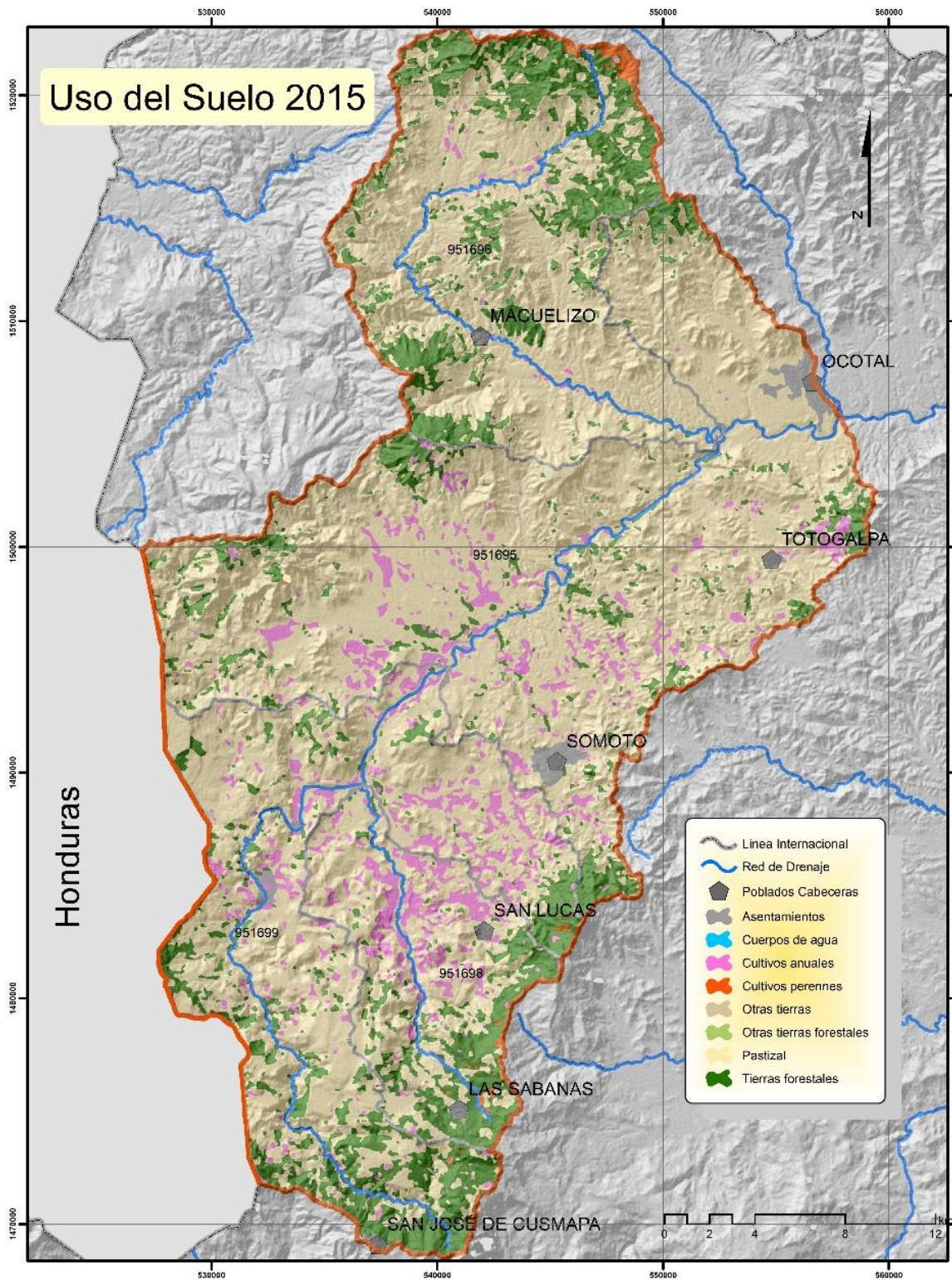


Figura 5: Mapa del Uso del Suelo de 2015 obtenida del Plan Nacional de los Recursos Hídricos: Diagnóstico y Propuesta de Líneas Estratégicas (ENACAL, 2017)

Para la obtención de las imágenes de satélites, se ha procedido a obtener las descargas de los periodos propuestos en el estudio. Las imágenes descargadas aún no han sido revisadas por la Dirección General de Geodesia y Cartografía y se presentan en el Cuadro 1. Para referirse a más detalles de las imágenes de satélites (metadatos) referirse al Anexo 1.

*Cuadro 1: Inventario de imágenes descargadas para ser utilizado en el periodo de las clasificaciones de imágenes para determinar el uso del suelo de la parte alta del Rio Coco (Fuente: <https://alovis.usgs.gov/>)*

Periodo	Sensor	Fecha	Codigo
1975	LandSat 2	23-Mar-75	LM02_L1TP_018050_19750323_20180425_01_T2.TIF
1975	LandSat 2	23-Mar-75	LM02_L1TP_018051_19750323_20180425_01_T2.TIF
1979	LandSat 2	12-Feb-79	LM02_L1TP_018051_19790212_20180418_01_T2.TIF
1980	LandSat 3	11-Jan-80	LM03_L1TP_018051_19800111_20180416_01_T2.TIF
1985	LandSat 5	1-Feb-85	LT05_L1TP_017051_19850201_20170219_01_T1.TIF
1990	LandSat 4	23-Feb-90	LT04_L1TP_017051_19900223_20170131_01_T1.TIF
1990	LandSat 5	3-Mar-90	LT05_L1TP_017051_19900303_20170131_01_T1.TIF
1990	LandSat 4	27-Mar-90	LT04_L1TP_017051_19900327_20170131_01_T1.TIF
1990	LandSat 5	4-Apr-90	LT05_L1TP_017051_19900404_20170131_01_T1.TIF
2000	LandSat 7	7-Apr-00	LE07_L1TP_017051_20000407_20170212_01_T1.TIF
2010	LandSat 7	13-Jan-10	LE07_L1TP_017051_20100113_20161217_01_T1.TIF
2010	LandSat 7	2-Mar-10	LE07_L1TP_017051_20100302_20161215_01_T1.TIF
2019	LandSat 8	15-Feb-19	LC08_L1TP_017051_20190215_20190222_01_T1.TIF
2019	LandSat 8	19-Mar-10	LC08_L1TP_017051_20190319_20190325_01_T1.TIF

Adicionalmente a la descarga de imágenes Landsat del sitio web de la USGS (USGS, 2019), se ha realizado un inventario de posibles imágenes disponibles a través de la ventana de tiempo del estudio. Este inventario de disponibilidad de imágenes se representa en la **Figura 6**. La disponibilidad de estas imágenes tiene diferentes fuentes de información en lo que respecta a fechas, resolución espacial, resolución temporal. Por ejemplo, se pueden tener disponibles las imágenes spot del MAGFOR utilizado para la elaboración del mapa de cobertura del año 2000. Así mismo, las imágenes RapidEye de los años 2012-2015 utilizados para el Mapa de Uso del Suelo 2015 (INETER, 2015) pueden ser reevaluadas para corroborar algunos usos del suelo que sean necesarios para la mejor definición de los resultados del estudio.

## 4.2. Metodología

El proceso metodológico para realizar el estudio consistió en cuatro etapas i) Pre-análisis, ii) Campo, iii) Análisis y iv) Post-análisis. Para un mayor detalle, las etapas se describen a continuación y se encuentran representadas en el flujograma de la **Figura 7**.

### 4.2.1. Etapa de Pre-Análisis:

Se realizó una reunión con personal de INETER, para la obtención de información disponible de utilidad para el estudio como imágenes satelitales y capas base. A su vez, se validó la

información a utilizar y el sistema de clasificación que se correspondieran con los estándares nacionales de calidad requeridos para la elaboración de cartografía en esta temática. Luego se planificó la etapa de campo. Conociendo las categorías de cobertura a interpretar y a partir de un análisis visual de la información, se seleccionaron los puntos de control a ser tomados en campo para sustentar una clasificación supervisada.

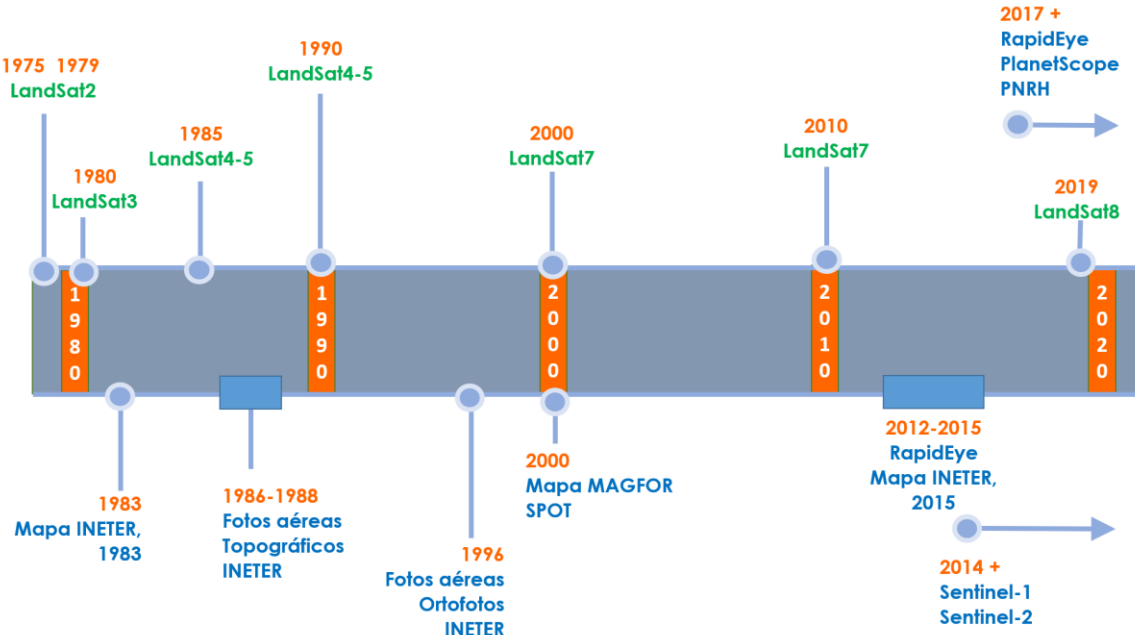


Figura 6: Inventario de diferentes fuentes de imágenes de satélites que pueden estar disponibles en la ventana del tiempo del análisis multitemporal de imágenes de satélites de la Parte Alta del Río Coco, Madriz.

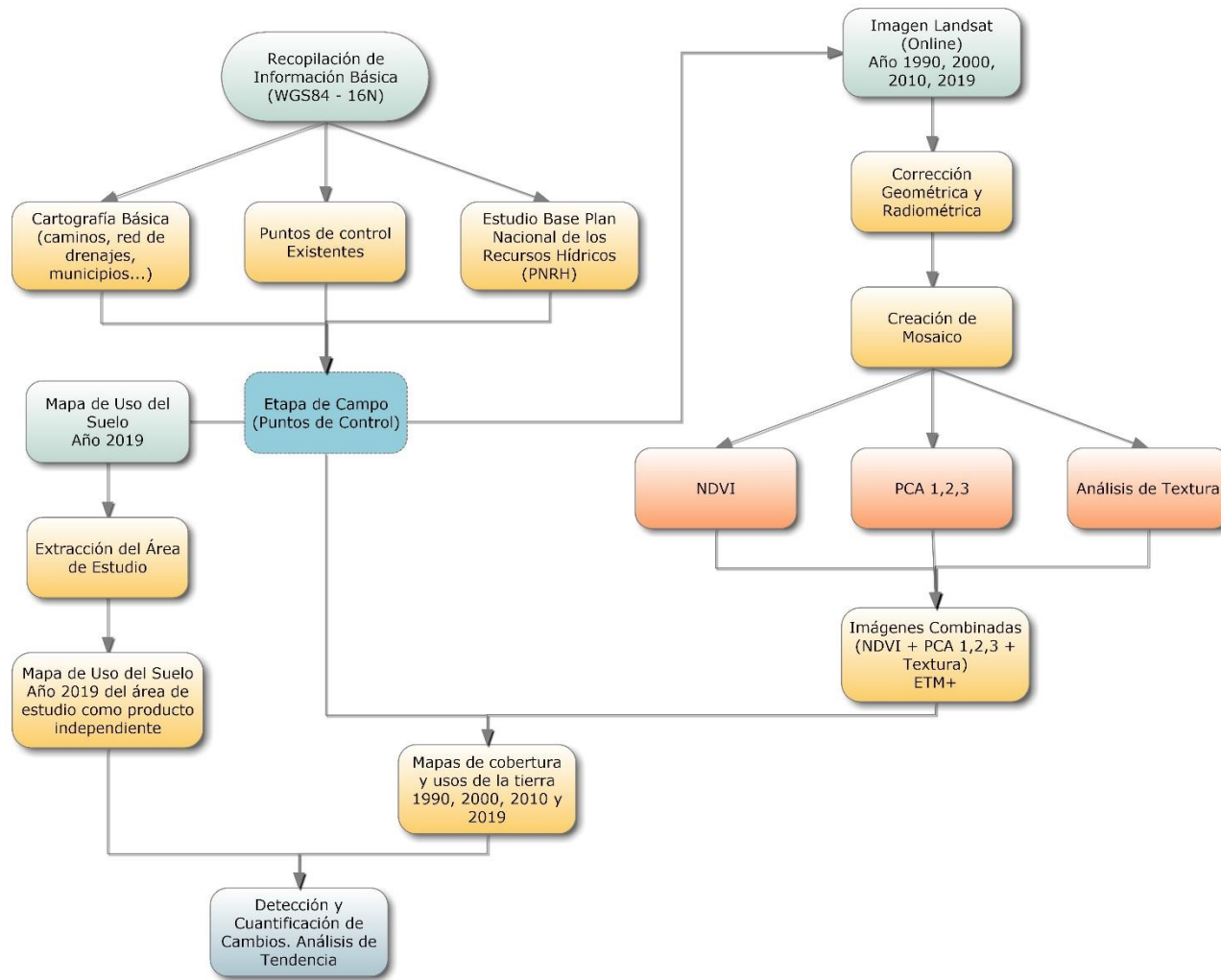


Figura 7. Flujograma del Análisis de las Imágenes de Satélites para determinar la Clasificación Supervisada y la determinación de la Detección de Cambios para el área de estudio.

#### 4.2.2. Etapa de Campo:

Esta etapa consiste en el levantamiento directo de información de campo. Se documentó con fotografías y descripciones breves las diferentes coberturas y usos de la tierra presentes en el área de estudio. Como requisitos, los puntos tomados en campo están georreferenciados bajo el sistema de referencia espacial UTM WGS84 Z16N. Los datos se almacenaron en formato EXCEL y Shapefile. Esta información permitió la elaboración del mapa de coberturas y usos de la tierra 2019, validar los resultados del análisis y evaluar futuros cambios en coberturas y usos de la tierra en esta zona del país. Para esto se realizó dos giras de campo de tres días cada una. La primera gira se visitó Somoto y se recorrió las comunidades de Aguas caliente, los Canales, Uriles, los Ranchos, el Melonar, las Lajas, San José de Cusmapa, Quebrada Honda, Finca Las Delicias, El Rodeo, Las Sabanas, en la Reserva Tepesesomoto las comunidades de Chichuahua, Icalupe y las Violetas. La segunda gira se realizó a la ciudad de Totogalpa y luego Ocotal, recorriendo zonas de las comunidades el Cacao, Quebrada Grande, Mango Solo, Valle Santo Domingo, Agua Dulce, Apataro, esta última área protegida de la comunidad indígena Totogalpa. También se recorrió las comunidades del Zurzular, el Cantón, Ococona, los Papelillos, Agua Zarca, Macuelizo, Las Cañas, el Bosque. En Dipilto las comunidades del Mantiado, el Encino, el Horno, Ojo de Agua, y Campo Fresco.



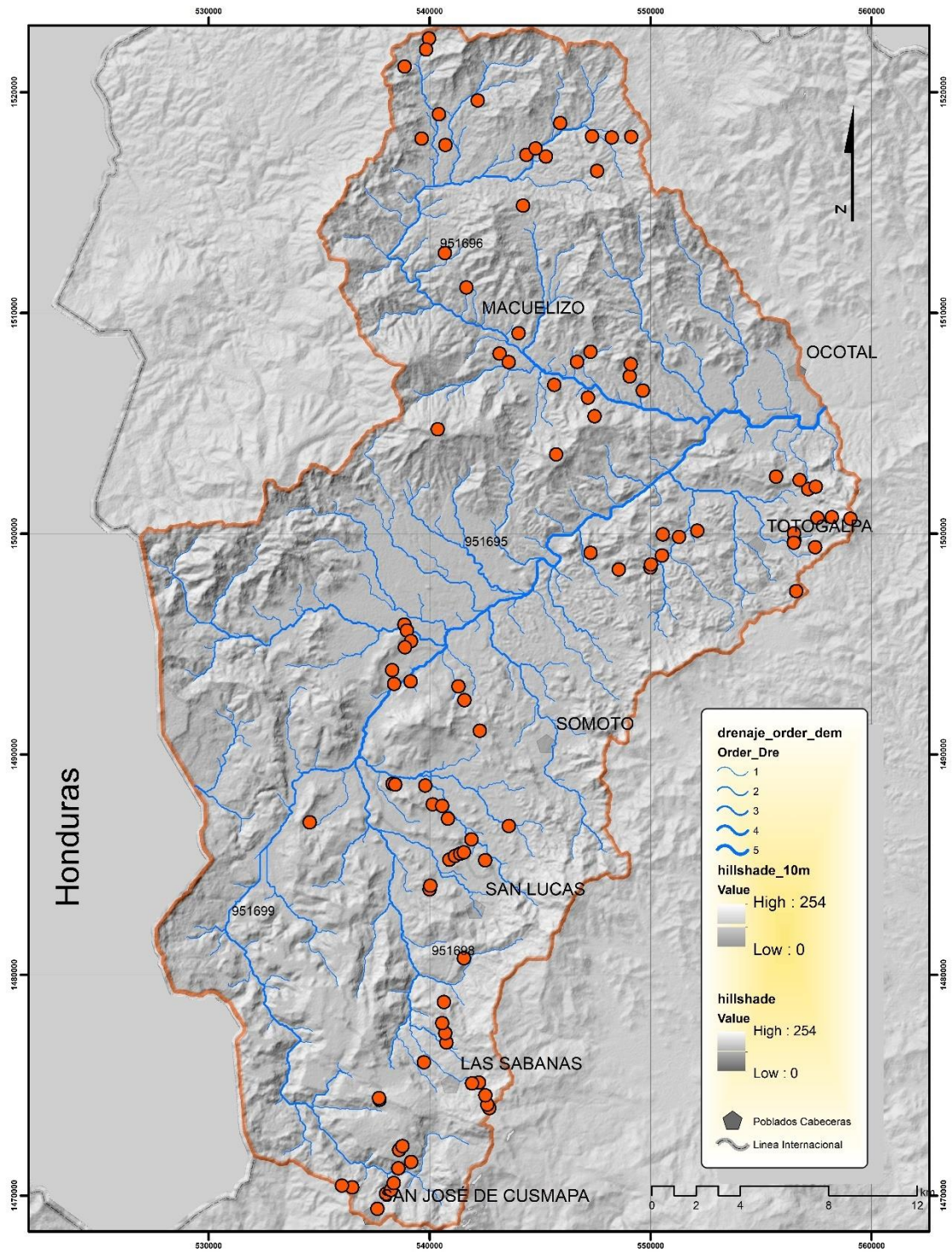


Figura 8. Puntos de Campo tomados para la elaboración del mapa de usos de la Cuenca Alta del Rio Coco.

#### 4.2.3. Resultados y comentarios de Etapa de campo

La **Figura 8** muestra espacialmente el total de 108 puntos de campo que fueron tomados para la elaboración del mapa de usos de la Cuenca Alta del Río Coco. Las visitas realizadas a las zonas que forman parte de la cuenca del río coco, se hizo con el fin de poder constatar el estado actual de la vegetación que conforma el lugar. En la zona de Somoto la zona de Aguas Caliente, los Canales y Uriles el ecosistema observado está conformado por vegetación arbustivas y tacotales observando en mayor cantidad especies como el tigüilote (*Cordia dentata*), madreál (*Gliricidia sepium*), espino negro (*Prosopis juliflora*) nancite (*Byrsonima crassifolia*) y la parte más baja de las laderas arbustivas espinosas con predominio de la especie cornizuelo, la mayoría de los comunitarios de la zona se dedican a la extracción de leña y a la actividad agrícola y ganadera actividad que conlleva a la degradación de las áreas de bosque por la conversión de estas para fines agropecuario (**Figura 9 a Figura 14**).



*Figura 9. Tacotales en estado de degradación y franja de bosque de galería en la comunidad de Aguas Calientes*



*Figura 10. Vegetación arbustiva espinoso en la comunidad Los Canales*



*Figura 11. Panorámica de un bosque latifoliado ralo en la comunidad Aguas Calientes*



*Figura 12. Zona de cultivos en sector de la comunidad Agua Calientes*



*Figura 13. Tacotales en estado de degradación comunidad Los Uriles*



Figura 14. Áreas desforestadas para actividad agrícola en sector de Aguas Calientes

Recorrido a municipio San José de Cusmapa prevalecen en la parte alta de la cuenca áreas de pino abierto observando ciertas áreas afectado por gorgojo y quema, bosque de quercus y bosque mixto (quercus + pino). El Quercus se encuentra muy distribuido en toda la zona y pudiéndose considerar un indicador del estado de degradación de las áreas de pinos. La mayoría de las áreas de pino son privadas y en los últimos 3 años han sido afectados por incendios. En algunos cerros en su cima se logró observar bosque latifoliado ralo, y más abajo vegetación arbustivas y tacotales con predominio de la especie de carbón (*Acasia pennatula*) y en menor proporción, arboles como falso roble (*Tabebuia rosea*) jícaro (*Crescentia alata*), quebracho, guácimo (*Guazuma ulmifolia*) y roble encino (*Quercus segoviensis*) esta especie en su relación ecológica se encuentra junto con los pinos formando los rodales de Pino-Encino. En esta zona las áreas de laderas son dedicadas a la siembra de granos maíz - frijoles y siembra de pasto y se pudo observar cultivo de café en las partes altas de la cuenca, cerca de las áreas de pino son de áreas pequeñas que van de 1 a 1.5 manzanas. Esta se encuentra bajo sombra principalmente en asociaciones con especies como carbón, *Acasia pennatula*, guácimo (*Guazuma ulmifolia*) y guaba (*Inga vera*) (no se observó café bajo bosque de pino) (Figura 15 a Figura 19).



*Figura 15. Bosque de pino ralo zona San José de Cusmapa*



Figura 16. Bosque de Quercus dominando el paisaje en zona de San José de Cusmapa Las Delicias



Figura 17. Bosque de pino ralo dañado por gorgojo San José de Cusmapa



*Figura 18. Bosque de Quercus zona San José de Cusmapa*



*Figura 19. Café bajo sombra en comunidades de San José de Cusmapa*



En la reserva Tepesomoto hay evidencias de pastos en muchas áreas. En consulta a comunitarios de la zona refieren que en la zona ya quedan muy pocas áreas de pino cerrado debido a la extracción ilegal o por aprovechamiento de las áreas de bosque privado. También los habitantes de las comunidades se dedican a la agricultura y la extracción de leña actividad que ejerce presión sobre el recurso.



*Figura 20. Laderas de la reserva Tepesomoto con invasión de pasto*



*Figura 21. Panorámica del bosque con parches de suelo desnudo zona San José de Cusmapa*



*Figura 22. Comunitario de la zona San José de Cusmapa*

En la parte media de la cuenca de Somoto hacia Icalupe se recorrió las comunidades de los Ranchos, el Melonar y las Hojas la vegetación encontrada es arbustiva y tacotales con presencia de árbol de poco interés económico, toda el área boscosa se observa con cierto grado de degradación debido a la agricultura, la ganadería y extracción de leña. Las áreas riparias se observan desforestadas y están siendo utilizadas para cultivos de granos básicos, hortalizas y pastos. En casi todos los sitios de la cuenca visitados se ve como la ganadería intensiva gana más terreno y convierte los suelos de vocación forestal a pastizales.



*Figura 23. Vegetación arbustiva y tacotales con degradación en las comunidades hacia Icalupe*



*Figura 24. Bosque de tacotales y arbustivas en comunidades sector Icalupe*



*Figura 25. Vegetación arbustiva en la comunidad el melonar sector Icalupe*



Figura 26. Áreas de cultivo en las laderas del bosque camino Somoto - Icalupe

En el municipio de Totogalpa, en el recorrido realizado se observó en toda la zona áreas de tacotales y vegetación arbustivas en las partes altas y áreas de pastos en las laderas y parte baja. Según el señor Miguel Ángel Gómez Espinoza (Figura 19), habitante de la comunidad el Cacao, antes del Mitch existían áreas más boscosas (bosques latifoliados cerrados). Actualmente son área llena de tacotales que son explotadas por el consumo de leña (Figura 20), madera preciosa no se encuentran solamente especies comunes como el carbón (*Acacia pennatula*), naranjillo (*Zanthoxylum caribaeum*), jícaro (*Crescentia alata*), poro (*Erythrina berteroana*), coyote (*Ascomium panamense*), mandagual (*Caesalpina velutina*), quebracho (*Lysiloma auritum*), roble (*Tabebuia rosea*). Las áreas de pinos de años históricos se concentraban en las cimas de los cerros actualmente en esta zona no existe presencia de áreas compactas de pinos. La zona de Totogalpa tiene problemas con el abastecimiento de agua pues ya no quedan fuentes de agua naturales y esto afecta a los pequeños productores de la zona que se dedican a la agricultura y la ganadería viendo mermados los rendimientos de los cultivos.



*Figura 27. Comunitario de Totogalpa, comunidad el Cacao. Miguel Gómez 77 años*



*Figura 28. Evidencia de la degradación del bosque por la extracción de leña*



*Figura 29. Áreas de tacotales en comunidades del municipio de Totogalpa*



*Figura 30. Áreas de cultivos en las laderas de las montañas en comunidades de Totogalpa*

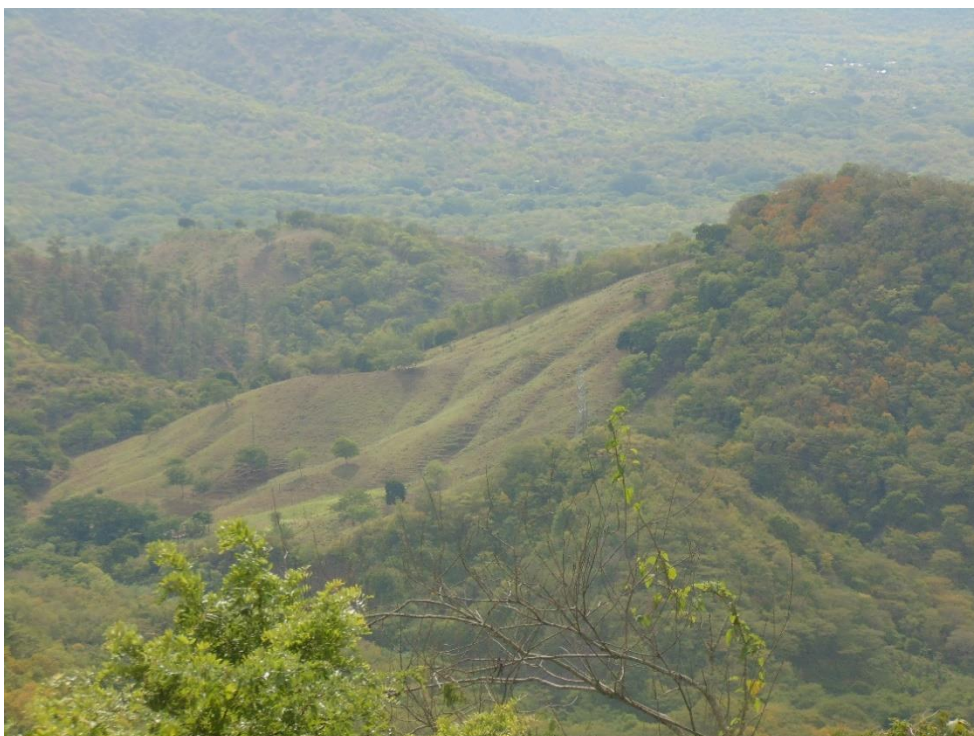


*Figura 31. Cultivo de tomate infestado con culillo negro por falta de agua comunidades de Totogalpa*





*Figura 32. Área pastoreo en ladera del bosque en comunidades de Totogalpa*



*Figura 33. Bosque latifoliado ralo en estado de degradación en comunidad valle Santo Domingo, Totogalpa*

En la zona de Ococona-Santa María, se observó en el parteagua norte de la cuenca que el bosque de pino es ralo que no supera los 30 cm de DAP y se encuentra invadido por Quercus (Figura 34), dentro del bosque de pino se puede ver áreas de cultivo de musáceas, frijol y maíz. De Ococona a Macuelizo hacia Ocotál se observa evidencias de degradación el bosque de pino, en las partes de laderas se encuentra vegetación arbustiva y en las partes altas se encuentra pequeños remanentes de pino.



*Figura 34. Bosque de pino ralo en el Parteagua de la parte alta de la cuenca se observa presencia de Quercus, comunidad Ococona*

En el punto 85, se encuentran áreas de pasto, pero que en campo se observó muchas áreas de suelo desnudo.



*Figura 35. Fotografía del punto 85 se observan áreas dedicada al pasto, pero en agosto que fue visitado se encontraba como suelo desnudo.*



*Figura 36. Alto grado de degradación del bosque en la zona de Macuelizo*

En la zona de Dipilto los bosques de pino predominan en la parte alta y media de la cuenca. En la parte más alta se logró observar el único punto con un bosque de pino denso (**Figura 37**), el resto se considera bosque de pino ralo por las características de este. Algunas áreas de la zona se encuentran evidencias de incendio y otras bajo manejo, pues se observó marcación de árboles y corta. En la parte media se logró observa bosque latifoliado a menudo estos bosques se encuentran en asocio con cultivo de café y los pastos entremezclados con bosque o solos en las laderas de las montañas.

Las áreas de tacotales y arbustivas que son las más predominantes son la principal fuente de extracción de leña entre las especies más común figuran carbón (*Acasia pennatula*), nancite (*Byrsonima crassifolia*), quebracho (*Mariosousa centralis*), guapinol (*Hymenaea courbaril*), guarumo (*Cecropia peltata*) Los bosques de pino y latifoliado observado es un indicador de la vocación forestal de la parte alta y media de la cuenca, siembargo este ha venido fragmentándose aceleradamente por el cambio de uso del suelo al que constantemente se ve sometido por los mismos habitantes de la zona.



*Figura 37. Presencia de parches de bosques de pino cerrado. Estas áreas son bien reducidas en la parte norte de la Cuenca, en la zona Dipilto – Ococona.*



*Figura 38. Evidencia de aprovechamiento de área de pino bajo manejo en la finca La Ternura zona de Dipilto*



*Figura 39. Área de Pino con evidencia incendio zona de Dipilto*



*Figura 40. Bosque de pino ralo en la zona de Dipilto*



*Figura 41. Área de pastizales en laderas del bosque de pino zona de Dipilto*

## 5. Mapas de Uso del Suelo

A continuación, se presentan los resultados de los usos del suelo para el área de estudio. En ello encontrarán los mapas de uso del suelo para periodos de mapeo, 1985, 1990, 2000, 2010 y 2019. El **Cuadro 2** muestra los porcentajes de área para cada periodo en el uso del suelo de la cuenca Alta del Río Coco.

No.	Categorías de Uso	1985 km <sup>2</sup>	% de área	1990 km <sup>2</sup>	% de área	2000 km <sup>2</sup>	% de área	2010 km <sup>2</sup>	% de área	2019 km <sup>2</sup>	% de área
1	Bosque latifoliado denso	19.18	2.03%	17.36	1.84%	18.92	2.01%	16.15	1.71%	14.03	1.49%
2	Bosque latifoliado ralo	113.21	12.00%	97.27	10.31%	56.09	5.94%	68.94	7.31%	76.91	8.15%
3	Bosque de roble	100.99	10.70%	114.55	12.14%	106.69	11.31%	99.82	10.58%	100.80	10.68%
4	Bosque de coníferas denso	30.53	3.24%	26.17	2.77%	26.03	2.76%	20.04	2.12%	22.60	2.39%
5	Bosque de coníferas ralo	69.42	7.36%	79.46	8.42%	69.15	7.33%	81.59	8.65%	75.62	8.01%
6	Bosque de galería	10.52	1.12%	18.35	1.95%	17.31	1.83%	10.34	1.10%	8.03	0.85%
7	Café bajo sombra	7.87	0.83%	14.17	1.50%	15.31	1.62%	14.95	1.58%	26.91	2.85%
8	Tacotal	122.11	12.94%	100.35	10.64%	71.83	7.61%	149.36	15.83%	124.45	13.19%
9	Vegetación arbustiva	275.98	29.25%	272.65	28.90%	303.16	32.13%	232.66	24.66%	203.31	21.55%
10	Pasto	135.85	14.40%	141.89	15.04%	143.88	15.25%	186.36	19.75%	185.75	19.69%
11	Cultivo anual	38.47	4.08%	44.01	4.66%	50.14	5.31%	44.79	4.75%	85.14	9.02%
12	Ciudades pobladas	3.69	0.39%	4.94	0.52%	5.83	0.62%	7.49	0.79%	12.01	1.27%
13	Suelo sin vegetación	5.16	0.55%	10.16	1.08%	6.64	0.70%	9.31	0.99%	6.93	0.73%
14	Agua	2.59	0.27%	2.14	0.23%	4.46	0.47%	1.65	0.18%	1.03	0.11%
15	Áreas quemadas	2.06	0.22%			47.96	5.08%				
16	Nubes	5.90	0.63%	0.05	0.01%	0.11	0.01%	0.07	0.01%		
		<b>943.53</b>	<b>100%</b>	<b>943.53</b>	<b>100%</b>	<b>943.53</b>	<b>100%</b>	<b>943.53</b>	<b>100%</b>	<b>943.53</b>	<b>100%</b>

## 5.1. Mapa de Uso del Suelo 1985

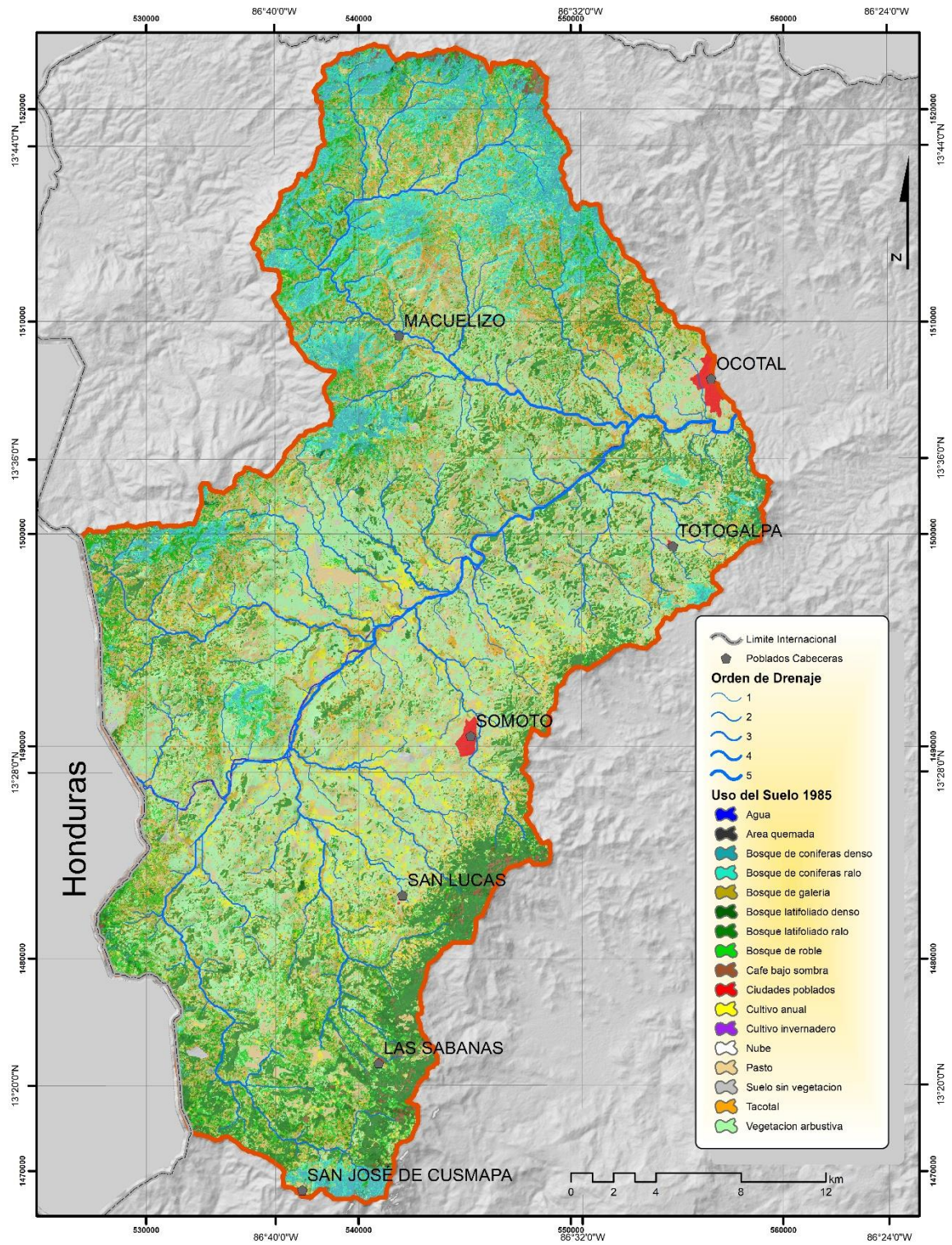


Figura 42. Mapa del uso del suelo de la cuenca alta del río Coco para el año 1985 (Fuente: Procesamiento de imágenes de satélite Landsat 5)



## 5.2. Mapa de Uso del Suelo 1990

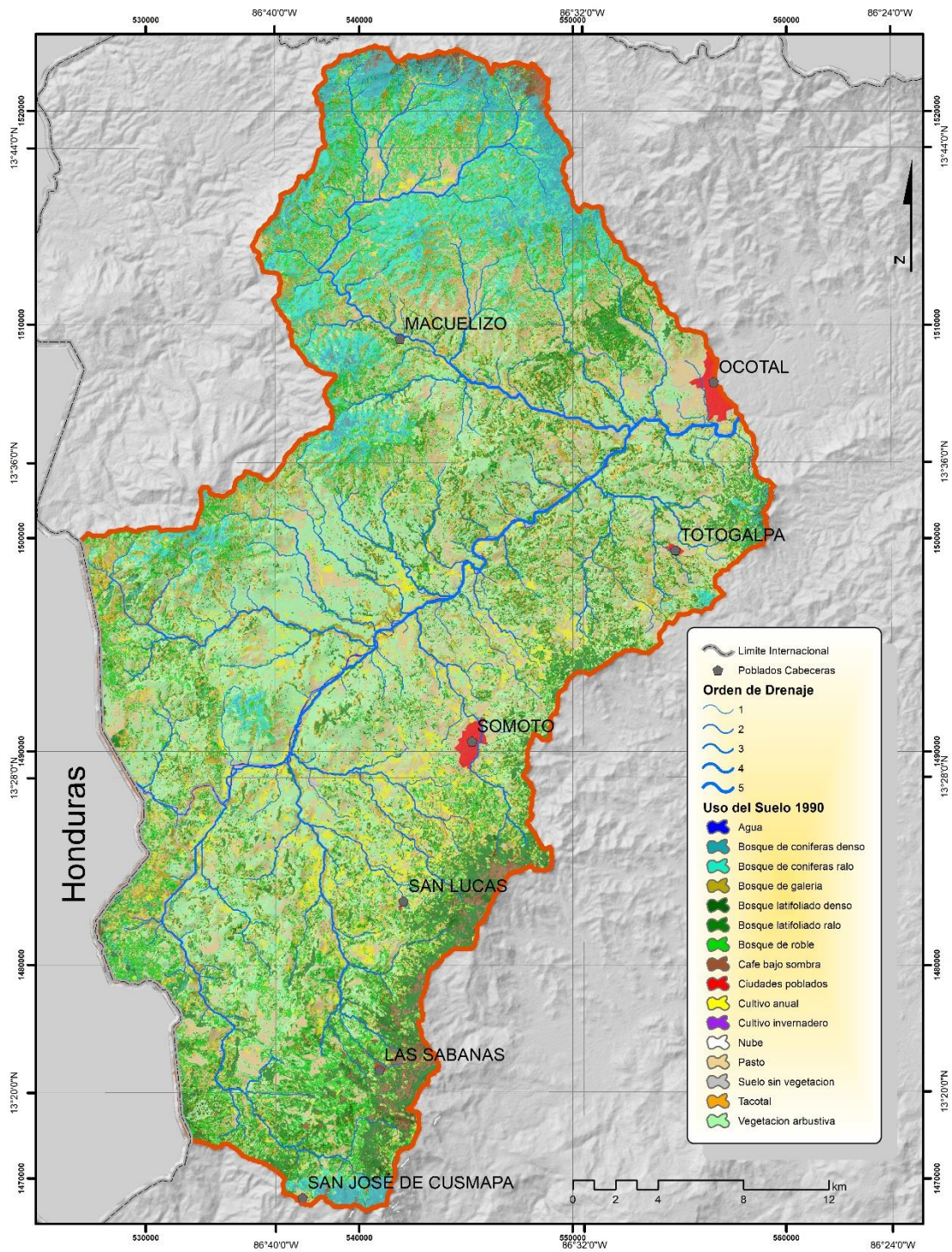


Figura 43. Mapa del uso del suelo de la cuenca alta del río Coco para el año 1990 (Fuente: Procesamiento de imágenes de satélite Landsat 7)

### 5.3. Mapa de Uso del Suelo 2000

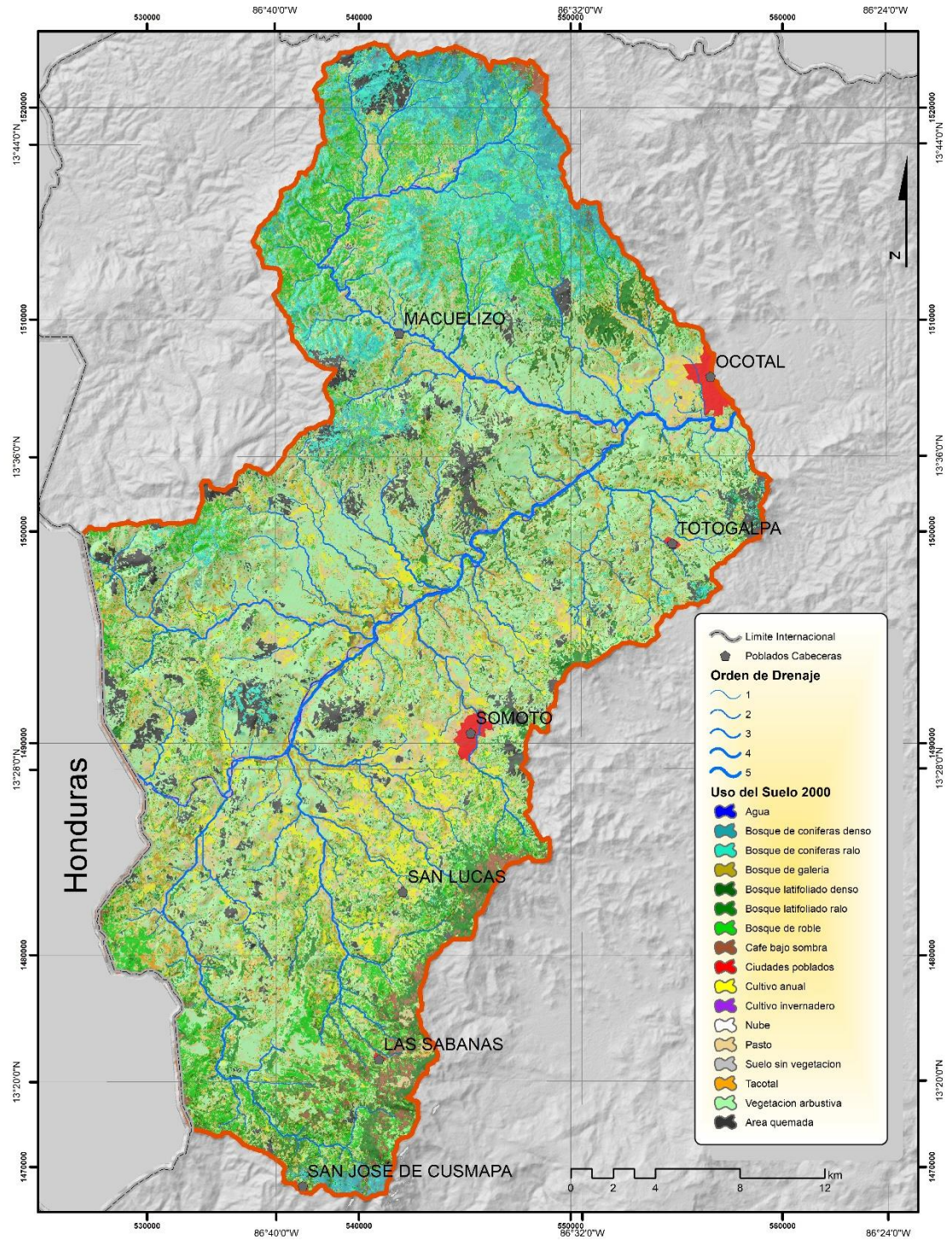


Figura 44. Mapa del uso del suelo de la cuenca alta del río Coco para el año 2000 (Fuente: Procesamiento de imágenes de satélite Landsat 7)

## 5.4. Mapa de Uso del Suelo 2010

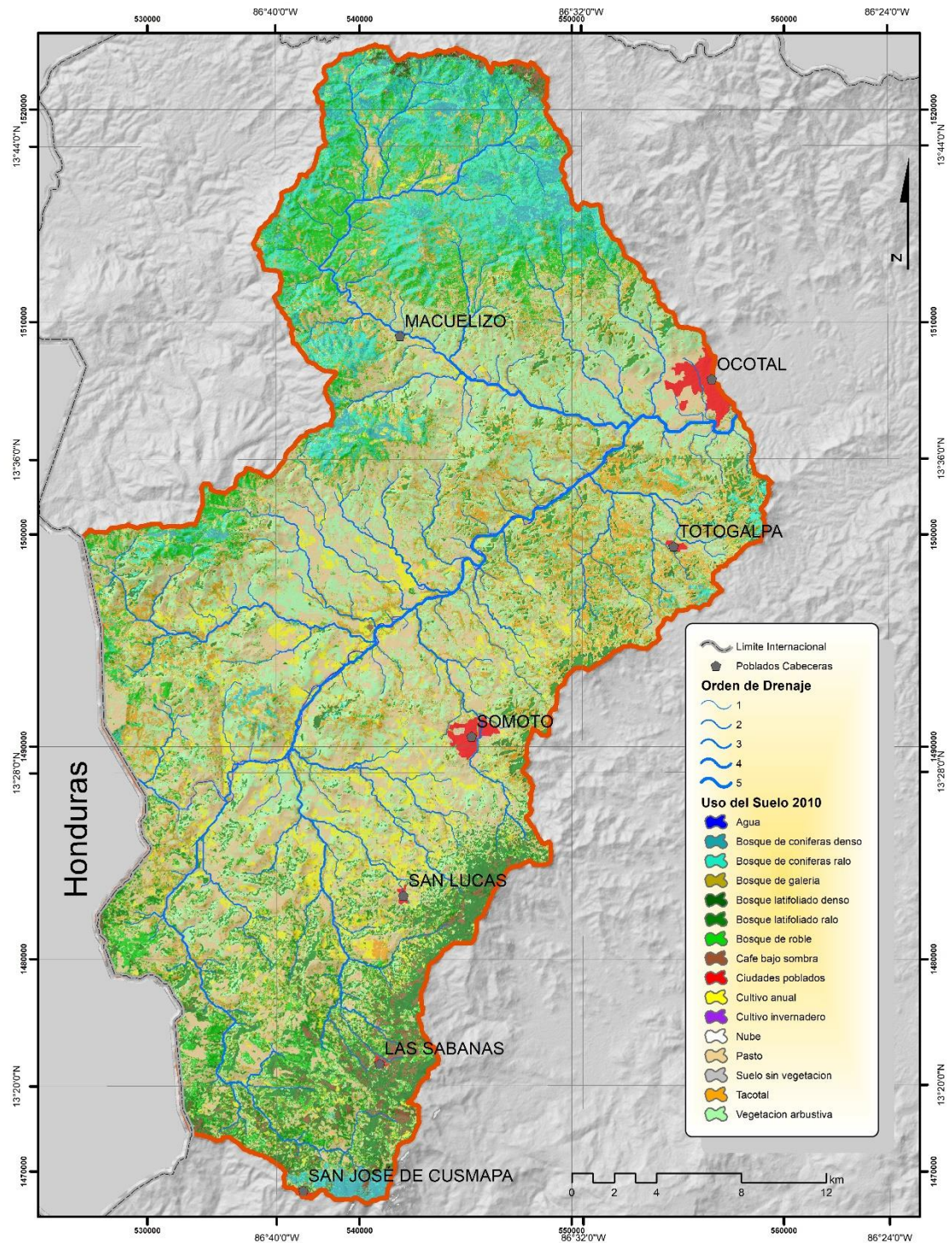


Figura 45. Mapa del uso del suelo de la cuenca alta del río Coco para el año 2010 (Fuente: Procesamiento de imágenes de satélite Landsat 7)

## 5.5. Mapa de Uso del Suelo 2019

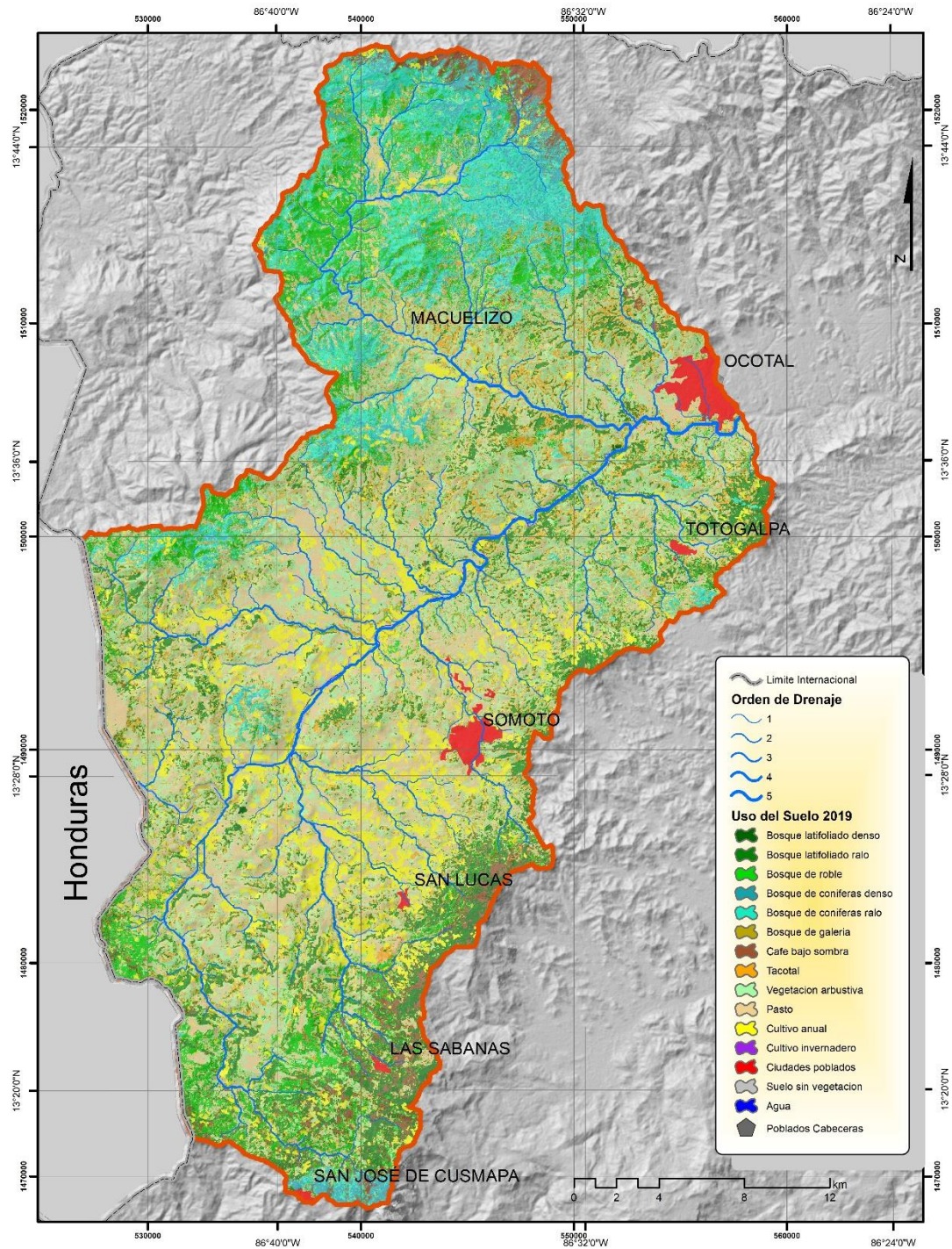


Figura 46. Mapa del uso del suelo de la cuenca alta del río Coco para el año 2019 (Fuente: Procesamiento de imágenes de satélite Landsat 8 con asistencias de imágenes Rapid Eyes y Planet Scopes 2019)

## 5.6. Análisis del Cambio de Uso del Suelo y TAC

Mediante sobreposición digital de los mapas clasificados de cada fecha, se identificaron las áreas de cambio en los periodos 1985-1990, 1990-2000, 2000–2010 y 2010–2019. Este análisis se realizó para la superficie comprendida dentro de la parte alta de la cuenca de río Coco. Los resultados son representados mediante matrices de cambio para cada periodo. Importante hay que mencionar que en los cálculos del **Cuadro 3** se presenta la Tasa Anual de Cambio (**TAC**) para los diferentes periodos de tiempo en estudio cuyo cálculo se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$\delta n = \left( \frac{S2}{S1} \right)^{1/n} - 1$$

donde:

$\delta n$ : tasa de cambio (para expresar en %, multiplicar por 100)

$n$ : el número de años entre las dos fechas

$S1$ : área de uso, al inicio del periodo

$S2$ : área de uso, al final del periodo

Cuadro 3: Área en kilómetro cuadrado por cada uso del suelo en los periodos de tiempo estudiados (1985, 1990, 2000, 2010 y 2019) con sus respectivas Tasas de cambios de uso (TAC).

No.	Categorías de Uso	1985 km <sup>2</sup>	1990 km <sup>2</sup>	2000 km <sup>2</sup>	2010 km <sup>2</sup>	2019 km <sup>2</sup>	TAC 1985-1990	TAC 1990-2000	TAC 2000-2010	TAC 2010-2019
1	Bosque latifoliado denso	19.18	17.36	18.92	16.15	14.03	-1.98%	0.87%	-1.57%	-1.56%
2	Bosque latifoliado ralo	113.21	97.27	56.09	68.94	76.91	-2.99%	-5.36%	2.08%	1.22%
3	Bosque de roble	100.99	114.55	106.69	99.82	100.80	2.55%	-0.71%	-0.66%	0.11%
4	Bosque de coníferas denso	30.53	26.17	26.03	20.04	22.60	-3.03%	-0.05%	-2.58%	1.35%
5	Bosque de coníferas ralo	69.42	79.46	69.15	81.59	75.62	2.74%	-1.38%	1.67%	-0.84%
6	Bosque de galería	10.52	18.35	17.31	10.34	8.03	11.77%	-0.58%	-5.02%	-2.77%
7	Café bajo sombra	7.87	14.17	15.31	14.95	26.91	12.49%	0.78%	-0.24%	6.75%
8	Tacotal	122.11	100.35	71.83	149.36	124.45	-3.85%	-3.29%	7.60%	-2.01%
9	Vegetación arbustiva	275.98	272.65	303.16	232.66	203.31	-0.24%	1.07%	-2.61%	-1.49%
10	Pasto	135.85	141.89	143.88	186.36	185.75	0.87%	0.14%	2.62%	-0.04%
11	Cultivo anual	38.47	44.01	50.14	44.79	85.15	2.73%	1.31%	-1.12%	7.40%
12	Ciudades pobladas	3.69	4.94	5.83	7.49	12.01	6.00%	1.67%	2.53%	5.39%
13	Suelo sin vegetación	5.16	10.16	6.64	9.31	6.93	14.52%	-4.15%	3.43%	-3.22%
14	Agua	2.59	2.14	4.46	1.65	1.03	-3.73%	7.61%	-9.44%	-5.12%
15	Áreas quemadas	2.06	--	47.96	--	--	--	--	--	--
16	No data (Nubes)	5.90	0.05	0.11	0.07	--	--	--	--	--
		<b>943.53</b>	<b>943.53</b>	<b>943.53</b>	<b>943.53</b>	<b>943.53</b>				

## 5.7. Lo ocurrido con las áreas de bosque

### 5.7.1. Bosque latifoliado cerrado (Blc)

Según la clasificación obtenida de las imágenes Landsat en el área de estudio se cuantifica una reducción permanente durante el periodo de estudio pero que no son grandes áreas en km<sup>2</sup> en reducción. A la fecha se considera que se encuentran un total de aproximadamente 14 km<sup>2</sup>. La poca significancia del cambio de uso en esta categoría entre el 1986 y 2019 se debe a posibles bajos cambios en esta categoría durante el tiempo.

### 5.7.2. Bosque latifoliado ralo (Blr)

Este uso del suelo es el que presenta un gran dinámica y cambio dentro de los periodos estudiados. Vemos reducciones de estas áreas del 1986 al 2000 pero luego se observan aumentos de estas áreas del 2000 al 2019. La mayoría de este bosque son convertidos a la categoría de uso de Pasto más árboles.

### 5.7.3. Bosque de roble

En este estudio se propuso separar el bosque de roble de las áreas de bosque de latifoliados con el fin de poder tener mejores acciones para el manejo de la cuenca. Esto debido a que el bosque de roble tiene particulares propios como invasión sobre las áreas de pino así como la dureza de su madera para el aprovechamiento de ella. En este análisis multitemporal se logra observar que las áreas de bosques de roble se mantienen durante el periodo de estudio. Estas áreas redondean un total de 100 km<sup>2</sup> en toda la cuenca alta del río coco.

### 5.7.4. Bosque de coníferas

Los bosques de coníferas, tanto denso como ralo tienden a reducir. El bosque de pino denso tiene una tendencia considerada, en las primeras décadas del estudio (1986 al 2010). Posteriormente se establece como áreas de bosques denso. En la etapa de campo, a pesar de encontrar grandes áreas de bosques de pino ralo, estas áreas presentan un gran deterioro debido al aprovechamiento e incendios forestales.

### 5.7.5. Café bajo sombra

Este uso del suelo tiene una tendencia a aumentar sus áreas durante las décadas de estudios. Siempre presentan un TAC positivo llegando hasta alcanzar casi un 4% de TAC durante los 34 años de estudios.

### 5.7.6. Tacotales, Vegetación arbustivas y Pasto

Estos usos del suelo son los que cubren las mayores áreas de la cuenca alta del río coco. Para el año 2019 estos usos del suelo cubren más del 50% del área total. Y durante las décadas pasadas, los tacotales y la vegetación arbustivas tienen aumentos y reducciones de sus áreas. El aumento de la vegetación arbustiva muchas veces se debe al abandono de las áreas de cultivos y pastos. Y el aumento de las áreas de tacotales se debe al abandono total de las

áreas de las vegetaciones arbustivas. Luego el dinamismo cambia en que las áreas arbustivas o tacotales se convierten en áreas de pastos.

#### 5.7.7. Cultivos anuales y centros poblados

Debido a una mayor presencia de actividades humanas, estos usos tienen una tendencia de aumento en toda la cuenca y durante todo el periodo de estudios. Los cultivos anuales se encuentran, principalmente a orillas de los ríos como el Rio Coco y el Macuelizo. En la etapa de campo se comprobó que la mayoría de estos cultivos son arroz, frijoles, maíz, entre otros.



## 5.8. Mapa de áreas potencial a degradación

El siguiente análisis espacial tiene como objetivo determinar las áreas que se encuentran en un alto riesgo de degradación debido a la falta de cobertura forestal por varios años continuos, así como una pendiente alta que facilita la erosión de los suelos. Se determino el mapa de pendiente haciendo uso del Modelo Digital de Elevación (MDE) a 10m de resolución facilitado por el INETER (Figura 47).

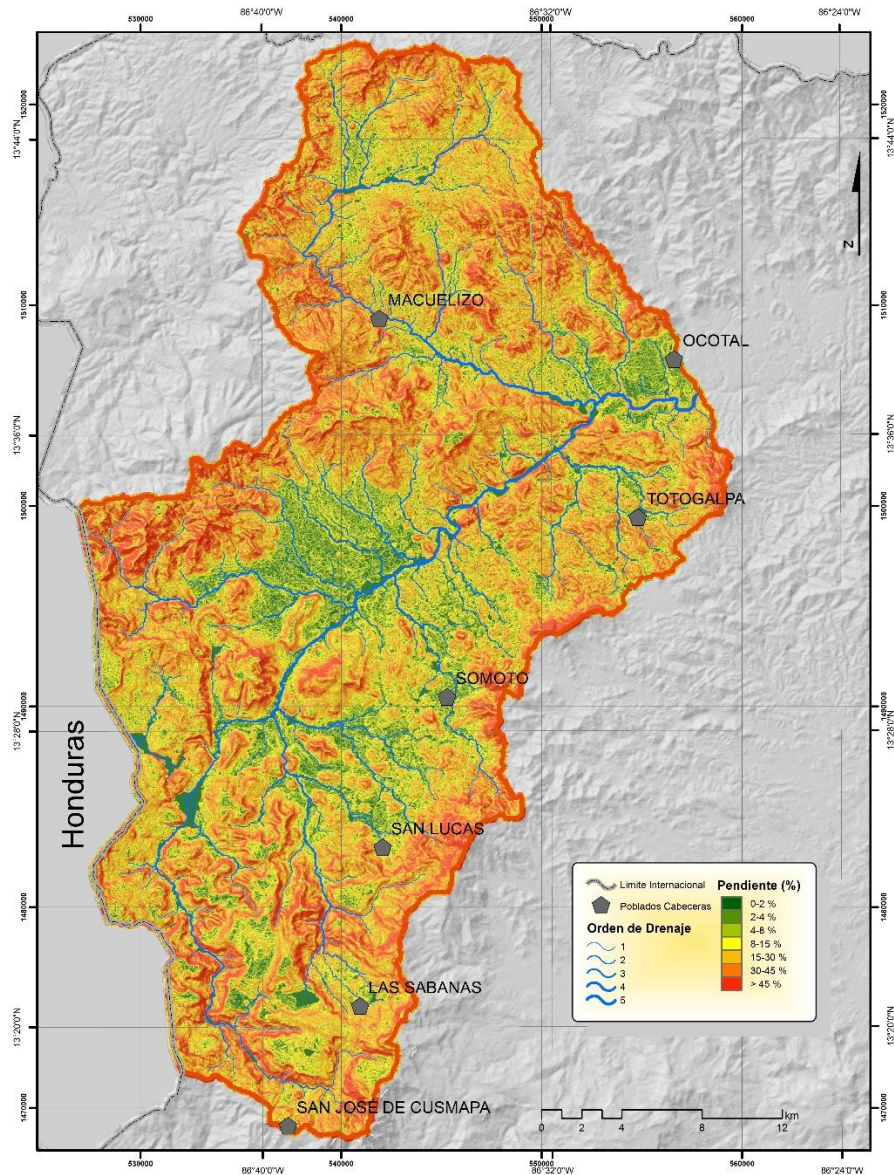


Figura 47. Mapa de pendiente en porcentaje (%) calculado con el algoritmo de ESRI, utilizando el MDE (10m de resolución espacial) facilitado por la Dirección de Ordenamiento Territorial del INETER (2019).

Para obtener un mapa de áreas en degradación, se reclasifico el mapa de pendiente obteniendo aquellas áreas con pendientes fuertes mayores al 45%. Igualmente se reclasifico el mapa de uso del suelo del 2019 en donde se dejaron fuera las áreas que en la actualidad son bosques (así como otras áreas de ciudades pobladas, agua, entre otras). En la **Figura 48** se presenta un mapa de degradación potencial con base en el mapa de pendiente y el mapa de uso del suelo 2019. Finalmente, se extrajeron todas las áreas quemadas que se lograron mapear en el 2010 (aproximadamente un total de 100 km<sup>2</sup>).

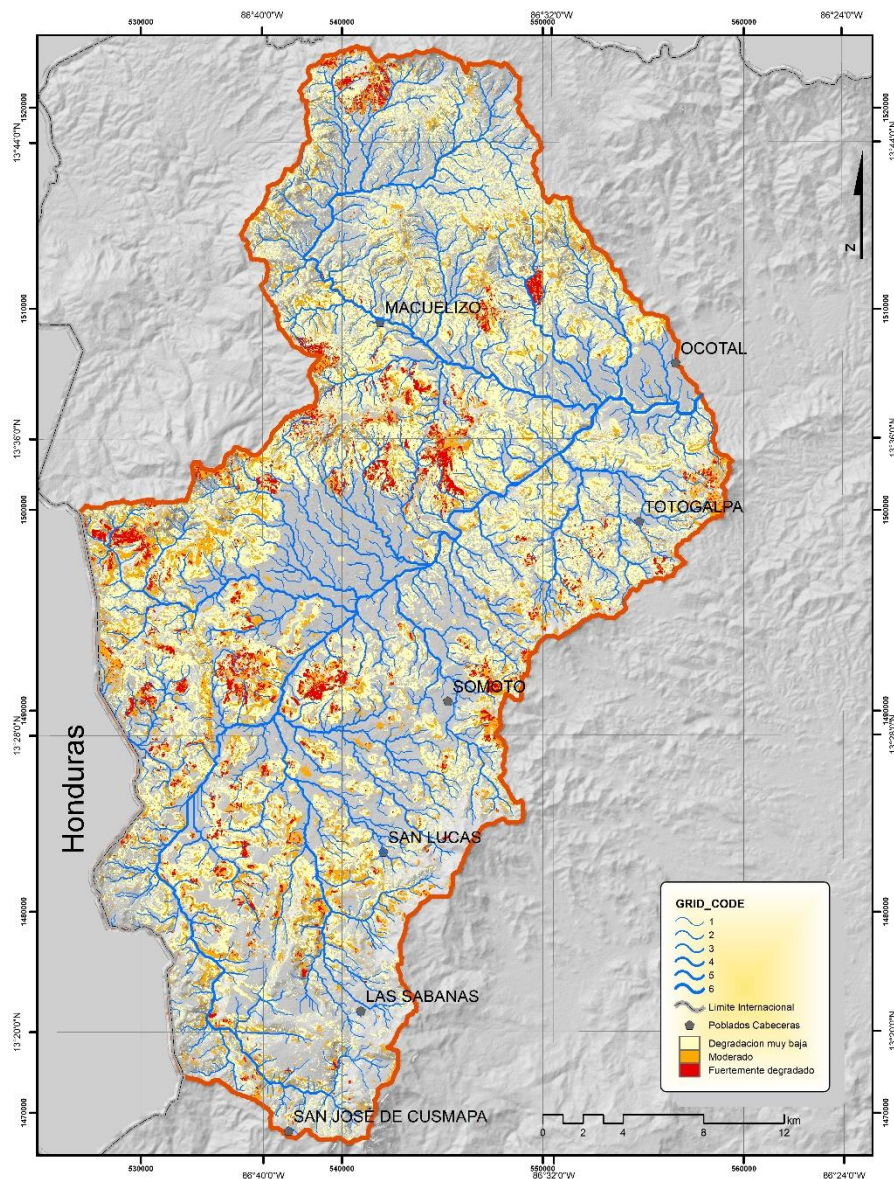


Figura 48. Mapa de degradación potencial con base en el mapa de pendiente en porcentaje (%), mapa de uso del suelo del 2019 y áreas quemadas presente en el año 2010.

## 6. Discusión y conclusiones

La etapa de campo permitió constatar el estado de degradación del recurso forestal, principalmente del bosque de pino ralo, en la parte alta de la cuenca debido a un aprovechamiento inadecuado afectado principalmente por cortes irracional de leña, incendios forestales frecuentes y quemas agrícolas no controladas para promover siembra de pasto. El estudio multitemporal nos ha permitido detectar que los años de 1985 y el 2000 presentan gran afectación de los bosques por los incendios forestales. Así mismo, con la etapa de campo, en el año 2019 se evidenciaron fuertes presencia de incendios forestales.

Las áreas a orillas o áreas planas de los ríos, principalmente del Rio Coco, se observa el predominio de agricultura de subsistencia (cultivos de frijoles, arroz, pastos y arroz). Para el año 2019 se logra detectar incremento en estos usos del suelo.

En las comunidades cercanas a Somoto solo existe vegetación arbustiva y en las partes altas de las montañas tacotales, y en algunas áreas de la pendiente más alta se encuentran pequeños parches de bosques latifoliado ralo en diferente estado de intervención según las actividades que desarrollan los comunitarios para garantizar su necesidad de subsistencia. Bosques latifoliados denso se observó únicamente en las áreas de la Reserva Natural Tepesomoto (parte sur de la cuenca) y la parte alta de Agua Dulce y Apatoro en donde se encuentra el límite este de la cuenca.

Pequeñas áreas de bosque de pino denso se observaron solamente en el límite de la cuenca Dipilto y parte agua camino hacia la comunidad de Ococona. El resto de las áreas se consideran pinos ralos con alto grado de degradación por extracción y conversión de la tierra a uso agrícola. Bosque de coníferas y Quercus fluctúan en cambios de áreas, en algunas partes estas áreas aumentan, en otras se reducen dichas áreas.

En el municipio de san José de Cusmapa en la parte este de la cuenca solamente existe bosque de Quercus, esto es un indicador del nivel de degradación del suelo que hace imposible la regeneración del pino pasando el Quercus a dominar el paisaje en lo que en su momento fueron áreas de bosque de pinos. En toda el área de la cuenca se constató diferentes usos de la tierra con predominio de tacotales, vegetación arbustiva, cultivos anuales, pasto, bosque latifoliado, bosque de pino fuertemente intervenido y la ganadería extensiva. Las áreas de bosques de pinos se encuentran bien amenazados por la gran influencia del bosque de Quercus y así sucesivamente por la influencia de las actividades humanas. Es por ello por lo que se encuentra grandes áreas afectadas y degradadas en camino de Ocotal a Macuelizo.

Con base al procesamiento de las imágenes de satélites, los mayores cambios entre 1990 y 2019 se dinamizan en los tacotales, vegetación arbustiva a pasto y cultivos. De la misma manera, las áreas de las ciudades claramente están en crecimiento para el año 2019. Los

usos que presentan incremento en áreas son todas aquellas relacionadas a actividades humanas como; Café bajo sombra, Pasto, Cultivo anual, Ciudades y centros poblados y Suelo sin vegetación. Para el año 2019 aparece una nueva categoría de cultivos invernaderos que fue posible mapearlo, pero no fue considerado para el análisis debido a que su representatividad en área es mínima en comparación con el área total de la cuenca.

## 7. Bibliografía.

- Chuvienco, E. (1996). *Fundamentos de Teledeteccion Espacial*. Madrid: Ediciones Rialp, S.A.
- ENACAL. (2017). *Plan Nacional de Recursos Hidricos de Nicaragua: Diagnostico y Propuesta de Lineas Estrategicas*. Managua.
- USGS. (09 de 07 de 2019). *Global Visualization Viewer (GloVis)* . Obtenido de Glovis:  
<https://glovis.usgs.gov/app>

Anexo 1: Cuadro de Inventario de las imágenes de satélites descargadas para el análisis de las imágenes de satélites.

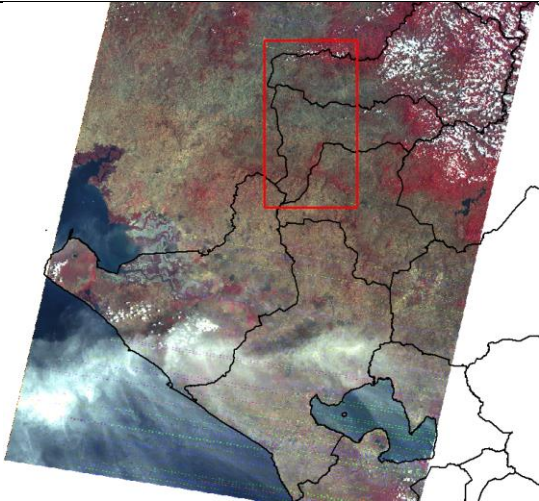
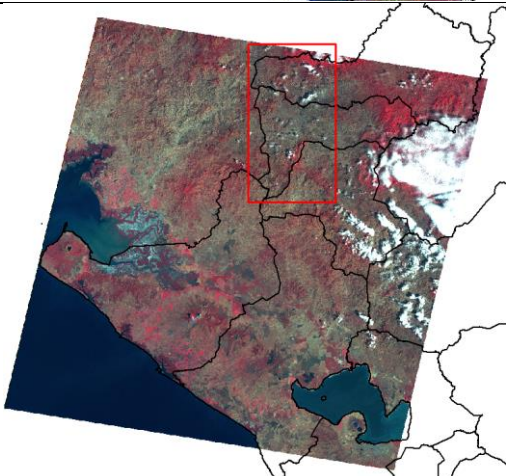
Características de las imágenes descargadas	Composición de imagen
<p>IMAGEN LANDSAT 5 23 Marzo 1975</p> <p>LM02_L1TP_018050_19750323_20180425_01_T2.TIF LM02_L1TP_018051_19750323_20180425_01_T2.TIF (disponibles bandas 4,5,6,7)</p>	 <p>A satellite image showing a geographical region with a red rectangular box highlighting a specific area in the upper central part of the image. The image displays various terrain features, including what appears to be a coastline on the left and some urban or developed areas.</p>
<p>IMAGEN LANDSAT 5 12 Febrero 1979</p> <p>LM02_L1TP_018051_19790212_20180418_01_T2.TIF (disponibles bandas 4,5,6,7)</p>	 <p>A satellite image showing the same geographical region as the first image, but with a red rectangular box highlighting a different area in the upper central part. This image shows more extensive snow cover or high-altitude terrain in the highlighted area compared to the 1975 image.</p>

IMAGEN LANDSAT 5  
11 Enero 1980  
LM03\_L1TP\_018051\_19800111\_20180  
416\_01\_T2.TIF  
(disponibles bandas 4,5,6,7)

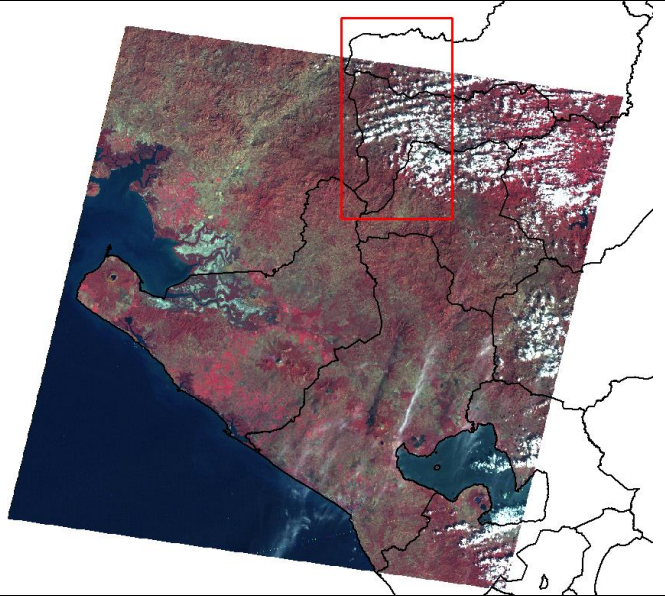


IMAGEN LANDSAT 5  
02 Febrero 1985  
LT05\_L1TP\_017051\_19850201\_201702  
19\_01\_T1.TIF

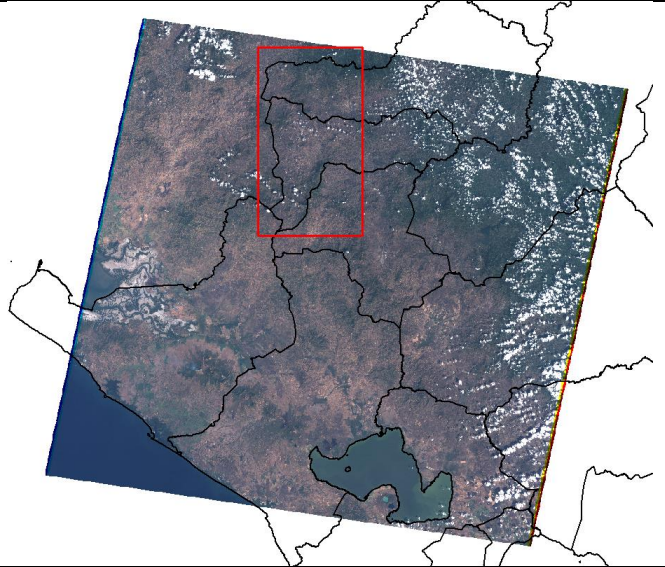


IMAGEN LANDSAT 5  
04 Abril 1990  
LT05\_L1TP\_017051\_199004\_04\_20170  
131\_01\_T1.TIF

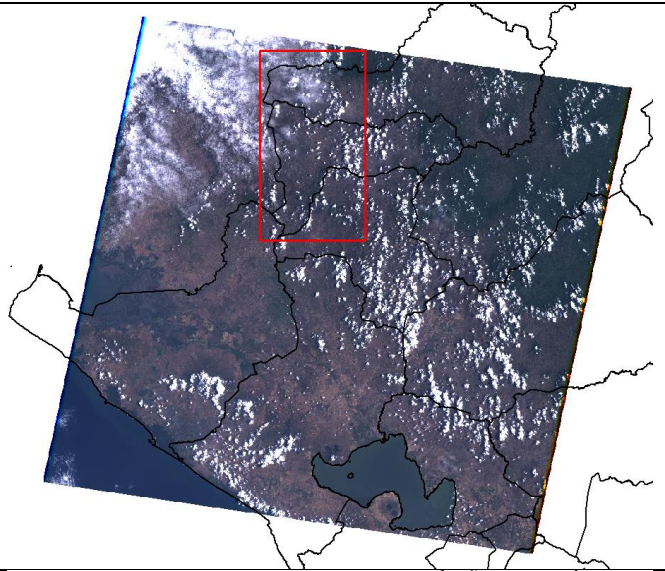


IMAGEN LANDSAT 7  
07 Abril 2000  
LE07\_L1TP\_017051\_20000407\_201702  
12\_01\_T1.TIF

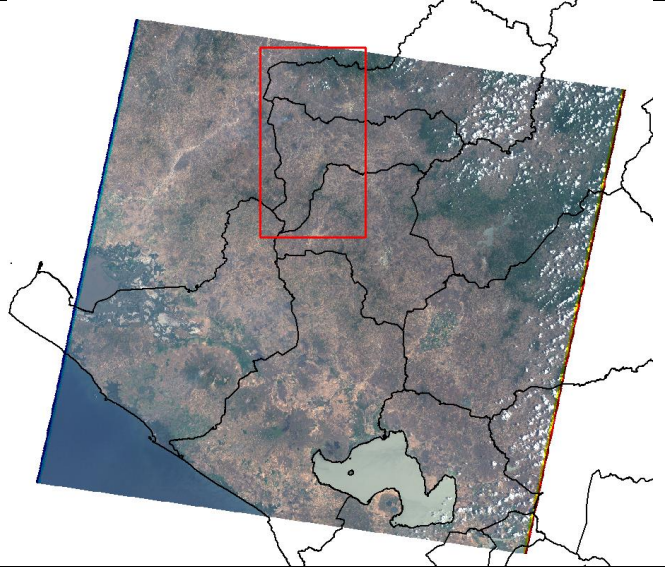




IMAGEN LANDSAT 7

SUPERPOSICION

13 Enero 2010

LE07\_L1TP\_017051\_20100113\_201612

17\_01\_T1.TIF

02 Marzo 2010

LE07\_L1TP\_017051\_20100302\_201612

15\_01\_T1.TIF

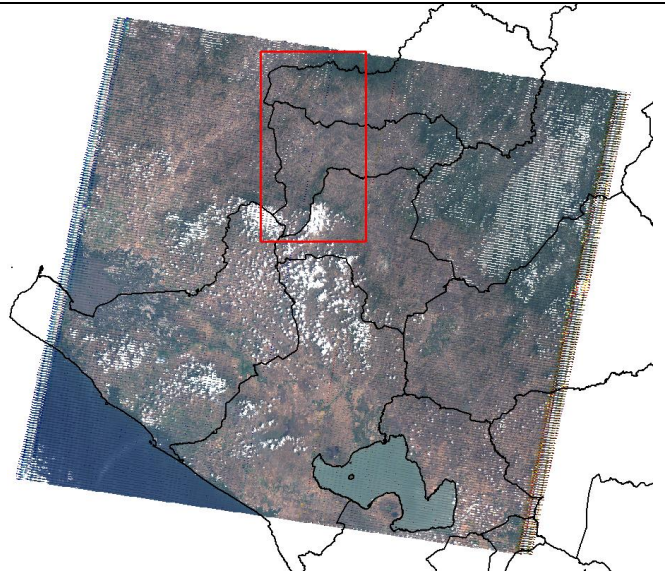


IMAGEN LANDSAT 8

15 Febrero 2019

LC08\_L1TP\_017051\_20190215\_201902

22\_01\_T1.TIF

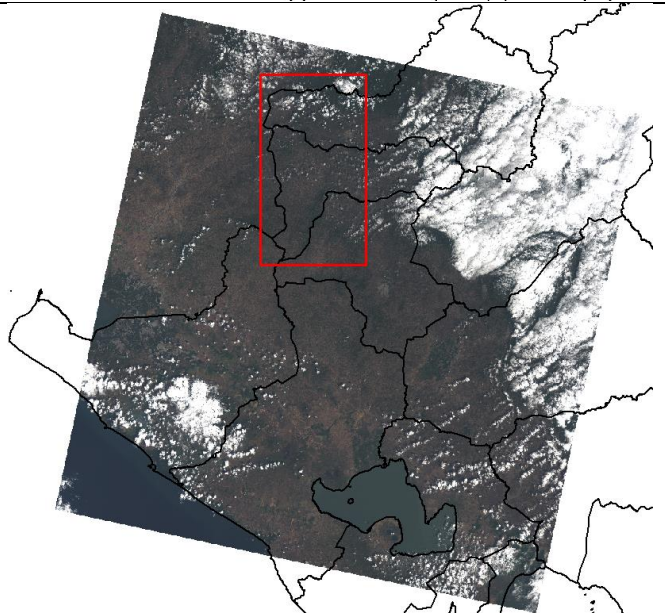


IMAGEN LANDSAT 8  
19 marzo 2019  
LC08\_L1TP\_017051\_20190319\_201903  
25\_01\_T1.TIF

