



Universidad
Nacional
de Loja

Facultad de Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación
del Medio Ambiente

**DETERMINACIÓN DEL CAMBIO DE USO DE SUELO
DE LOS AÑOS 1986-2016 PARA EL CÁLCULO DE
INDICADORES DEL SUBSISTEMA NATURAL EN LOS
CANTONES CELICA, PINDAL Y PUYANGO,
PROVINCIA DE LOJA.**

Tesis de grado presentada como requisito
para la obtención del título de Ingeniero en
Manejo y Conservación del Medio
Ambiente

AUTOR:

Adrián Patricio Montoya Hualpa

DIRECTOR:

Ing. Oscar Lenin Juela Sivisaca. Mg. Sc

Loja, diciembre - 2020

CERTIFICACIÓN DE DIRECCIÓN DE TESIS

Loja, 08 de septiembre de 2020

En calidad de directora de tesis CERTIFICO que el Señor Adrián Patricio Montoya Hualpa, portadora de la cédula de ciudadanía N° 1104761273, egresado de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Loja, ha desarrollado la Tesis de Grado titulada "DETERMINACIÓN DEL CAMBIO DE USO DE SUELO DE LOS AÑOS 1986-2016 PARA EL CÁLCULO DE INDICADORES DEL SUBSISTEMA NATURAL EN LOS CANTONES CELICA, PINDAL Y PUYANGO, PROVINCIA DE LOJA", la misma que ha sido debidamente dirigida y revisada cumpliendo con todas las normas reglamentarias vigentes y dentro del cronograma establecido.

Por tal razón, autorizo la presentación y publicación de la presente Tesis de Grado.

Atentamente,

OSCAR LENIN
JUELA SIVISACA

Formato digitalizado por OSCAR LENIN
JUELA SIVISACA
DE: OSCAR LENIN JUELA SIVISACA
DIRECTOR
Módulo: Apellido y nombre de usuario
Ubicación:
Fecha: 2020-12-11 10:28:00:00

Ing. Oscar Juela. Mg. Sc.
DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE TESIS

Loja, 09 de diciembre de 2020

En calidad de Tribunal Calificador de la Tesis de Grado titulada “**DETERMINACIÓN DEL CAMBIO DE USO DE SUELO DE LOS AÑOS 1986-2016 PARA EL CÁLCULO DE INDICADORES DEL SUBSISTEMA NATURAL EN LOS CANTONES CELICA, PINDAL Y PUYANGO, PROVINCIA DE LOJA**”, de autoría de Señor Adrián Patricio Montoya Hualpa egresado de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Loja, **CERTIFICAN** que ha incorporado todas las sugerencias efectuadas por sus miembros, por tal motivo se procede a dar por aprobada y calificada su trabajo de Tesis de Grado.

Por lo tanto, autorizamos al Señor egresado, su publicación y difusión.

Atentamente,

Ing. Erasmo Vinicio Alvarado Jaramillo Mg.Sc
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Ing. Santiago Rafael Garcia Matailo Mg.Sc
VOCAL DEL TRIBUNAL

SANTIAGO
RAFAEL
GARCIA
MATAILO

Firmado digitalmente
por SANTIAGO
RAFAEL GARCIA
MATAILO
Fecha: 2020.12.11
08:09:12 -05'00'

Ph.D., Luis Gerardo Rodríguez
VOCAL DEL TRIBUNAL



AUTORÍA

Yo, Adrián Patricio Montoya Hualpa, declaro ser autor de la Tesis de Grado titulada **“DETERMINACIÓN DEL CAMBIO DE USO DE SUELO DE LOS AÑOS 1986-2016 PARA EL CÁLCULO DE INDICADORES DEL SUBSISTEMA NATURAL EN LOS CANTONES CELICA, PINDAL Y PUYANGO, PROVINCIA DE LOJA”**, y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de esta.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.



firmado electrónicamente por:
**ADRIAN PATRICIO
MONTAYA HUALPA**

Adrián Patricio Montoya Hualpa
C.I.: 1104761273
Fecha: 09 de diciembre de 2020

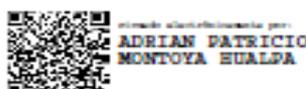
CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, **Adrián Patricio Montoya Hualpa**, declaro ser autor de la Tesis de Grado titulada **“DETERMINACIÓN DEL CAMBIO DE USO DE SUELO DE LOS AÑOS 1986-2016 PARA EL CÁLCULO DE INDICADORES DEL SUBSISTEMA NATURAL EN LOS CANTONES CELICA, PINDAL Y PUYANGO, PROVINCIA DE LOJA”**, como requisito para optar al Grado de Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional (RDI).

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los nueve días del mes de diciembre de dos mil veinte, firma el autor.



Autor: Adrián Patricio Montoya Hualpa

Cédula de identidad: 1104761273

Dirección: Loja, Epicachima y Mayas

Teléfono: 0968547366

Correo electrónico: apmontoyah@unl.edu.ec

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de tesis: Ing. Oscar Lenin Juela Sivisaca Mg.Sc

Tribunal de grado: Ing. Erasmo Vinicio Alvarado Jaramillo Mg.Sc

Ing. Santiago Rafael García Matailo Mg.Sc

Ph.D., Luis Gerardo Rodríguez

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme sabiduría, fuerza e inteligencia y por colocar a personas incondicionales durante toda mi carrera universitaria, por motivarme cuando muchas veces me sentí agotado y sin ganas de continuar.

A mi madre, hermano, novia, abuela, tíos y a todos mis seres queridos quienes, con su bondad, cariño y apoyo hicieron posible la finalización de esta primera etapa de mi formación profesional; a mis amigos Erick y Jorge por su valiosa y sincera amistad compartida durante toda mi vida universitaria.

A la Universidad Nacional de Loja, en especial a la planta docente de la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, por sus conocimientos brindados durante todo el tiempo de mi carrera universitaria.

Finalmente, un profundo agradecimiento a mi director de tesis el ingeniero Oscar Lenin Juela Sivisaca por su valioso apoyo y compromiso durante todo el desarrollo de este proyecto.

-Adrián Patricio Montoya Hualpa

DEDICATORIA

A mi madre, Julita por todo sus consejos, sacrificio y constante apoyo a favor de mi bienestar y preparación, le quedo eternamente agradecido, esperando dedicarle muchos más logros y poder retribuirle con creces todo el esfuerzo que ha hecho por mí.

A mi hermano, Juan Carlos por las risas, abrazos, compañía y por estar siempre presente en todo el trascurso de mi carrera universitaria.

A mis tíos Vladimir y Karina por todo el apoyo, enseñanza, palabras de ánimo y cariño incondicional brindados durante todos estos 5 años de preparación profesional.

A mi novia Carolina por su sacrificio, motivación y sobretodo por haber sido mi compañera de alegrías y tristezas a lo largo de toda mi vida universitaria y brindarme su apoyo cuando más lo necesité.

-Adrián Patricio Montoya Hualpa

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1.	APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN EN EL CAMBIO DE USO DE SUELOS	3
2.1.1.	SITUACIÓN GENERAL DEL CAMBIO DE USO DE SUELO EN EL ECUADOR.	4
2.1.2.	ANÁLISIS MULTITEMPORAL PARA IDENTIFICAR EL CAMBIO DE USO DE SUELO.....	6
2.2.	INDICADORES DEL SUBSISTEMA NATURAL Y SU IMPORTANCIA PARA EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL.	9
2.3.	ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE.	11
3.	METODOLOGÍA	13
3.1.	ÁREA DE ESTUDIO.....	13
3.2.	DISEÑO DEL ESTUDIO.....	15
3.3.	IDENTIFICACIÓN DEL CAMBIO DE USO DE SUELO.....	16
3.4.	CÁLCULO DE INDICADORES DEL SUBSISTEMA NATURAL.....	21
3.5.	LINEAMIENTOS ESTRATÉGICOS.....	28
4.	RESULTADOS	30
4.1.	IDENTIFICACIÓN DEL CAMBIO DE USO DE SUELO.....	30
4.2.	INDICADORES DEL SUBSISTEMA NATURAL	33
4.2.1.	TASA DE DEFORESTACIÓN DE LOS CANTONES CELICA, PINDAL Y PUYANGO.	33
4.2.2.	TASA DE CAMBIO EN VEGETACIÓN Y USO DE SUELO	34
4.2.3.	INDICADOR DE RELACIÓN COBERTURA NATURAL/COBERTURA ANTRÓPICA	36
4.3.	LINEAMIENTOS ESTRATÉGICOS.....	42
5.	DISCUSIÓN.....	48
6.	CONCLUSIONES.....	53
7.	RECOMENDACIONES	54
8.	REFERENCIAS	54
9.	ANEXOS.....	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas geográficas por cantón.....	13
Tabla 2. Clase de coberturas de uso suelo establecida por el Ministerio del Ambiente.....	17
Tabla 3. Matriz utilizada para cuantificación de coberturas y uso del suelo.....	19
Tabla 4. Matriz de confusión.....	20
Tabla 5. Valores de antropización de acuerdo al uso de suelo.....	25
Tabla 6. Matriz utilizada para la elaboración de Lineamientos Estratégicos de Ordenamiento Territorial	30
Tabla 7. Superficie total y porcentaje ocupado por cada cobertura y uso del suelo del cantón Celica, en los años 1986, 1996, 2006 y 2016.....	31
Tabla 8. Superficie total y porcentaje ocupado por cada cobertura y uso del suelo del cantón Pindal, en los años 1986, 1996, 2006 y 2016.....	32
Tabla 9. Superficie total y porcentaje ocupado por cada cobertura y uso del suelo del cantón Puyango, en los años 1986, 1996, 2006 y 2016.....	32
Tabla 10. Resumen de los valores del coeficiente Kappa obtenidos de la clasificación supervisada	32
Tabla 11. Porcentaje de tasa de deforestación de los cantones Celica, Pindal y Puyango de los periodos 1986-1996; 1996 - 2006, 2006 - 2016 y 1986 - 2016.....	34
Tabla 12. Porcentaje de tasa de cambio en vegetación y uso de suelo del cantón Celica, de los periodos 1986 - 1996; 1996 - 2006; 2006 - 2016 y 1986 - 2016.....	35
Tabla 13. Tasa de cambio en vegetación y uso de suelo del cantón Pindal, de los periodos 1986 -1996; 1996 - 2006; 2006 - 2016 y 1986 - 2016.....	35
Tabla 14. Tasa de cambio en vegetación y uso de suelo del cantón Puyango, de los periodos 1986 - 1996; 1996 - 2006; 2006 - 2016 y 1986 - 2016.....	35
Tabla 15. Indicador de antropización de los cantones Celica, Pindal y Puyango de los años 1986, 1996, 2006 y 2016.....	36
Tabla 16. Cobertura de bosque expresada en hectáreas y porcentaje de los cantones Celica, Pindal y Puyango del año 1986.....	40
Tabla 17. Cobertura de Áreas Naturales definidas por el MAE expresada en hectáreas y porcentaje de los cantones Celica, Pindal y Puyango.....	41

Tabla 18. Extensión de la frontera agrícola expresada en hectáreas y porcentaje de los cantones Celica, Pindal y Puyango correspondiente a los años 1986, 1996, 2006 y 2016 42

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Indicadores del Subsistema Natural	11
Cuadro 2. Lineamientos estratégicos de ordenamiento territorial de las coberturas con mayor cambio del periodo 1986 – 2016 pertenecientes al cantón Celica.	43
Cuadro 3. Lineamientos estratégicos de ordenamiento territorial de las coberturas con mayor cambio del periodo 1986 – 2016 pertenecientes al cantón Pindal.	45
Cuadro 4. Lineamientos estratégicos de ordenamiento territorial de las coberturas con mayor cambio del periodo 1986 – 2016 pertenecientes al cantón Puyango.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Ubicación de área de estudio	15
Figura 2. Proceso metodológico utilizado para identificar el cambio y uso de suelo.....	21
Figura 3. Proceso metodológico para el cálculo de la tasa de deforestación.....	23
Figura 4. Proceso metodológico para el cálculo de la tasa de cambio en vegetación y uso de suelo.	24
Figura 5. Proceso metodológico para el cálculo del indicador relación cobertura natural/cobertura antrópica.....	26
Figura 6. Proceso metodológico para el cálculo del indicador de extensión de la frontera agrícola.	27
Figura 7. Proceso metodológico para el cálculo del indicador de Áreas Naturales Protegidas	28
Figura 8. Mapa de relación cobertura natural/cobertura antrópica y grado de antropización del cantón Celica de los años 1986, 1996, 2006 y 2016	37

Figura 9. Mapa de relación cobertura natural/cobertura antrópica y grado de antropización del cantón Pindal de los años 1986, 1996, 2006 y 2016	38
Figura 10. Mapa de relación cobertura natural/cobertura antrópica y grado de antropización del cantón Puyango de los años 1986, 1996, 2006 y 2016.....	39

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa de cobertura y uso de suelo del Cantón Celica correspondiente a los años 1986, 1996, 2006 y 2016.....	59
Anexo 2. Mapa de cobertura y uso de suelo del Cantón Pindal correspondiente a los años 1986, 1996, 2006 y 2016.....	60
Anexo 3. Mapa de cobertura y uso de suelo del Cantón Puyango correspondiente a los años 1986, 1996, 2006 y 2016.....	61
Anexo 4. Matriz de confusión de la imagen clasificada correspondiente al año 1986.....	62
Anexo 5. Matriz de confusión de la imagen clasificada correspondiente al año 1996.....	63
Anexo 6. Matriz de confusión de la imagen clasificada correspondiente al año 2006.....	64
Anexo 7. Matriz de confusión de la imagen clasificada correspondiente al año 2016.....	65
Anexo 8. Ganancia y pérdida de bosque del cantón Celica de los periodos 1986 - 1996; 1996 - 2006; 2006 - 2016 y 1986 - 2016.....	66
Anexo 9. Ganancia y pérdida de bosque del cantón Pindal, de los periodos 1986 - 1996; 1996 - 2006; 2006 - 2016 y 1986 - 2016.....	67
Anexo 10. Ganancia y pérdida de bosque del cantón Puyango, de los periodos 1986 - 1996; 1996 - 2006; 2006 - 2016 y 1986 - 2016.....	68
Anexo 11. Mapa comparativo de la cobertura de bosque del año 2016 frente a la cobertura de Áreas Naturales definidas por el MAE en el año 2019 del cantón Celica.....	69
Anexo 12. Mapa de comparativo de la cobertura de bosque del año 2016 frente a la cobertura de Áreas Naturales definidas por el MAE en el año 2019 del cantón Pindal.	70
Anexo 13. Mapa de comparativo de la cobertura de bosque del año 2016 frente a la cobertura de Áreas Naturales definidas por el MAE en el año 2019 del cantón Puyango.....	71
Anexo 14. Mapa de comparativo de la cobertura de la extensión de la frontera agrícola en el cantón Celica pertenecientes a los años 1986, 1996, 2006 y 2016	72
Anexo 15. Mapa de comparativo de la cobertura de la extensión de la frontera agrícola en el cantón Pindal pertenecientes a los años 1986, 1996, 2006 y 2016	73
Anexo 16. Mapa de comparativo de la cobertura de la extensión de la frontera agrícola en el cantón Puyango pertenecientes a los años 1986, 1996, 2006 y 2016.....	74

**DETERMINACIÓN DEL CAMBIO DE USO DE SUELO DE LOS AÑOS
1986-2016 PARA EL CÁLCULO DE INDICADORES DEL SUBSISTEMA
NATURAL EN LOS CANTONES CELICA, PINDAL Y PUYANGO,
PROVINCIA DE LOJA**

RESUMEN

En la presente investigación se identificó el cambio de uso de suelo entre los años 1986 y 2016 de los cantones Celica, Pindal y Puyango de la provincia de Loja, donde se obtuvo cinco indicadores del Subsistema Natural y con ello se pudo efectuar lineamientos estratégicos de ordenamiento territorial. La investigación presentó un diseño no experimental longitudinal debido a que se estudiaron las imágenes satelitales de distintas fechas (1986, 1996, 2006 y 2016), para llevar a efecto esta investigación, se extrajo información geográfica de la base de datos del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), dichas imágenes satelitales fueron sometidas a un pre procesamiento (correcciones geométricas y atmosféricas) y procesamiento (recopilación de información, ajuste de imágenes clasificación supervisada, y reclasificación), los resultados de clasificación fueron validados mediante el índice estadístico Kappa dando unos valores de 0,83 para el año 1986, 0,84 para el año 1996, 0,85 para el año 2006 y 0,86 para el 2016. En el cálculo de los cinco indicadores del Subsistema Natural se utilizó la información del cambio de uso de suelo, además de fórmulas matemáticas y superposición de capas en formato shp. Para la elaboración de los lineamientos estratégicos se consideró tres factores: indicadores con mayor tasa de cambio, Planes de Ordenamiento Territorial de los cantones en estudio y el criterio técnico del investigador.

Los resultados demostraron que en los tres cantones la cobertura de bosque ha sido la mayor modificada principalmente por la extensión de la frontera agrícola y pastizales, es así que, en el año 1986 los cantones de Celica, Pindal y Puyango poseen una cobertura de bosque mayor al 60%, sin embargo, en el periodo entre 1986 y 1996 existe una alta tasa de deforestación en los tres cantones, siendo Pindal el más deforestado con el -19,11%, por otra parte, el cantón con mayor cobertura de bosque hasta el 2016 es Puyango con el 51,17%, mientras que el cantón con mayor grado de antropización en el año 2016 es Celica con 38,83 %

Palabras clave: Subsistema Natural, Estadístico Kappa, Ordenamiento Territorial

ABSTRACT

This research identified the change in land used between 1986 and 2016 of the Cantons Celica, Pindal and Puyango of Loja Province, where five indicators of the Natural Subsystem were obtained and thus strategic guidelines of territorial ordering could be made. The research presented a longitudinal non-experimental design because satellite images of different dates were studied (1986, 1996, 2006 and 2016), to carry out this research, geographical information was extracted from the U.S. Geological Survey (USGS) database, such satellite images were subjected to pre-processing (geometric and atmospheric corrections) and processing (collection of information, adjustment of images supervised classification, and reclassification), the classification results were validated by the Kappa statistical index giving values of 0.83 for the year 1986, 0.84 for the year 1996, 0.85 for the year 2006 and 0.86 for 2016. Soil use change information was used in the calculation of the five Indicators of the Natural Subsystem, as well as mathematical formulas and layer overlay in shp format. For the elaboration of the strategic guidelines three factors were considered: indicators with higher exchange rate, plans of Territorial Planning of the cantons under study and the technical criterion of the researcher. The results showed that forest cover in the three cantons has been the largest modified mainly by the extension of the agricultural border and grasslands, thus, in 1986 the cantons of Celica, Pindal and Puyango have forest cover greater than 60%, however, in the period between 1986 and 1996 there is a high rate of deforestation in the three cantons being Pindal the most deforested with -19.11%, on the other hand, the canton with the highest forest cover until 2016 is Puyango with 51.17%, while the canton with the highest degree of anthropization in 2016 is Celica with 38.83%

Keywords: Natural subsystem, Kappa Statist, Territorial Ordering

1. INTRODUCCIÓN

Los cambios de uso de suelo tienen efectos en la destrucción de hábitat debido a que causan fragmentación y por ende también se pierde gran riqueza de biodiversidad, además el cambio de uso de suelo es una de las principales actividades que causan el deterioro ambiental (Lázaro y Tur, 2018).

El cambio de uso de suelos en gran parte es producto de la deforestación, lo que favorece la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI), además el cambio de usos de suelo está relacionado con actividades de silvicultura, y por efecto se emite aproximadamente 1,5 Gt de carbono (C) cada año, además el cambio de uso de suelo tiene efectos en la pérdida de la capa de ozono, debido a que se libera gas metano, (CH_4) óxido nitroso (NO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x) y monóxido de carbono (CO) (Lázaro y Tur, 2018).

La provincia de Loja integra el conjunto de las cinco provincias pioneras en actividades agropecuarias del Ecuador, convirtiéndola en la única de la Región Sierra con mayor participación (Aguinsaca, 2014), y el cantón Loja representa el 7,64% de la superficie en actividades agrícolas a nivel de todo el Ecuador (INEC, 2011).

Dentro de los cambios de uso de suelo por modificaciones antrópicas están las actividades agrícolas, las mismas representan en el cantón de Celica 17,8 %, en Pindal 62,55% y Puyango 8,59%, estos porcentajes están dados en función a la superficie total del territorio de cada cantón (Cueva, 2012).

A pesar de innumerables esfuerzos actualmente no se ha podido solucionar los problemas territoriales, debido a que no se ha establecido una herramienta eficaz de ordenamiento territorial, la cual incorpore elementos necesarios en un mismo sistema que permita cumplir las metas de desarrollo sostenible (CEPAL, 2011; Chiarella y Yakabi, 2016).

Además, los GADS Cantonales de Celica, Pindal y Puyango no han logrado efectuar un adecuado Ordenamiento Territorial puesto que no se ha considerado, ni se ha realizado análisis de los indicadores del subsistema natural (Cueva, 2012).

Por lo tanto, el presente estudio pretende aplicar la detección de cambios de uso de suelo de los cantones Celica, Pindal y Puyango mediante imágenes satelitales durante un periodo de 30 años, donde se logrará conocer los problemas, potencialidades y tendencias históricas de degradación que disponen los mencionados cantones para poder realizar un manejo sostenible de los recursos naturales y recuperar ecosistemas degradados. De esta forma se contribuirá a los GADS cantonales a la toma de decisiones referentes al Ordenamiento Territorial, estrategias de conservación y mejoramiento de políticas u ordenanzas, en ese contexto mediante la aplicación de análisis de imágenes satelitales y sistemas de información geográfica (SIG) ayudaran a responder la pregunta central de investigación ¿Cómo los cambios de uso de suelo han modificado el Subsistema Natural de los cantones de Celica, Pindal y Puyango ?.

La presente investigación se efectuó planteándose como objetivo general “Establecer el cambio de uso de suelo del periodo 1986-2016 mediante técnicas de teledetección para el cálculo de indicadores del subsistema natural como parte del ordenamiento territorial de los cantones Celica, Pindal y Puyango de la provincia de Loja ”, para lo cual se plantearon los objetivos específicos siguientes:

- Identificar los cambios de usos de suelo de los cantones de Celica, pindal y Puyango suscitados en el periodo 1986 -2016.
- Calcular los indicadores de tasa de deforestación, tasa de cambio en vegetación y uso del suelo, relación cobertura natural/cobertura antrópica, extensión de frontera agrícola, áreas naturales protegidas en base a los cambios de uso de suelo.

- Sugerir lineamientos estratégicos de carácter permanente para la conducción del proceso de Ordenamiento Territorial de los cantones Celica, Pindal y Puyango basados en los Indicadores del Subsistema Natural.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN EN EL CAMBIO DE USO DE SUELOS

El uso de tecnologías como los Sistemas de Información Geográficos (SIG) y Teledetección son esenciales para la caracterización cartográfica de cualquier tipo de suelos, los sensores remotos satelitales han surgido como una herramienta fundamental para generar información acerca del uso del suelo, que van escala local hasta la global, con ello se puede elaborar una planificación óptima del uso de la tierra, contribuyendo de esta manera la toma de decisiones que aporten al tan anhelado desarrollo sostenible (Guillen *et al.*, 2015).

En ese contexto, la información espacio-temporal generada sobre el uso de suelo mediante técnicas como la teledetección han aumentado debido a la fiabilidad y al costo que representan (Guillen *et al.*, 2015). Además, el uso de la teledetección espacial facilita que las imágenes satelitales puedan ser procesadas mediante SIG, para determinar los cambios acontecidos en el territorio en un tiempo dado, de igual forma la aplicación de técnicas de teledetección conjuntamente con SIG, han sido un importante avance para la extracción tanto de clases espectrales como clases informacionales de una determinada zona de estudio (Cárcamo y Rejas, 2011).

2.1.1. SITUACIÓN GENERAL DEL CAMBIO DE USO DE SUELO EN EL ECUADOR

La extensión de superficie de pastos y el uso de suelo para la agricultura en terrenos no aptos son algunos de los problemas ambientales más latentes en el Ecuador debido a la creciente demanda de productos lácteos y cárnicos, por otro lado en la Sierra ecuatoriana las políticas y la facilidad de otorgar minifundio y latifundios estimularon el cambio de uso de suelo en el Ecuador, además, la producción de cultivos básicos tiene una gran demanda en ascenso en la que se ve afectado el suelo por sobre explotación y por ende sufre procesos erosivos (Gondard *et al.*, 1988).

No obstante, la región Costa es una de las más preocupantes debido a que produce cultivos de demanda mundial, la misma que está en constante aumento, esto conlleva a la modificación en el uso de suelo para fines de producción de agroindustria, producción pecuaria y no pecuaria como es el caso de las piscinas camaroneras (Veloza, 2017).

Por otra parte, grandes extensiones de terreno han sido modificadas por tierras con fines de ganadería extensiva, esta modificación se dió debido a que los latifundistas podían ser expropiados que sus terrenos si no desarrollaban alguna actividad agrícola, puesto que la ganadería extensiva les permitía conservar sus tierras con poca gestión e inversión (Gondard *et al.*, 1988).

Programas de la reforma agraria y colonización aplicados en los últimos años han provocado que el área de cultivo se extienda, por ejemplo, en el año de 1972 la superficie de cultivo alcanzo a 3.7 millones de hectáreas mientras que en al año de 1982 aumentó a 5.2 millones de hectáreas de uso agropecuario, afectando principalmente la región Costa (Esmeraldas), Amazonía y en latifundistas de la región Sierra (Gondard *et al.*, 1988).

El suelo a nivel de ecosistema no puede ser estudiado de forma distinta de los factores con los que pasa en constante interacción, independientemente estos sean de origen antrópico o no, el suelo es un sistema profundo de interacciones, incluso en condiciones naturales está en transformación constante, en ese contexto, el suelo en el Ecuador se ha visto notablemente afectado por factores ambientales ambientales como el crecimiento poblacional, calentamiento global, exageradas actividades antrópicas y desequilibrios socioeconómicos que son los principales potenciadores de los problemas ambientales, siendo el suelo el principal afectado (Veloza, 2017).

En las décadas de 1980 y 1990 se elaboraron estudios sistemáticos sobre la erosión y cambio de uso de suelo en el Ecuador, donde se concluyó que la región interandina existe un mayor cambio de uso de suelo debido a la diversidad de ecosistemas y composición de los suelos (FLACSO *et al.*, 2008). Por otra parte los 25 ecosistemas que integran el Ecuador se encuentran amenazados constantemente en particular por el uso agrícola debido a que representa el 30% de la superficie de todo el país (Ministerio del Ambiente *et al.*, 2008).

Los problemas de degradación por cambio de uso de suelo se observan con mayor magnitud en las regiones: Amazónica, Interandina y Costa, además se estima que el 47.9% de suelo de toda la superficie del Ecuador son vulnerables a erosión especialmente por actividades agrópecuarias. El potencial problema de erosión se sintua en la cordillera de los Andes Ecuatorianos en la que existen pendientes de 50 y 70% donde su condición natural ha sido afectada por la eliminación de la cobertura vegetal por un uso antrópico (MAE *et al.*, 2008).

La degradación del suelo por el inadecuado uso es 90. 000 has es decir el 0.33% de toda la superficie del Ecuador, presentándose con mayor magnitud en las frontera con Perú

que corresponden a áreas secas semidesérticas del litoral (Esmeraldas, El Oro, Manabí y parte del Guayas) y en los valles secos interandinos en las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha y Loja. (MAE *et al.*, 2008).

2.1.2. ANÁLISIS MULTITEMPORAL PARA IDENTIFICAR EL CAMBIO DE USO DE SUELO

El estudio multitemporal es un análisis de tipo espacial donde se realiza comparación de distintas coberturas de la tierra por medio de imágenes satélite, mapas, o fotografías aéreas (ortofotos) de un mismo lugar pero en distintos periodos de tiempo, de esta forma permite evaluar los diversos tipos de coberturas y cual ha sido su variación tanto de forma cualitativa y cuantitativa durante un periodo de tiempo. El análisis multitemporal integra los métodos mas eficientes para comparar y determinar cambios en cualquier territorio en un varios periodos temporales (Veloza, 2017). Los estudios multitemporales sobre la dinámica de cambio de uso de suelo facilitan comprender el tipo de aprovechamiento y manejo que el ser humano realiza a la naturaleza en un cierto territorio, todo ello facilita información para la planificación territorial (Pineda, 2011).

El procesamiento digital de imágenes satelitales con sus siglas en inglés (DPI) se basa en una serie ordenada de métodos y procedimientos para interpretar y manipular imágenes satelitales, las que están conformadas por píxeles también llamados números digitales, uno de los primeros pasos para procesar imágenes satelitales es la corrección radiométrica y geométrica de la imagen con la finalidad de eliminar el ruido. Las alteraciones radiométricas son producto de valores de brillo de los píxeles y corresponden a interferencias atmosféricas (Guillen *et al.*, 2015).

El cambio de uso de suelo se refiere a la separación que puede ser total o parcial de cierta vegetación de zonas forestales para utilizarlos en cualquier actividad producida por el ser

humano, este concepto hace referencia a que el cambio de uso de suelo es el producto de actividades socioeconómicas que se suscitan en cierta cobertura vegetal realizada por los seres humanos en un periodo de tiempo (Pineda, 2011).

Para identificar el cambio de uso de suelo se aplica la clasificación de imágenes satelitales, para ello existe varios tipos de clasificaciones entre las más utilizadas esta la clasificación supervisada y la no supervisada, para realizar cualquiera de los dos métodos es necesario generar áreas de entrenamiento que consisten en la digitalización de un grupo de clases espectrales de áreas homogéneas, que luego servirán para entrenar un algoritmo de clasificación con el que se podrá asignar una clase por medio de la evaluación de los niveles digitales (ND) de la imagen satelital (Silva *et al.*, 2011).

La clasificación supervisada se inicia de un grupo de clases ya conocido, es decir es necesario ir al lugar in-situ a coleccionar las clases espectrales, las que deberán conocerse en función al lugar o terreno que se va estudiar, con la finalidad que las clases sean las definitivas cuando se vaya a digitalizar las áreas de entrenamiento (Silva *et al.*, 2011).

Por otra parte la clasificación no supervisadas se la aplica sin ningún conocimiento previo del área de estudio, para esta clasificación se organizan píxeles donde sus valores sean similares, los píxeles organizados o agrupados se denominan clases espectrales, que corresponden aun un tipo de cobertura del área de estudio o terreno (Pineda, 2011). Además esta clasificación se basa en la búsqueda automática de grupos de píxeles con valores similares dentro de las imágenes satelitales, una desventaja de esta clasificación es que al no tener conocimiento del lugar las respuestas espectrales no pueden ser tan acertadas, pero esto se lo corrige mediante algoritmos de clasificación como: mínima distancia, mínima distancia Mahalanobis, máxima probabilidad y empleando redes neuronales (Silva *et al.*, 2011).

Para darle fiabilidad a la clasificación no supervisada se utiliza la matriz de confusión o matriz de error, la cual se elabora en base a la imagen satelital con N celdillas clasificadas y en M clases, se ordena sobre las columnas las clases reales, es decir, lo real del terreno en estudio, y en las filas se ordena las unidades del mapa o clases, luego se generará valores en la diagonal que demuestran el número de clasificaciones elaboradas de forma correcta y los valores que aparezcan fuera de la diagonal son fugas o migraciones, para descifrar la matriz de confusión existen dos tipos de errores; el error de omisión o también llamado riesgos de usuario que son los elementos que pertenecen a una clase y no están inculidos en ella y por error están incluidos en otra clase, asimismo existe el error de comisión o riesgos del productor que trata sobre los valores que no pertenecen a una clase en especial y aparecen en ella, se ubican sobre la diagonal en la matriz de confusión (Sánchez, 2016).

Con los valores obtenidos de la matriz de confusión se genera el estadístico kappa con el que se podrá definir el grado de concordancia entre la clasificación realizada y la realidad, para ellos se aplica una fórmula matemática (Ecuación 1), y como resultado final otorgará valores de aceptación que van de 0 a 1, los valores que se encuentran más cercanos a la unidad significa que la validación es casi perfecta y si son cercanos a cero significa que la validación fue nula (Cerde y Villarroel, 2008).

$$k = \frac{n \sum_{i=1,n} X_{ii} - \sum_{i=i,n} X_{i+} X_{+i}}{n^2 - \sum_{i=i,n} X_{i+} X_{+i}} \quad [\text{Ec. 1}]$$

Donde

n = es el tamaño de la muestra

X_i = el acuerdo observado

$(X_{i+}X_{+i})$ = producto de los marginales

I = acuerdo esperado en cada categoría

2.2. INDICADORES DEL SUBSISTEMA NATURAL Y SU IMPORTANCIA PARA EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL.

El medio físico o también llamado subsistema natural es el que está integrado por el territorio juntamente con sus recursos, está conformado por una serie de procesos y elementos del medio natural (Palacio *et al.*, 2004).

Los indicadores del Subsistema Natural permite conocer el proceso de funcionamiento de dicho Subsistema Natural, e identifica problemas y potencialidades del cualquier territorio. Por otra parte al elaborar estudio de orientados al Ordenamiento Territorial (OT) se integra tres subsistemas: Subsistema Natural, Subsistema Económico y Subsistema Urbano-regional, siendo el Subsistema Natural el principal componente de planificación del OT (Palacio *et al.*, 2004).

El OT incluye características conceptuales y metodologías de sustentabilidad, asimismo el Subsistema Natural permite definir indicadores y criterios que faciliten la caracterización de un territorio y el estado de sus recursos naturales; al definir criterios se puede definir elementos específicos y condiciones para evaluar la sostenibilidad, asimismo al definir indicadores permite medir cuantitativamente por medio de tasas, cocientes e índices; y medir cualitativamente es decir por criterio, en ese sentido los Indicadores de

Subsistema Natural muestran tendencias y condiciones de los Recursos Naturales de cualquier territorio e ahí su gran importancia para la planificación territorial (Palacio *et al.*, 2004).

El ordenamiento ambiental del territorio es un instrumento que forma parte de la política de ordenamiento territorial, además, es un proceso técnico-político orientado a la definición de criterios e integra indicadores ambientales para la asignación de usos territoriales y la ocupación ordenada del territorio (Ministerio del Ambiente de Perú, 2016).

2.2.1. INDICADORES DEL SUBSISTEMA NATURAL

Los indicadores de primera generación corresponden a los que habitualmente reciben el nombre de indicadores ambientales o de sostenibilidad ambiental. Esta denominación se debe a que su desarrollo se produjo entre los años ochenta y la actualidad, periodo en el que se han diseñado e implementado indicadores ambientales, los cuales, siendo de primera importancia, dan cuenta del fenómeno complejo desde un sector productivo (minería, agricultura, forestal), o bien desde la singularidad o desde un determinado número de fenómenos constitutivos de la complejidad ambiental (Martinez, 2007).

El objetivo del diagnóstico y caracterización del medio físico o subsistema natural en conocer las características naturales del territorio por medio de un inventario además de poder conocer su funcionamiento, con la caracterización del subsistema natural facilita comprender como se está utilizando el territorio, nivel de degradación y amenazas, asimismo se puede valorar el territorio en base a su estado, calidad de patrimonio natural y conservación (Palacio *et al.*, 2004).

Existen algunos indicadores específicos (Tabla 1) para caracterizar el subsistema natural con el objetivo de obtener datos que reflejen las potencialidades naturales, tendencia de

degradación y tasas de cambio de cobertura vegetal y uso del suelo, todo ello tedra como fin aportar al OT de cualquier territorio (Palacio *et al.*, 2004).

Cuadro 1. Indicadores del Subsistema Natural

INDICADOR	DESCRIPCIÓN
Tasa de Deforestación	Este indicador muestra la presión que existe sobre los recursos forestales y es un elemento indispensable para el diagnóstico y la evaluación de la conducta de otras variables como clima, hidrología, suelos, entre otras, además de las variables socioeconómicas.
Tasa de cambio en Vegetación y Uso del Suelo	Muestra las condiciones naturales del territorio, también indica las influencias antrópicas dadas en cierto territorio. Al analizar los distintos cambios que se han dado en la cobertura vegetal producidos por actividades antrópica se genera un elemento primordial para la caracterización del paisaje y disponibilidad de recursos para la diversidad faunística.
Relación cobertura Natural/cobertura Antrópica	Refleja la conexión que existe entre la cobertura del terreno naturales en relación de las cubiertas que son el resultado de actividades antrópicas, consintiendo un acercamiento al grado de impacto global manifestado a través del vínculo cobertura natural / no natural, y es agregado a indicadores de cambio más específicos antes mencionados. Se define como un índice de antropización de las coberturas del terreno.
Extensión de Frontera Agrícola	Muestra el crecimiento de la frontera agrícola en una fase de tiempo específico. Es una manifestación de la presión de las actividades agropecuarias sobre coberturas de terreno naturales y faculta la identificación espacial de áreas particularmente dinámicas que revelan el cambio de cobertura natural.
Áreas Naturales Protegidas	Son áreas dedicadas a la protección y conservación de valores biológicos, con el propósito de restauración, conservación y protección de los bienes y servicios ambientales, para favorecer mejores condiciones ecológicas del entorno y ambientes sanos para la población presente y futura.

Fuente: Palacio *et al* (2004).

2.3. ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE.

El Ordenamiento Territorial (OT) tiene la finalidad de coordinar el uso, aprovechamiento y ocupación del territorio en base a las potencialidades y limitaciones, teniendo presente la gestión de los recursos naturales y las distintas necesidades de la comunidad, asimismo

el OT apoya conjuntamente con políticas a la dinamización económica del sector rural (FAO, 2019). Además, el OT se lo considera como procesos y estrategias de planificación de carácter técnico y político que tiene como fin adecuar a largo plazo la ocupación y uso del territorio, considerando las limitaciones y potencialidades, en ese sentido el OT integra cuatro etapas: Análisis y Diagnóstico territorial, Diseño de escenarios, Formulación del plan y Gestión Territorial (Palacio *et al.*, 2004).

Para un óptima elaboración de la planificación territorial se debe incluir cuatro subsistemas de análisis que son: Subsistema Natural, Subsistema económico, Subsistema social, Subsistema urbano-regional, esto permitirá direccionar el uso sostenible de los recursos tomando en cuenta el aspecto natural, social y económico (Palacio *et al.*, 2004). Por otra parte, uno de los principales retos que enfrentan los espacios urbanos y rurales es mejorar la sostenibilidad consiguiendo un equilibrio del sistema ecológico y con ello mejorar la calidad de vida (Paruelo *et al.*, 2014). Asimismo, el término desarrollo está vinculado al hecho de acrecentar o dar incremento a algo de orden físico, intelectual o moral, así como también al concepto de progresar o crecer económica, social o culturalmente. El término desarrollo está enfocado a dar incremento que puede ser físico, intelectual o moral o también significa crecer de forma económica y sociocultural (Martínez y Tur, 2016).

En la actualidad una correcta planificación territorial es un gran desafío, debido a que muchas veces la resolución de conflictos del uso de la tierra no siempre garantiza un uso del territorio sostenible (Paruelo *et al.*, 2014). Dado que, la velocidad de los cambios globales y sus efectos casi inmediatos sobre el uso de la tierra a escala local y regional hacen necesario poder anticipar los posibles cambios y sus efectos para desarrollar planes eficientes de manejo y conservación de los recursos naturales (Martínez y Tur, 2016).

Sin embargo según modelos globales, la expansión de la agricultura continuará en los próximos 50 años, debido fundamentalmente al incremento proyectado de un 50% de la población mundial y con ello la demanda de alimentos y biocombustibles, es por ello la necesidad de una construcción de escenarios espacialmente explícitos es una forma de planificar el uso del suelo orientado a la conservación y el manejo sostenible de los agroecosistemas en un contexto de alta complejidad e incertidumbre (Paruelo *et al.*, 2014).

3. METODOLOGÍA

3.1. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio esta conformada por los cantones de Celica, Pindal y Puyango pertenecientes a la provincia de Loja, sus límites son: al Norte Las Lajas de la provincia de El Oro y parte de Tumbes que pertenece a Perú, al sur con los cantones de Macará parte de Sozoranga, al Este con el canton Paltas y al Oeste con el canton Zapotillo, el área total que poseen los tres cantones es de 136 079,64 Ha (Figura 1). Para definir las coordenadas geográficas de cada cantón (Tabla 1) se tomó como referencia las cabeceras cantonales.

Tabla 1. Coordenadas geográficas por cantón

Cantón	Cabecera cantonal	Coordenadas geográficas
Puyango	Alamor	Latitud: 4'02'S
		Longitud: 80'01'W
Pindal	Pindal	Latitud: 4°06'58"S
		Longitud: 80°06'27" W
Celica	Celica	Latitud: 4°06'09"S
		Longitud: 79°57'16" W

Fuente: Elaboración propia

El cantón Celica cuenta con una población de 14 468 habitantes, posee varios tipos de climas como: lluvioso y frío en la cabecera cantonal y la parroquia de Sasanamá; templado y húmedo en Cruzpampa y San Juan de Pózul; cálido y cálido seco en las parroquias de Sabanilla y Teniente Maximiliano Rodríguez. La temperatura promedio está entre 15 y 24 °C, con una precipitación promedio anual de 1100 mm, asimismo posee dos tipos de climas Ecuatorial Megatérmico Seco y Ecuatorial Mesotérmico Semi-húmedo (MAE, 2012).

El cantón Pindal cuenta con una población de 9 626 habitantes, el clima es heterogéneo dependiendo de las formaciones orográficas de la zona, presenta dos tipos de clima: Ecuatorial Mesotérmico Semi-húmedo en las parroquias de Chaquinal y 12 de Diciembre, y el clima Tropical mesotérmico Seco en las parroquias de Pindal y Milagro. La temperatura promedio está entre los 18 y 23°C, con una precipitación promedio anual de 1200 mm (MAE, 2012).

El cantón Puyango cuenta con una población de 15 513 habitantes, posee dos tipos de climas, la parte baja del cantón posee un clima Tropical Megatérmico seco; además la parte alta tiene un clima Ecuatorial mesotérmico Semi-húmedo, la temperatura promedio

oscila entre 12 y 18°C, con una precipitación promedio anual de 1300 mm, siendo los meses de mayor precipitación febrero, marzo y abril (MAE, 2012).

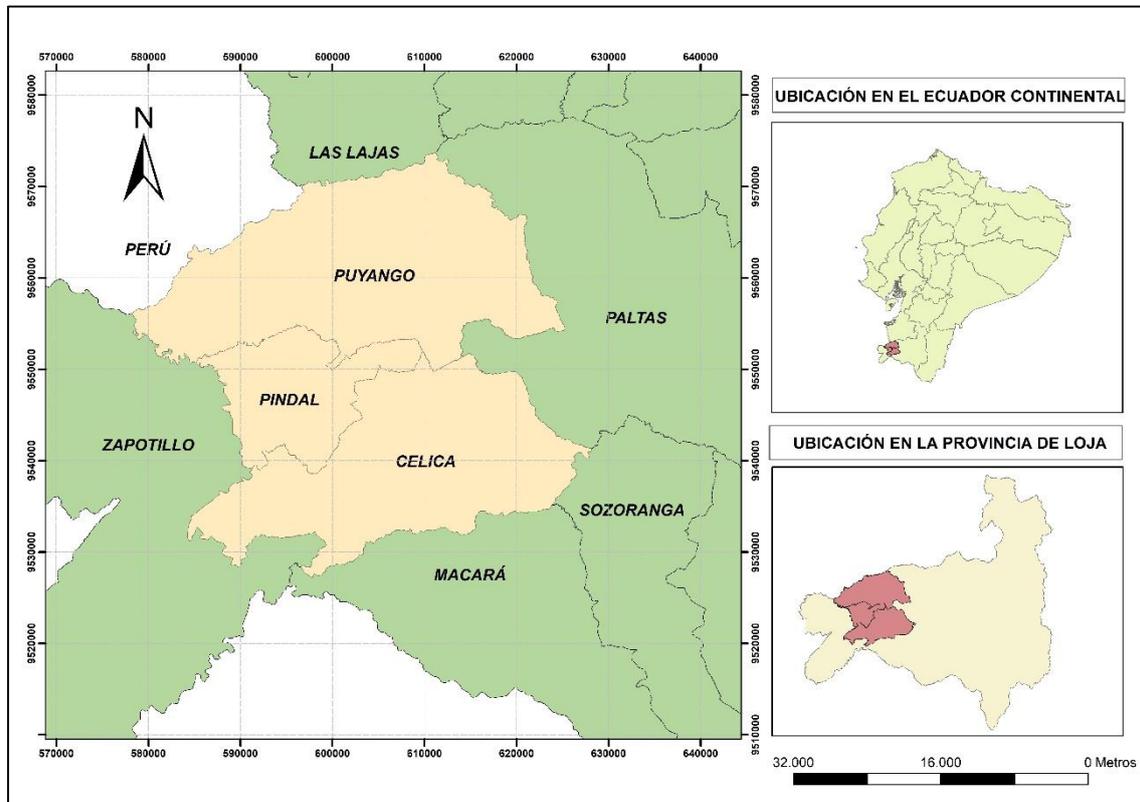


Figura 1. Mapa de Ubicación de área de estudio
Fuente: Elaboración propia

3.2. DISEÑO DEL ESTUDIO

El proyecto de investigación es descriptivo longitudinal debido a que se identificó y detalló los cambios de usos de suelo que se han suscitado en los años de 1986, 1996, 2006 y 2016 de los cantones de Celica, Pindal y Puyango, mediante técnicas de teledetección. La población de estudio son los tres cantones tomando como muestra los píxeles considerados en las áreas de entrenamiento para la clasificación de imágenes.

3.3. IDENTIFICACIÓN DEL CAMBIO DE USO DE SUELO

Para la corrección de las imágenes satelitales y para identificar el cambio de uso de suelo se utilizaron los programas GRASS 7.2.0 y QGIS 3.10, cabe mencionar que el programa GRASS 7.2.0 se lo trabajó en sistema operativo LINUX UBUNTU 20.04.

Como primer paso, se partió con la recopilación de información, para ello se descargó las imágenes satelitales Landsat que cubran toda toda área de estudio, las cuales correspondieron a los años de 1986, 1996, 2006 y 2016 del sitio web de “science for changing world”, <http://glovis.usgs.gov/>, por sus siglas en inglés (USGS), es importante señalar que se descargó dos paquetes de imágenes satelitales para los años de 1996, 2006, y 2016 debido a que una sola imagen no contenía toda el área de estudio. Además se descargó de la página del MAE por medio del Mapa Interactivo Ambiental la información correspondiente a cobertura vegetal y uso de suelo en formato shp de los cantones Celica, Pindal y Puyango.

Para analizar el porcentaje de nubes, problemas de píxeles perdidos y bandeamiento se cargó todas las imágenes satelitales al programa QGIS 3.10.3, ya analizadas las imágenes satelitales se procedió a cargarlas en el programa GRASS 7.2.0, para efectuar correcciones atmosféricas, radiométricas y geométricas en cada imagen. Para ello se ingresó la información de área de estudio (shp) y cada una de las bandas de las imágenes satelitales (ráster), para ingresar información en formato shp se aplicó el comando “*v.in.gdal*” y para ráster con el comando “*r.in.gdal*”.

Asimismo, para corregir algunas anomalías de las imágenes satelitales se aplicó REALCES, mediante la combinación RGB para cada imagen satelital, para ello se escogió las bandas 3,2,1 correspondientes al sensor TM Y ETM+, y para el sensor OLI se

usó las bandas 4,3,2, todo este proceso se lo realizó mediante los comandos *r.composite* y *r.colors*, aplicados en la terminal de GRASS 7.2.0.

Ya corregidas las imágenes satelitales se pasó a la Clasificación digital, para ello se procedió a realizar la clasificación supervisada mediante la selección de las áreas de entrenamiento, las mismas que se efectuarón basadas las categorías definidas por el Ministerio del Ambiente (Tabla 2), considerando las de primer y segundo nivel, en este caso se agregó un tercer nivel denominado Nivel de Trabajo que sirvió para asignar la fase de entrenamiento de las imágenes (Chuvienco, 2008).

Tabla 2. Clase de coberturas de uso suelo establecida por el Ministerio del Ambiente

NIVEL I	NIVEL II	NIVEL DE TRABAJO
Bosque	Bosque nativo	Bosque
	Plantación forestal	
	Vegetación arbustiva y herbácea	
Tierra Agropecuaria	Cultivo anual	Agrícola
	Cultivo semipermanente	
	Cultivo permanente	
	Mosaico agropecuario	
	Pastizal	
Cuerpo de agua	Natural	Agua
	Artificial	
Zona antrópica	Área poblada	Zona Antrópica
	Infraestructura	
	Vías	
Otras Tierras	Área sin cobertura vegetal	Suelo descubierto
	Glaciar	
	Nubes	

Fuente: MAE (2012)

Para las áreas de entrenamiento se utilizó el programa QGIS 3.10.3 mediante una capa de polígonos trazados de forma manual sobre la imagen satelital, que contiene su respectiva tabla de atributos, con un código y una característica conforme al tipo de cobertura visualizada, para identificar las diferentes coberturas se aplicó combinación de bandas (RGB) y (NDVI) (Olaya, 2011).

Los shapes generados de las áreas de entrenamiento se los ingreso en el programa GRASS 7.2.0, donde se los convirtió en formato ráster con el comando "*v.to.rast*", estos raster sirvieron posteriormente para generar el archivo de respuesta espectral, que se lo obtuvo formando grupos y subgrupos con las bandas de la imágenes de los años 1986, 1996, 2006 y 2016 aplicando el algoritmo "*i.group gr*".

Luego se aplico en GRASS la clasificación supervisada por los métodos de Máxima Secuencialidad a Posteriori con el algoritmo "*i.gensigset gr*", "*i.smap gr*" y Máxima Verosimilitud los algoritmos "*i.gensigset gr*", "*i.smap gr*"; en estos dos métodos se analizó el que tenga mejor homogeneidad en cuanto a las categorías de clasificación, el método seleccionado sirvió para la identificación y cuantificación de uso de suelo correspondientes a cada año de estudio. Una vez seleccionada la imagen se procedió a exportarla en formato raster con el comando "*r.out.gdal input*" en la terminal de GRASS 7.2.0.

La imagen exportada se la cargó en QGIS 3.10.3 donde se validó la clasificación mediante la matriz de confusión (Tabla 4), ya validada la clasificación se efectuó la cuantificación de las diferentes coberturas de uso de suelo y estos datos que fueron organizados en una matriz (Tabla 3), finalmente se generaron los mapas de uso de suelo de los cantones de Celica, Pindal y Puyango de los años 1986, 1996, 2006 y 2016.

Tabla 3. Matriz utilizada para cuantificación de coberturas y uso del suelo

N°	Uso del suelo	Periodo 1		Periodo 2		Periodo n	
		Ha	%	Ha	%	Ha	%
1	Bosque						
3	Vegetación Arbustiva						
4	Agrícola						
5	Pastizal						
6	Vegetación arbustiva						
7	Otros Usos	P1	$\left(\frac{P1}{\sum P1}\right) * 100$	P2	$\left(\frac{P2}{\sum P2}\right) * 100$	Pn	$\left(\frac{Pn}{\sum Pn}\right) * 100$
8	Nubes						
Total		\sum Periodo 1		\sum Periodo 2		\sum Periodo n	

Nota: La columna de Periodo n hace referencia a datos que pueden ser obtenidos de la clasificación supervisada de cualquier año, para el presente estudio los datos serian representados con P1:año 1986, P2: año 1996, P3: año 2006 y P4: año 2016.

Fuente: Veliz (2015)

Como último paso se procedió a comprobar la la clasificación realizada mediante la aplicación de una matriz de confusión para obtener el Coeficiente Kappa (Santos y Dutra, 2005). La matriz de confusión se realizó por medio de una comparación entre los resultados obtenidos de la clasificación de las imágenes satelitales y la realidad, para ello se utilizó ortofotos e información geográfica secundaria en formato shp correspondiente al uso de suelo de los años 1986, 1996, 2006 y 2016 (Figura 2).

Para efectuar la comparación se realizó un muestreo de las cuatro imágenes clasificadas, para ello se tomó 100 puntos de forma aleatoria en las imágenes, estos puntos fueron generados mediante el programa QGIS 3.10.3.

Los resultados obtenidos se los evaluó mediante la matriz de confusión (Tabla 4) y el índice Kappa (Ecuación 1) sirvió para rechazar o aceptar la clasificación realizada acerca del uso de suelo, los valores de aceptación van de 0 a 1, los valores que se encuentren más cercanos a la unidad significa que la clasificación fue casi perfecta y si por el

contrario están cercanos a cero significa que la clasificación fue nula (Cerdeja y Villarroel, 2008).

Tabla 4. Matriz de confusión

\	Real	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase n	Total	Exactitud	Error
Clasificada							usuario	comisión
Clase 1		X_{11}				X_{1+}	X_{11}/ X_{1+}	$1-X_{11}/ X_{1+}$
Clase 2			X_{22}			X_{2+}	X_{22}/ X_{2+}	$1-X_{22}/ X_{2+}$
Clase 3				X_{33}		X_{3+}	X_{33}/ X_{3+}	$1-X_{33}/ X_{3+}$
Clase n					X_{nn}	X_{n+}	X_{nn}/ X_{n+}	$1-X_{nn}/ X_{n+}$
Total		X_{+1}	X_{+2}	X_{+3}	X_{+n}	ΣX_{ij}		
Exactitud		X_{11}/ X_{+1}	X_{22}/ X_{+2}	X_{33}/ X_{+3}	X_{nn}/ X_{+n}			
Error omisión		$1-X_{11}/ X_{+1}$	$1-X_{22}/ X_{+2}$	$1-X_{33}/ X_{+3}$	$1-X_{nn}/ X_{+n}$			

Fuente: Chuvieco (2008)

$$k = \frac{n \sum_{i=1,n} X_{ii} - \sum_{i=i,n} X_{i+} X_{+i}}{n^2 - \sum_{i=i,n} X_{i+} X_{+i}} \quad [\text{Ec.1}]$$

Donde

n = es el tamaño de la muestra

X_i = el acuerdo observado

$(X_{i+} X_{+i})$ = producto de los marginales

i = acuerdo esperado en cada categoría

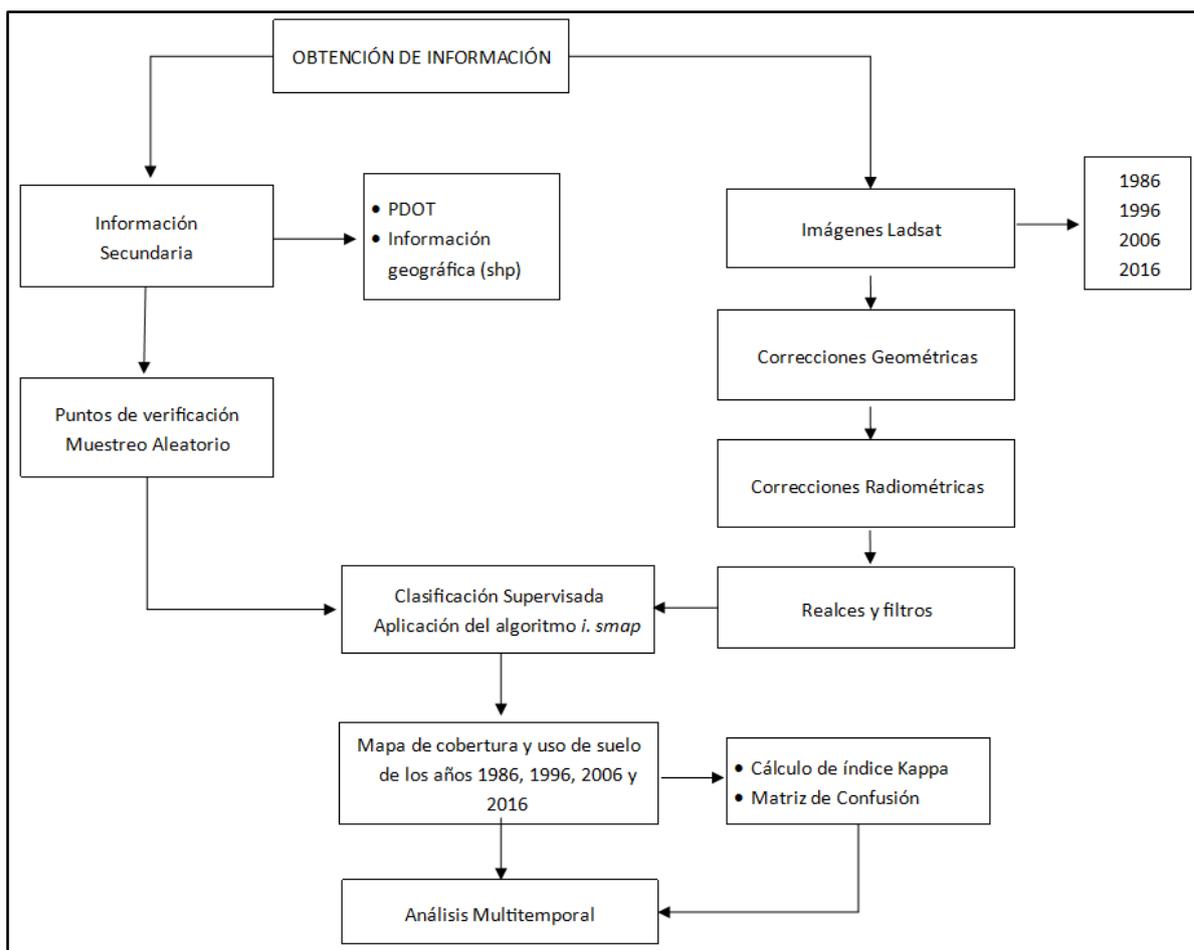


Figura 2. Proceso metodológico utilizado para identificar el cambio y uso de suelo
Fuente: Adaptado de Chuvieco (2008)

3.4. CÁLCULO DE INDICADORES DEL SUBSISTEMA NATURAL

Se los obtuvo a partir de la información generada del cambio de uso de suelo, los indicadores calculados fueron: indicador de Tasa de deforestación, indicador de tasa de cambio en vegetación y uso del suelo, relación cobertura natural/cobertura antrópica, extensión de la frontera agrícola e indicador de áreas naturales protegidas en los cantones de Celica, Pindal y Puyango, cabe mencionar que para obtener los indicadores del Subsistema Natural se adaptó la metodología propuesta por Palacio *et al.*, (2004), aplicada en México.

- **Indicador de Tasa de Deforestación**

Se realizó una reclasificación del raster generado de los usos de suelo correspondiente al año 1986, 1996, 2006 y 2016; a la reclasificación efectuada se le asignó valor de 1 para la cobertura de bosque y 0 para las demás coberturas.

Luego se procedió a restar los nuevos raster reclasificados mediante la aplicación de álgebra de mapas en el programa QGIS 3.10.3 dicha operación se resume en la ecuación 2, la misma que se aplicó entre los años 1986 – 1996; 1996 - 2006; 2006 – 2016 y 1986 – 2016. Una vez realizadas las operaciones se obtuvieron cuatro mapas correspondientes a la tasa de deforestación en los periodos 1986-1996; 1996-2006; 2006-2016 y 1986-2016 a los que se les asignó tres tipos de coberturas: bosque ganado, bosque perdido y bosque conservado, este mismo procedimiento se lo realizó con los tres cantones de estudio (Figura 3).

$$TD = SRB_2 - SRB_1 \quad [Ec.2]$$

Donde:

TD= tasa de deforestación

SRB₁ = ráster reclasificado de la superficie de bosque inicial

SRB₂= ráster reclasificado de la superficie de bosque final

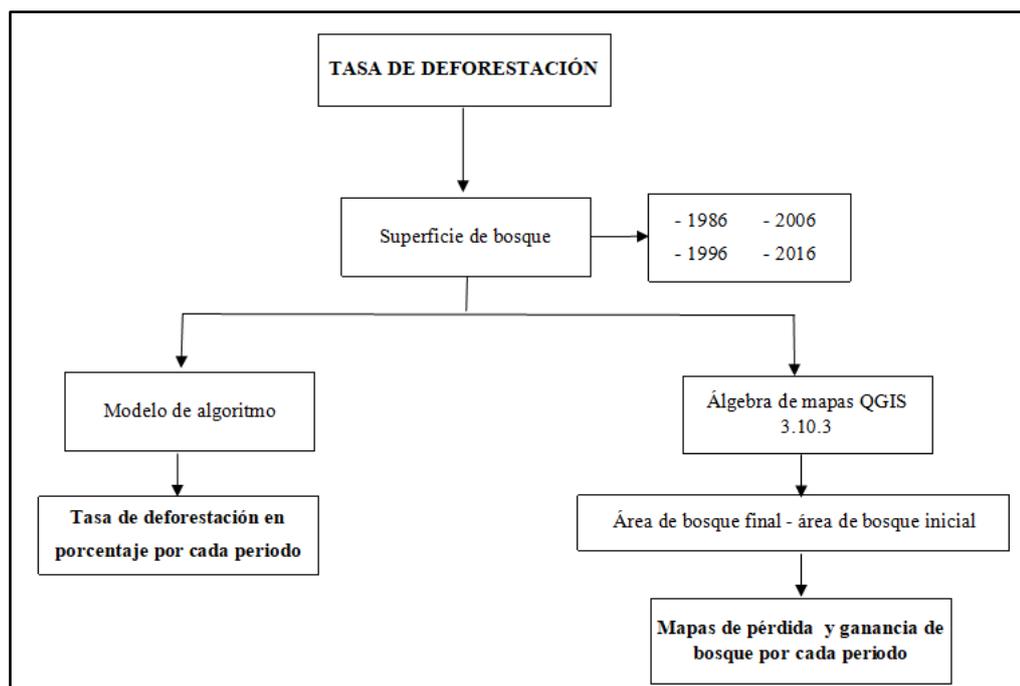


Figura 3. Proceso metodológico para el cálculo de la tasa de deforestación
Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se generó el indicador de tasa de deforestación de los cantones en estudio, para ello se utilizó la ecuación propuesta por Palacio (2004) (Ecuación 3), los valores negativos representan pérdida de cobertura de bosque y los positivos representan ganancia de cobertura de bosque.

$$\delta n = \left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \quad [\text{Ec.3}]$$

Donde:

δn = tasa de cambio (para expresar en %, hay que multiplicar por 100)

S_1 = superficie en la fecha 1

S_2 = superficie en la fecha 2

n = número de años entre las dos fechas

- **Indicador de tasa de cambio en vegetación y uso del suelo**

Se utilizó la fórmula (Ecuación 4) propuesta por Palacio (2004) los valores negativos representan pérdida de cobertura de bosque y los positivos representan ganancia de cobertura de bosque, como producto final se obtuvo la tasa de cambio de uso de suelo por

cantón de los años 1986 - 1996; 1996 - 2006; 2006 - 2016 y 1986 - 2016 tal como lo muestra la metodología en la Figura 4.

$$C = \left(\left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right) * 100 \quad [\text{Ec.4}]$$

Donde:

C = Tasa de cambio

T1 = Año de inicio (con el que se quiere comparar)

T2 = Año actual o más reciente

n = Número de años entre T1 y T2

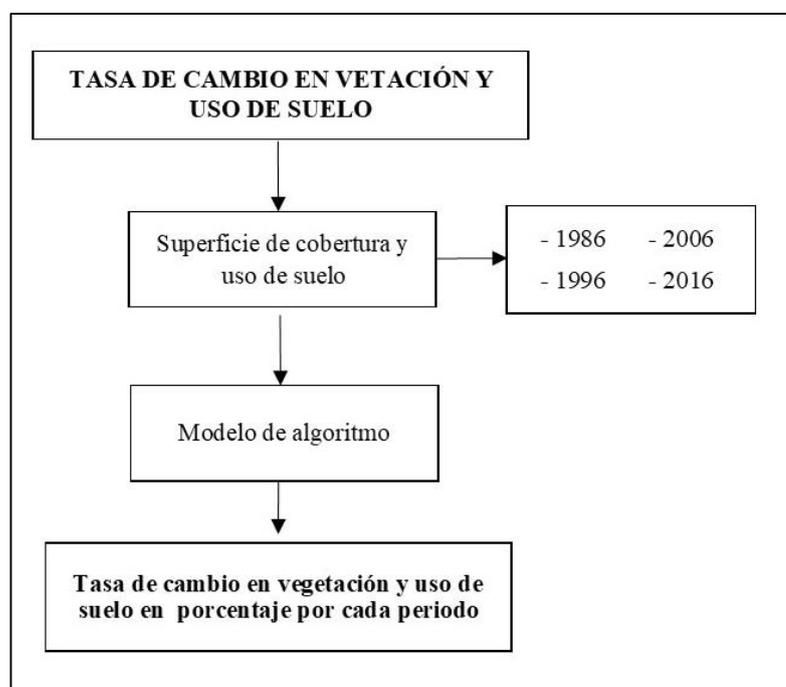


Figura 4. Proceso metodológico para el cálculo de la tasa de cambio en vegetación y uso de suelo.

Fuente: Elaboración propia

- **Relación cobertura natural/cobertura antrópica**

Se adoptó la metodología propuesta por Martínez (2010) respecto al índice de antropización, primero se generó una malla de 10 000 x 10 000 metros utilizando el programa QGIS 3.10.3, esta malla abarcó los tres cantones en estudio, luego se cargo la

información en formato shp de uso de suelo de los años 1986, 1996, 2006 y 2016, tal como lo muestra la figura 5.

Ya con las dos capas superpuestas se procedió a evaluar el grado de antropización del área de estudio, para ello se valoró el uso de suelo por cada celdilla o unidades de análisis, entonces, si el uso de suelo contenido en la celdilla está altamente antropizado se procedió a darle valores cercanos a 1 y si esta escasamente antropizado se le dio valores cercanos al 0. Una vez valoradas todas las celdillas se obtuvo el índice de antropización de los cantones en estudio aplicando la fórmula (Ecuación 5) propuesta por Martínez, (2010).

$$IA = \frac{\Sigma UA}{n} * 100 \quad [Ec.5]$$

Donde:

IA=Índice de antropización

ΣUA = Sumatorio de las unidades de análisis (celdillas)

n = número total de unidades de análisis o celdillas totales

Finalmente se generaron mapas de antropización por cada cantón de los años 1986, 1996, 2006 y 2016, para ello se realizó una reclasificación del raster de los usos de suelo correspondiente cada año de estudio, para efectuar la reclasificación se valoró los usos de suelo de acuerdo a los valores presentados en la tabla 5.

Tabla 5. Valores de antropización de acuerdo al uso de suelo

Uso de suelo	Valor de antropización
Bosque	0,00
Pastizal	0,25
Suelo descubierto	0,50
Agrícola	0,75
Zona Antrópica	1

Fuente: Elaboración propia

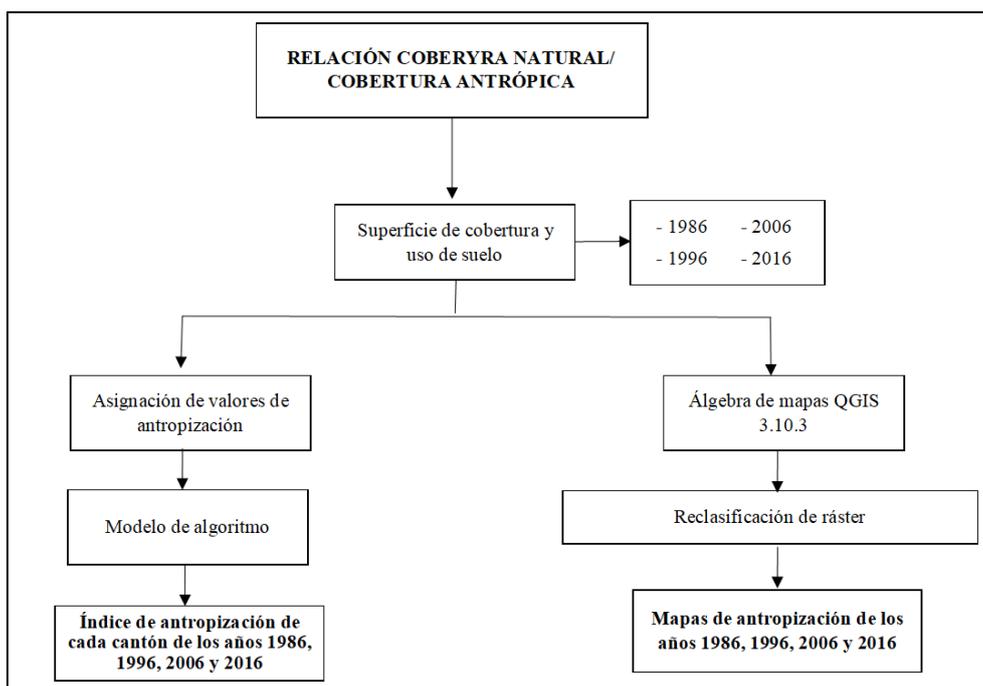


Figura 5. Proceso metodológico para el cálculo del indicador relación cobertura natural/cobertura antrópica.

Fuente: Elaboración propia

- **Extensión de la frontera agrícola**

Se utilizó la información correspondiente a cobertura agrícola de los años 1986, 1996, 2006 y 2016 de los cantones en estudio, donde se cuantificó la superficie agrícola y su porcentaje, tal como lo muestra la figura 6, finalmente se generaron mapas respecto a la extensión de la superficie agrícola por cada año de estudio.

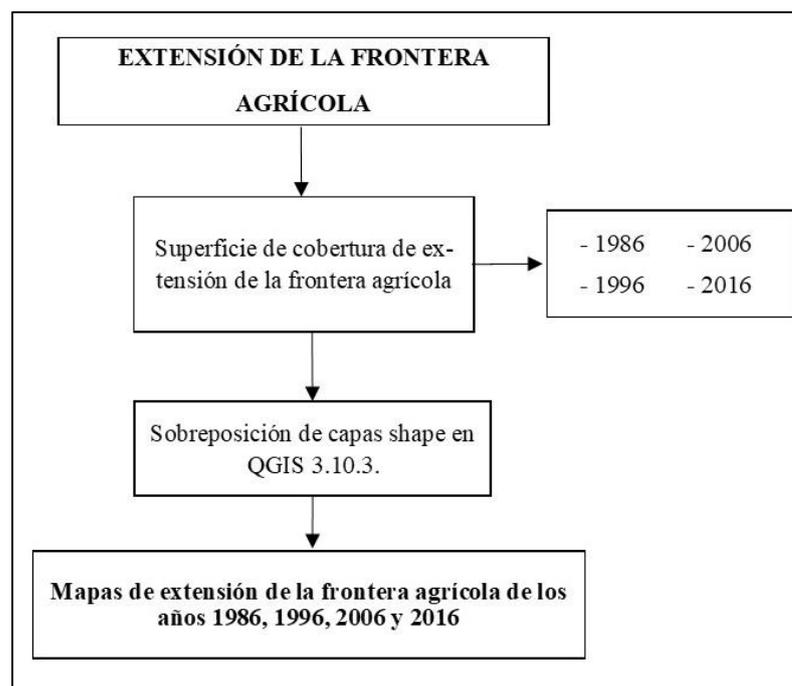


Figura 6. Proceso metodológico para el cálculo del indicador de extensión de la frontera agrícola.

Fuente: Elaboración propia

- **Indicador del Áreas Naturales Protegidas**

Se cuantificó la información de dos tipos de coberturas mediante el programa QGIS 3.10.3, la primera correspondiente a la cobertura de bosque de los cantones Celica, Pindal y Puyango identificada del año 2016 y la segunda son las coberturas de Áreas Naturales definidas por el Ministerio del Ambiente, entre las que se consideró los bosques protectores, patrimonio forestal, áreas protegidas y proyecto socio bosque.

A partir de ello, se realizó una comparación entre la cobertura de bosque del 2016 y las coberturas existente de Áreas Naturales definidas por el MAE. Finalmente se generó mapas comparativos entre las coberturas descritas tal como muestra la metodología en la Figura 7.

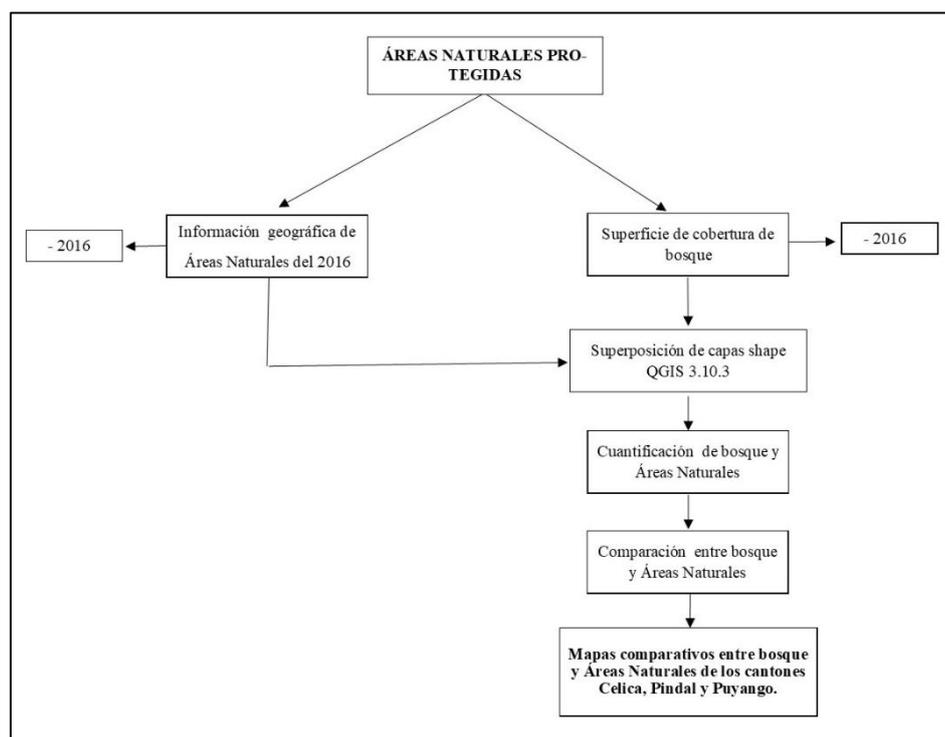


Figura 7. Proceso metodológico para el cálculo del indicador de Áreas Naturales Protegidas
Fuente: Elaboración propia

3.5. LINEAMIENTOS ESTRATÉGICOS

Se elaboró una documentación con lineamientos de mejora y optimización de la gestión del territorio de los cantones de Celica, Pindal y Puyango, basada en la metodología propuesta por el Ministerio del Ambiente de Perú (MINAM), la que se adaptó de acuerdo al área de estudio, además para la elaboración de los lineamientos se tomó como referencia los Planes de Ordenamiento Territorial de los cantones de Celica, Pindal y Puyango, información secundaria de estudios realizados en los cantones y principalmente el criterio técnico del investigador.

Los lineamientos de ordenamiento territorial se los realizó de forma individual por cada cantón, primero se relacionó las coberturas uso de suelo con los resultados de los indicadores del subsistema natural que mayor cambio hayan presentado en el periodo de 1986 a 2016, luego se determinó las posibles causas del porqué el cambio de uso de suelo, cabe indicar que este proceso se lo realizó de manera individual por cada cantón,

posteriormente, en base a la revisión de literatura y los Planes de Ordenamiento Territorial se plantearon lineamientos estratégicos de ordenamiento territorial con la finalidad de mitigar la problemática que existe en cada cantón debido al cambio del uso de suelo.

Cada linemiento abarca una serie de actividades que tendrán que relizarse in-situ con el objetivo de poder gestionar de forma sostenible los diferentes usos de suelo de cada cantón.

Toda la información descrita se la ingresó en una matriz (Tabla 6) que contiene: hallazgo que se refiere a las posibles causas del porqué esa cobertura es la más afectada del cantón; lineamientos estratégicos que se refiere a las accioness que debera considerar los GADs al momento de actualizar o elaborar los PDOT; y entidades ejecutoras que se refiere a las diferentes instituciones gubernamentales que tendrán que aportar para el desarrollo de los lineamientos descritos, por otra parte, las columnas de la matriz corresponden a las diferentes coberturas identificadas como las que mayor modificación ha presentado en el periodo de 1986 a 2016.

Cabe mencionar que por la emergencia sanitaria relacionada con la pandemia mundial del COVID-19 se opto por realizar esta metodología, dado que, incialmente se planificó realizar encuestas en los cantones para tomar datos acerca del cambio de uso de suelo y con ello poder obtener información general más apegada a la realidad en cuestión al porqué el cambio de uso de suelo en los cantones de Celica, Pindal y Puyango.

Tabla 6. Matriz utilizada para la elaboración de Lineamientos Estratégicos de Ordenamiento Territorial

Cantón:	Cobertura 1	Coberura 2	Cobertura N..
Hallazgo			
Lineamientos estratégicos			
Entidades ejecutoras			

Fuente: Elaboración propia

4. RESULTADOS

4.1. IDENTIFICACIÓN DEL CAMBIO DE USO DE SUELO

Se identificó y cuantificó la cobertura vegetal y uso de suelo en los cantones de Celica, Pindal y Puyango ocurridos en el periodo de 1986 - 2016 (Anexo 2, 3 y 4), la información generada sirvió para obtener indicadores del Subsistema Natural de los cantones ya mencionados.

Se observó que la cobertura de bosque tiene una disminución en los tres cantones desde el año de 1986 al 2016, además se identificó que en el cantón Pindal que la cobertura de bosque (Tabla 8) fue de 15 572,52 ha (77,31%) en el año de 1986, y disminuyó en el año 1996 a 1 822,60 ha (9,05%). Asimismo, en el cantón Celica se estimó que la cobertura de suelo descubierto (Tabla 7) fue de 7 158, 85 ha (13,75%) en el año de 1986, y para el año 1996 aumentó a 35 543,50 ha (68,26%), mientras en el cantón Puyango la cobertura de bosque (Tabla 9) fue de 41 909,13 ha (65,77%) en el año de 1986, y disminuye en el año 2016 a 32 605, 75 ha (51,17%).

Se determinó que los cantones con mayor incremento de cobertura agrícola desde 1986 a 2016 son Celica, dado que la cobertura agrícola en 1986 fue de 6 542,83 ha (12,57 %) y en para el año 2016 incrementó a 12 184,26 ha (23,40%) y el cantón Puyango ya que en

1986 la superficie agrícola fue de 8 745, 34 ha (13,76 %) y para el año 2016 aumenta a 13 087,29 ha (20,54 %).

En los valores del estadístico Kappa (Tabla 10) generados mediante las matrices de confusión (Anexo 4, 5, 6 y 7) se calculó que el menor valor fue de 0,83 en el año de 1986 y se determinó el valor más alto de 0,86 corresponde a la clasificación del año 2016.

Es importante mencionar que todas las imágenes satelitales contenían un mínimo porcentaje de nubosidad, frente a ello se generó una cobertura denominada “nubes”, la misma que se la manejó como otra cobertura más en el procedimiento de clasificación.

Tabla 7. Superficie total y porcentaje ocupado por cada cobertura y uso del suelo del cantón Celica, en los años 1986, 1996, 2006 y 2016.

Cobertura	Año 1986		Año 1996		Año 2006		Año 2016	
	ha	%	ha	%	Ha	%	ha	%
Bosque	36649,53	70,40	6785,57	13,03	17077,59	32,80	20024,24	38,46
Pastizal	0,00	0,00	5151,58	9,89	10430,46	20,04	6193,42	11,90
Agrícola	6542,83	12,57	4321,86	8,30	3878,19	7,45	12184,26	23,40
Zona Antrópica	1250,34	2,40	153,85	0,30	255,37	0,49	806,97	1,55
Suelo Descubierto	7158,85	13,75	35543,50	68,26	17467,27	33,55	12491,98	23,99
Cuerpos de agua	441,09	0,85	57,84	0,11	306,53	0,59	166,61	0,32
Nubes	13,86	0,03	54,50	0,10	2644,25	5,08	194,30	0,37
TOTAL	52056,51	100	52068,70	100	52059,67	100	52061,78	100

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Superficie total y porcentaje ocupado por cada cobertura y uso del suelo del cantón Pindal, en los años 1986, 1996, 2006 y 2016.

Cobertura	Año 1986		Año 1996		Año 2006		Año 2016	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Bosque	15572,52	77,31	1822,60	9,05	5578,62	27,70	3150,51	15,64
Pastizal	0,00	0,00	2659,00	13,20	6481,22	32,18	7943,56	39,44
Agrícola	1694,97	8,41	2114,44	10,50	1184,32	5,88	2165,04	10,75
Zona Antrópica	389,21	1,93	59,68	0,30	36,38	0,18	404,51	2,01
Suelo Descubierto	2364,56	11,74	13483,39	66,93	6787,27	33,70	6380,82	31,68
Cuerpos de agua	122,62	0,61	5,12	0,03	74,37	0,37	92,47	0,46
Nubes	0,36	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00	5,58	0,03
TOTAL	20144,24	100	20144,60	100	20142,20	100	20142,49	100

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Superficie total y porcentaje ocupado por cada cobertura y uso del suelo del cantón Puyango, en los años 1986, 1996, 2006 y 2016.

Cobertura	Año 1986		Año 1996		Año 2006		Año 2016	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Bosque	41909,13	65,77	20528,46	32,22	38689,96	60,73	32605,75	51,17
Pastizal	0,00	0,00	12335,16	19,36	8961,14	14,06	5569,99	8,74
Agrícola	8745,34	13,73	10992,46	17,25	7942,74	12,47	13087,29	20,54
Zona Antrópica	901,93	1,42	63,44	0,10	113,40	0,18	557,84	0,88
Suelo Descubierto	3325,57	5,22	18194,49	28,56	7540,00	11,83	6547,81	10,28
Cuerpos de agua	430,98	0,68	245,73	0,39	402,55	0,63	287,91	0,45
Nubes	8403,49	13,2	1356,82	2,13	63,26	0,10	5062,91	7,95
TOTAL	63716,44	100	63716,56	100	63713,05	100	63719,50	100

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Resumen de los valores del coeficiente Kappa obtenidos de la clasificación supervisada

Años	Valor del Coeficiente Kappa
1986	0,83
1996	0,84
2006	0,85
2016	0,86

Fuente: Elaboración propia

4.2. INDICADORES DEL SUBSISTEMA NATURAL

Con la información generada de coberturas y uso de suelo de los cantones Celica, Pindal y Puyango de los años 1986, 1996, 2006 y 2016, se calculó los indicadores de tasa de deforestación, tasa de cambio en vegetación y uso de suelo, relación cobertura natural/cobertura antrópica, extensión de la frontera agrícola y áreas Naturales Protegidas. Los indicadores del Subsistema Natural calculados permitieron determinar lugares específicos donde existe mayor pérdida de bosque y el tipo de cobertura por la que fue remplazada.

Con el cálculo de los indicadores posteriormente se podrá sugerir lineamientos estratégicos de Ordenamiento Territorial para los cantones de Celica, Pindal y Puyango.

4.2.1. TASA DE DEFORESTACIÓN DE LOS CANTONES CELICA, PINDAL Y PUYANGO.

Se determinó que los cantones de Celica con -15,30% y Pindal con -19,11% tienen la mayor tasa de deforestación en el periodo de 1986 – 2016 (Anexo 8 y 9), estos valores demuestran una disminución de la cobertura de bosque, además se determinó que la cobertura de bosque aumentó en los tres cantones en el periodo de 1996 – 2006 donde el cantón Puyango presenta una menor ganancia cobertura de bosque (6,52 %) tal como se lo proyecta en el anexo 10.

Además, se observó que en el periodo 2006 - 2016 los cantones de Pindal y Puyango tuvieron una pérdida mínima de cobertura de bosque (Tabla 11), mientras que el cantón Celica tuvo un aumento de cobertura de bosque de 1,58%.

Tabla 11. Porcentaje de tasa de deforestación de los cantones Celica, Pindal y Puyango de los periodos 1986-1996; 1996 - 2006, 2006 - 2016 y 1986 - 2016.

CANTÓN	PERIODO			
	1986-1996	1996-2006	2006-2016	1986-2016
Celica	-15,30	9,68	1,58	-1,78
Pindal	-19,11	11,83	-5,63	-4,71
Puyango	-6,89	6,52	-1,73	-17,62

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. TASA DE CAMBIO EN VEGETACIÓN Y USO DE SUELO

Se estimó que el cantón Celica tiene la mayor tasa de cambio en las coberturas de bosque (-15,30%) y agua (-19,46%) lo que representa pérdidas en el periodo de 1986 – 1996. Por otra parte, el cantón Celica posee una tasa de cambio en la cobertura agrícola de 12,12% lo que denota ganancia de esta cobertura en el periodo de 2006 - 2016 (Tabla 12).

Se determinó que, de los tres cantones en el periodo de 1986 – 1996, Pindal es el que mayor tasa de cambio tiene en la cobertura de bosque con -19,11%, asimismo en este cantón la tasa de cambio de la cobertura de suelo descubierto fue de 19,01%, en el periodo 1986 - 1996 (Tabla 13).

El cantón Puyango presenta una tasa de cambio en la cobertura de bosque de -17.62 % en el periodo de 1986 – 2016, asimismo, la tasa de cambio de la cobertura de suelo en descubierto en Puyango en el periodo de 1986 – 1996 fue de 18,52 % (Tabla 14).

Es importante mencionar que los datos de la cobertura de pastizal en los tres cantones el periodo 1986 – 1996 tienen valores de cero debido a que en la imagen de 1986 existe escasa y dispersa cobertura de pastizal y no es posible identificarlas a detalle por la escala y superficie de la imagen.

Tabla 12. Porcentaje de tasa de cambio en vegetación y uso de suelo del cantón Celica, de los periodos 1986 - 1996; 1996 - 2006; 2006 - 2016 y 1986 - 2016.

COBERTURA	PERIODO			
	1986-1996	1996-2006	2006-2016	1986-2016
Bosque	-15,30	9,68	1,58	-1,78
Pastizal	0,00	7,28	-5,14	0,92
Agrícola	-4,07	-1,05	12,12	1,88
Antrópico	-19,11	5,20	-0,14	-1,28
Suelo descubierto	0,17	-0,07	-0,03	1,68
Agua	-18,46	18,15	-5,98	-2,86

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Tasa de cambio en vegetación y uso de suelo del cantón Pindal, de los periodos 1986 -1996; 1996 - 2006; 2006 - 2016 y 1986 - 2016.

COBERTURA	PERIODO			
	1986-1996	1996-2006	2006-2016	1986-2016
Bosque	-19,11	11,83	-5,63	-4,71
Pastizal	0,00	9,33	2,09	5,63
Agrícola	2,26	-5,63	6,23	0,74
Antrópico	-17,28	-4,82	27,24	0,12
Suelo descubierto	19,01	-6,70	-0,62	3,02
Agua	-27,52	30,69	2,17	-0,86

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Tasa de cambio en vegetación y uso de suelo del cantón Puyango, de los periodos 1986 - 1996; 1996 - 2006; 2006 - 2016 y 1986 - 2016.

COBERTURA	PERIODO			
	1986-1996	1996-2006	2006-2016	1986-2016
Bosque	-6,89	6,52	-1,73	-17,62
Pastizal	0,00	-3,10	-4,67	-3,91
Agrícola	2,34	-3,23	5,14	1,22
Antrópico	-23,35	5,99	17,27	-1,42
Suelo descubierto	18,52	-8,53	-1,38	2,05
Agua	-5,47	5,07	-3,23	-1,19

Fuente: Elaboración propia

4.2.3. INDICADOR DE RELACIÓN COBERTURA NATURAL/COBERTURA ANTRÓPICA

Se calculó que el cantón Celica tiene los índices de antropización más altos en los años de 1986 y 2016, siendo el año 2016 el más alto con (38,83%) tal como lo muestran las figuras 2, 3 y 4, por otra parte, en el cantón Puyango el índice de antropización disminuye entre los años de 1986 y 2016 de 31,25% a 27,7% respectivamente (Tabla 15).

Tabla 15. Indicador de antropización de los cantones Celica, Pindal y Puyango de los años 1986, 1996, 2006 y 2016

CANTÓN	AÑO			
	1986	1996	2006	2016
Celica	24,33	15,42	13,92	38,83
Pindal	28,33	26,67	24,17	33,00
Puyango	31,25	34,82	21,15	27,77

Fuente: Elaboración propia

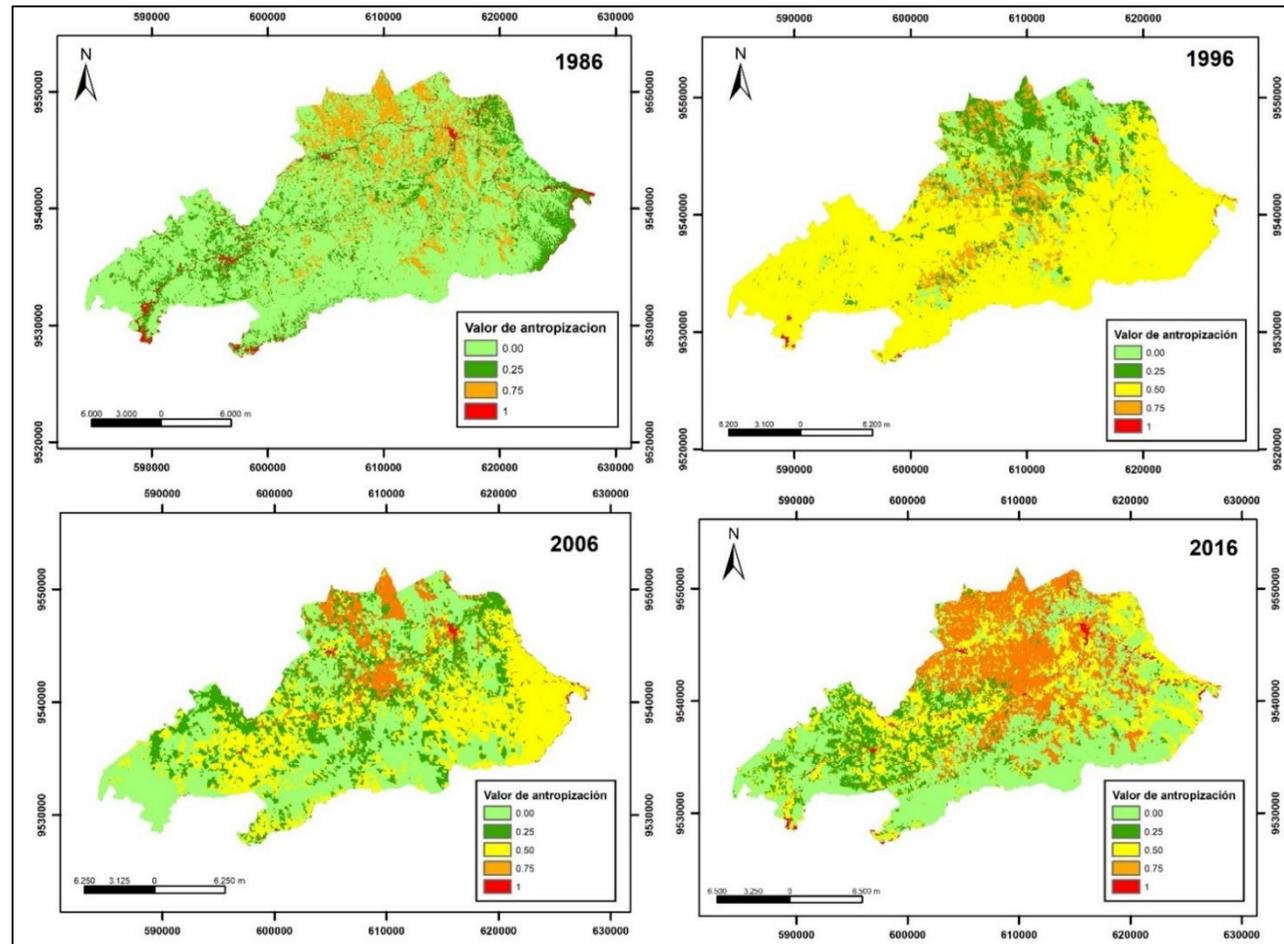


Figura 8. Mapa de relación cobertura natural/coertura antrópica y grado de antropización del cantón Celica de los años 1986, 1996, 2006 y 2016

Fuente: Elaboración propia

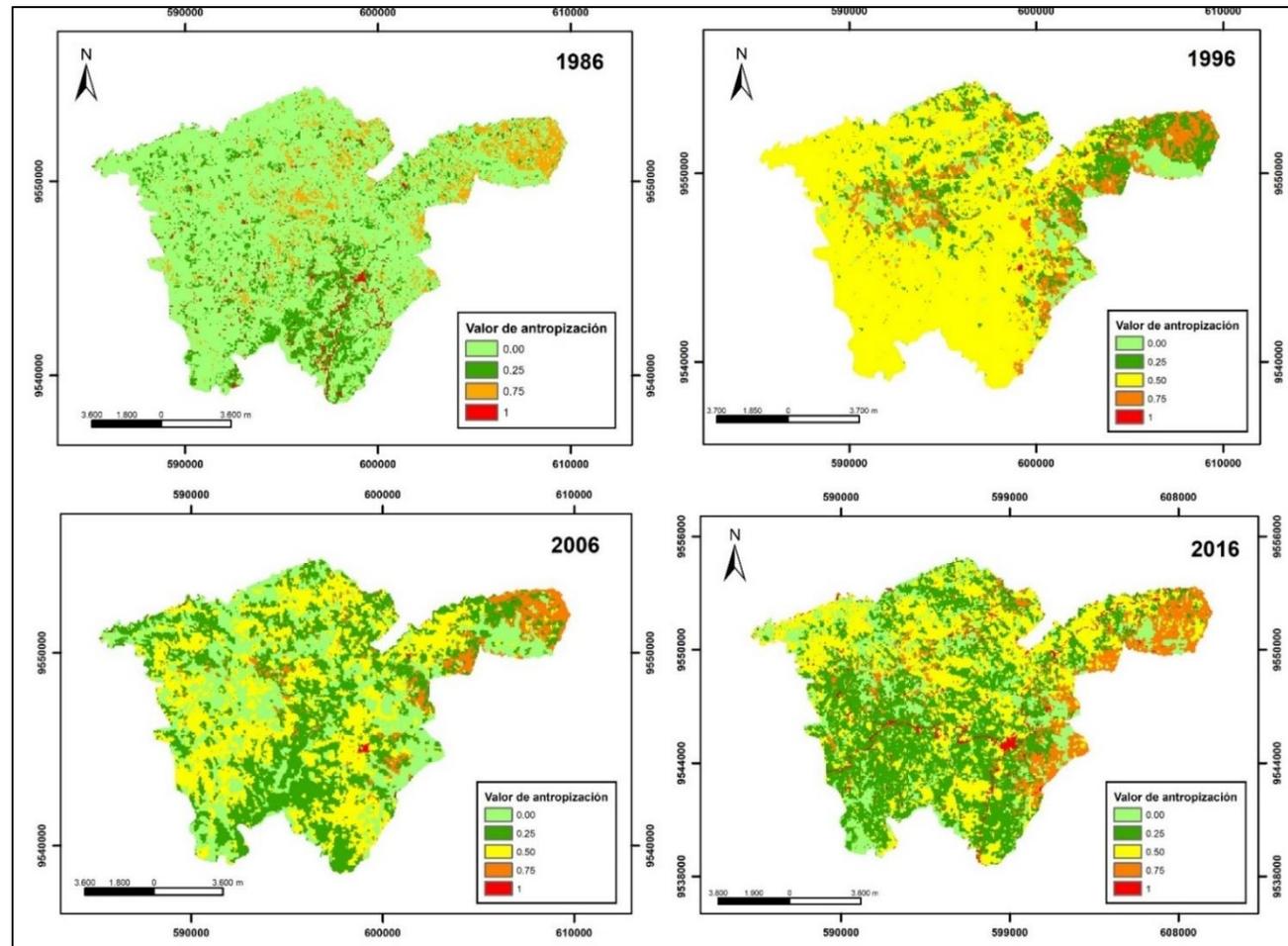


Figura 9. Mapa de relación cobertura natural/cobertura antrópica y grado de antropización del cantón Pindal de los años 1986, 1996, 2006 y 2016
Fuente: Elaboración propia

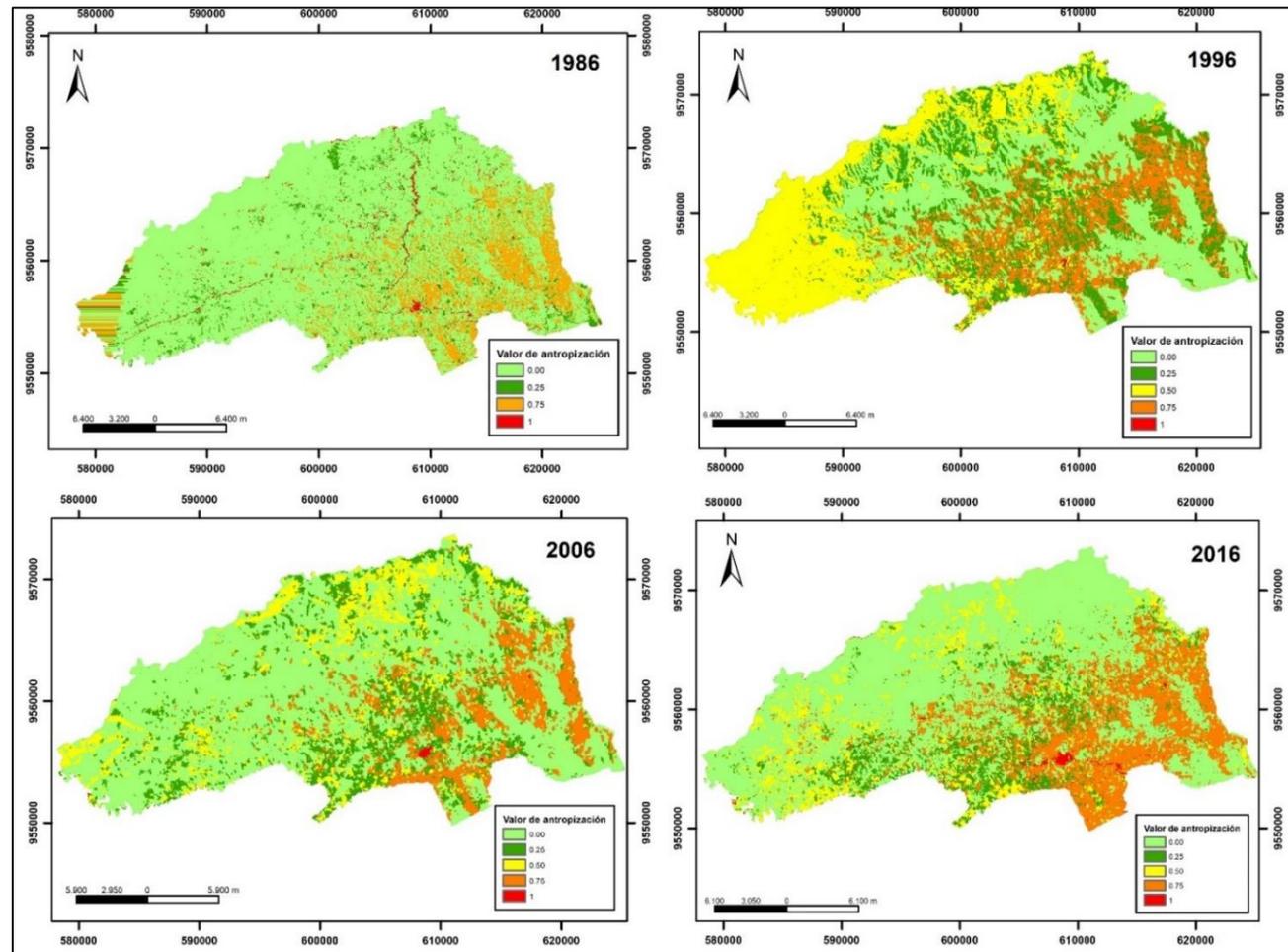


Figura 10. Mapa de relación cobertura natural/cobertura antrópica y grado de antropización del cantón Puyango de los años 1986, 1996, 2006 y 2016
Fuente: Elaboración propia

4.2.4. INDICADOR ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

Se determinó que los cantones de Celica, Pindal y Puyango en el año de 2016 la cobertura de bosque abarca menos del 60% de toda su superficie, siendo el cantón Puyango el que mayor porcentaje de cobertura de bosque posee con 51,17%, tal como lo muestra la tabla 15. Además, se calculó que los tres cantones tienen una mínima cobertura de Áreas Naturales definidas por el MAE, siendo Celica y Puyango los únicos cantones en poseer pequeñas extensiones de Áreas Naturales (Tabla 16).

El cantón Celica integra el Programa Socio Bosque con una extensión de 280 hectáreas que representan el 0,98% (Tabla 16) del total de su territorio, mientras que Puyango integra dos coberturas de Áreas Naturales; el programa Socio Bosque y la cobertura de Bosques Protectores con una superficie de 2 088,63 hectáreas que representan el 70,40% del total de su territorio tal como lo muestran los anexos 11 y 13. Cabe mencionar que el cantón Pindal no integra ninguna de las coberturas de Áreas Naturales definidas por el MAE tal como lo muestra el Anexo 12.

Tabla 16. Cobertura de bosque expresada en hectáreas y porcentaje de los cantones Celica, Pindal y Puyango del año 1986.

Cantón	Cobertura de bosque (ha)	Cobertura de bosque (%)
Celica	20024,24	38,46
Pindal	3150,51	15,64
Puyango	32605,75	51,17

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Cobertura de Áreas Naturales definidas por el MAE expresada en hectáreas y porcentaje de los cantones Celica, Pindal y Puyango.

Cobertura de Áreas Naturales	Cantón Celica		Cantón Pindal		Cantón Puyango	
	ha	%	ha	%	ha	%
Programa Socio Bosque	280,00	0,98	0	0	2088,63	3,27
Áreas protegidas	0	0	0	0	0	0
Bosque protector	0	0	0	0	2362,26	3,70
Patrimonio forestal	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

4.2.5. INDICADOR DE EXTENSIÓN DE LA FRONTERA AGRÍCOLA.

En los cantones de Celica, Pindal y Puyango existe un crecimiento progresivo de cobertura agrícola desde el año 1986 a 2016, siendo el cantón Celica el que mayor porcentaje de extensión agrícola presenta hasta el 2016 con 23,40% respecto a su territorio tal como lo muestra la tabla 17 y anexo 14.

Además, se determinó que el cantón Pindal un porcentaje bajo de extensión de frontera agrícola respecto a los años de 1986 con 8,41% y al 2016 con 10,75% tal como lo muestra la anexo 15. Asimismo, se estimó que en el cantón Puyango la extensión de la frontera agrícola tiene un aumento progresivo en los años de 1986, 1986, y 2016, siendo únicamente en el año de 2006 donde disminuye su cobertura agrícola a 12,47% respecto a la superficie de su territorio (Anexo 16).

El cantón con mayor extensión de la frontera agrícola entre el periodo de 1986-2016 es Celica con 10,83% que representa 5 641,23 ha, asimismo, se determinó que el cantón con menor extensión de la frontera agrícola en el periodo de 1986-2016 es Pindal con el 2,34% que representa 470,07 ha de aumento tal como lo muestra la tabla 18.

Tabla 18. Extensión de la frontera agrícola expresada en hectáreas y porcentaje de los cantones Celica, Pindal y Puyango correspondiente a los años 1986, 1996, 2006 y 2016

Años	Celica		Pindal		Puyango	
	ha	%	ha	%	Ha	%
1986	6 542,89	12,57	1 694,97	8,41	8 745,34	13,73
1996	4 321,19	8,32	2 114,44	10,50	10 992,46	17,25
2006	3 878,19	7,45	1 184,32	5,88	7 942,74	12,47
2016	12 184,26	23,40	2 165,04	10,75	13 087,29	20,54
1986-2016	5 641,23	10,83	470,07	2,34	4 341,95	6,81

Fuente: Elaboración propia

4.3. LINEAMIENTOS ESTRATÉGICOS

Con la información geográfica secundaria y la información de coberturas y uso de suelo de los cantones Celica, Pindal y Puyango de los años 1986, 1996, 2006 y 2016, más los datos de los Indicadores del Subsistema Natural se planteó lineamientos estratégicos de ordenamiento territorial considerando aspectos sociales y ambientales para cada cantón, los cuales permitirán una gestión sostenible del territorio. Las coberturas de los tres cantones con mayor cambio en los periodos mencionados son: bosque, agrícola, suelo descubierto y pastizal.

4.3.1. Lineamientos estratégicos para el cantón Celica

Se determinó que las coberturas con mayor cambio en el cantón Celica desde el año 1986-2016 fueron la de bosque, agrícola y suelo descubierto, siendo la mayor afectada la cobertura de bosque por efecto de la agricultura extensiva y la deforestación, por otro lado, existe el 23,99 % de suelo descubierto que corresponden a 12 491,98 ha respecto a la superficie del cantón (Cuadro 2).

Cuadro 2. Lineamientos estratégicos de ordenamiento territorial de las coberturas con mayor cambio del periodo 1986 – 2016 pertenecientes al cantón Celica.

	Bosque	Agrícola	Suelo descubierto
Hallazgo	La deforestación es la principal causa de pérdida de bosque dado que en el periodo de 1986-1996 tuvo una tasa de deforestación de -15,30%, asimismo la cobertura de bosque se ha reducido de 70,40% a 38,46% lo que representa 16 625,29 ha de bosque perdido entre los años de 1986 al 2016, esta pérdida es causada por la deforestación y la ganadería, además se ha fragmentado el 54% de la cobertura vegetal de las microcuencas de Quillusara y Matalanga que son las principales abastecedoras de agua en la ciudad de Celica.	La cobertura de bosque en mayor magnitud ha sido remplazada por la frontera agrícola dado que la cobertura agrícola se extendió desde 1986 al año 2016 en 5 641,43 ha, en la cual el principal cultivo es el maíz, esta actividad se desarrolla en mayor proporción en a la zona rural debido a que existe un mayor número de habitantes concentrados en esta zona. Además, para controlar plagas y otros problemas que surgen en el proceso de cultivo se utilizan agroquímicos que son vendidos dentro de la localidad.	La cobertura de suelo descubierto en el año de 2016 es de 23,99% lo que representa 12 491,98 ha, esta cobertura de suelo descubierto son el resultado de suelos erosionados, incendios y deforestación lo que genera en la comunidad pérdidas económicas y limitada producción agrícola.
Lineamientos estratégicos	<ul style="list-style-type: none"> • Llevar a cabo campañas de educación ambiental donde se mostrarán y discutirán los beneficios de contar con un bosque nativo, además se intercambiarán saberes con el objetivo de conocer el criterio que tienen los comuneros en cuanto al bosque, además se pretenderla generar un interés por parte de la comunidad por el bosque en pro al bienestar y conservación. • Realizar una restauración ecológica en función a la cobertura de bosque perdido, donde la comunidad debe ser partícipe del proyecto tanto en mano de obra como en planificación con las debidas capacitaciones técnicas acerca del proyecto. • En caso de que la comunidad decida plantar especies exóticas para beneficio económico, se deberá realizar una zonificación para identificar donde existe menor impacto por las especies introducidas. • Plantear una nueva zonificación del programa socio bosque al MAE con la finalidad de tener mayor cobertura de bosque conservado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar siembra variada de maíz con el fin de garantizar la diversidad genética para que los cultivos sean más fuertes y resistentes, con ellos se reduce el uso de pesticidas y ataque de plagas. • Con el objetivo de conservar el suelo y sus propiedades se deberá realizar la rotación de cultivos, además implementar cultivos de cobertura como la arveja (<i>Pisum sativum</i>), eso se lo realizará en el tiempo de descanso del suelo entre el periodo de cosecha y siembra de maíz. • Para la siembra de maíz en pendientes realizarlo adecuando terrazas para evitar la erosión del suelo y con ello garantizar una producción sustentable a los productores. • Realizar capacitaciones anuales a los agricultores acerca del manejo de pesticidas, además de sensibilizar sobre la importancia de una agricultura orgánica y su impacto en la salud y en el medio ambiente. • Gestionar seguros agrícolas integrales con la finalidad de proteger la inversión utilizada en el cultivo desde la siembra hasta la cosecha con el objetivo de indemnizar pérdidas ocasionadas por fenómenos que no puedan ser controlados por el agricultor como incendios, sequías y plagas etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fomentar la educación ambiental, enfatizando en la prevención de incendios, además se debe crear un Comité Regional de Prevención de Incendios Forestales • Incorporar desparasitación orgánica de los suelos mediante la incorporación de algas, microorganismos, hongos y algas para que promuevan la dinámica del suelo y de esta forma que los próximos cultivos implementados tengan los nutrientes necesarios para su desarrollo. • Implementar cultivos agroforestales con especies que cumplan características como: que sea adaptadas a la zona, leguminosas que sean caducifolios y que tengan baja competencia en agua y nutrientes. Estos cultivos deberán contar con el seguimiento y monitoreo constante por parte de la entidad competente o encargada. • Promover y motivar a los propietarios de los terrenos improductivos a que se involucren en la implementación de cultivos agroforestales mediante el ofrecimiento de créditos a largo plazo y con bajo interés.
Ejecutores	GAD Celica, - GPL -MAE	GAD Celica – MAG – IESS	GAD Celica – MAG – MAE -GPL

Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Lineamientos estratégicos para el cantón Pindal

Se determinó que las coberturas con mayor cambio en el cantón Pindal desde el año 1986-2016 fueron la de bosque, pastizal y suelo descubierto, siendo la mayor afectada la cobertura de bosque por efecto de la agricultura extensiva y principalmente por la adaptación a pastizales para la crianza de ganado de doble propósito, por otro lado, existe el 31,68% de suelo descubierto que representa 6 380,82 ha (Cuadro 3).

Cuadro 3. Lineamientos estratégicos de ordenamiento territorial de las coberturas con mayor cambio del periodo 1986 – 2016 pertenecientes al cantón Pindal.

	Bosque	Pastizal	Suelo descubierto
Hallazgo	La deforestación es la principal causa de pérdida de bosque dado que en el periodo de 1986-1996 tuvo una tasa de deforestación de -4,71%, asimismo la cobertura de bosque se ha reducido de 77,31% a 15,64% lo que representa 12 422 ha de bosque perdido entre los años de 1986 al 2016, esta pérdida es causada por la deforestación, incendios forestales y principalmente por pastizales utilizados en la ganadería, además se ha fragmentado el 42% de la cobertura vegetal de las microcuencas de Matalanga y Gramales	La cobertura de bosque ha sido remplazada por superficies agrícolas y en mayor magnitud por pastizales dominantes como el pasto Saboya (<i>Panicum máximum</i>) conocido comúnmente como hierba chilena, esta hierba es utilizada como alimento para ganado de doble propósito, La forma que se alimenta el ganado es por tiempos, es decir, reposa en cada potrero para alimentarse y posteriormente se lo traslada a otro. El pasto cultivado para esta actividad es de aproximadamente 4 675,86 ha.	La cobertura de suelo descubierto en el año de 2016 es de 31,68% lo que representa 6 380,82 ha, esta cobertura de suelo descubierto son el resultado de suelos erosionados, incendios y deforestación lo que genera en la comunidad pérdidas económicas y limitada producción agrícola.
Lineamientos estratégicos	<ul style="list-style-type: none"> • Llevar a cabo campañas de educación ambiental donde se mostrarán y discutirán los beneficios de contar con un bosque nativo, además se intercambiarán saberes con el objetivo de conocer el criterio que tienen los comuneros en cuanto al bosque, además se pretenderla generar un interés por parte de la comunidad por el bosque en pro al bienestar y conservación. • Realizar una restauración ecológica en función a la cobertura de bosque perdido, donde la comunidad debe ser partícipe del proyecto tanto en mano de obra como en planificación con las debidas capacitaciones técnicas acerca del proyecto. • En caso de que la comunidad decida plantar especies exóticas para beneficio económico, se deberá realizar una zonificación para identificar donde existe menor impacto por las especies introducidas. • Plantear una nueva zonificación del programa socio bosque al MAE con la finalidad de tener mayor cobertura de bosque conservado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Implementar sistemas silvopastoriles con el objetivo de proteger al suelo de la erosión hídrica y eólica, además de disminuir la compactación del suelo provocada por el pastoreo del ganado. • En terrenos de pastoreo con pendientes utilizar barreras vivas para proteger al suelo de la erosión, para ellos utilizar especies nativas del cantón y plantarlas árboles en franjas compuestas por dos hileras de árboles, y con una distancia de 3 metros entre árbol y árbol. • Conocer la calidad de los suelos mediante un análisis de suelo cada tres años, con este análisis se podrá determinar el porcentaje de variación de los componentes del suelo que podrían disminuir la cantidad y calidad del forraje. Es importante realizar el análisis de suelo en las mismas épocas del año para tomar decisiones más acertadas. • Incluir Biol como abono foliar para los pastos, este servirá como preventivo natural de enfermedades y plagas, el biol surge de la fermentación o descomposición de diversos residuos vegetales y animales. El biol puede ser usado para variedad de cultivos anuales, perennes o de ciclo corto, y se lo puede aplicar cada treinta días dirigido al follaje. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fomentar la educación ambiental, enfatizando en la prevención de incendios, además se debe crear un Comité Regional de Prevención de Incendios Forestales • Incorporar desparasitación orgánica de los suelos mediante la incorporación de algas, microorganismos, hongos y algas para que promuevan la dinámica del suelo y de esta forma que los próximos cultivos implementados tengan los nutrientes necesarios para su desarrollo. • Implementar cultivos agroforestales con especies que cumplan características como: que sea adaptadas a la zona, leguminosas que sean caducifolios y que tengan baja competencia en agua y nutrientes. Estos cultivos deberán contar con el seguimiento y monitoreo constante por parte de la entidad competente o encargada. • Promover y motivar a los propietarios de los terrenos improductivos a que se involucren en la implementación de cultivos agroforestales mediante el ofrecimiento de créditos a largo plazo y con bajo interés.
Ejecutores	GAD Pindal, - GPL -MAE	GAD Celica – MAG	GAD Celica – MAG – MAE -GPL

Fuente: Elaboración propia

4.3.3. Lineamientos estratégicos para el cantón Puyango

Se determinó que las coberturas con mayor cambio en el cantón Puyango desde el año 1986-2016 fueron la de bosque, agrícola y suelo descubierto, siendo la mayor afectada la cobertura de bosque debido por efecto de la agricultura extensiva y deforestación, por otro lado, existe el 10,28% de suelo descubierto que representa 6 547, 81 ha de la superficie del cantón (Cuadro 4).

Cuadro 4. Lineamientos estratégicos de ordenamiento territorial de las coberturas con mayor cambio del periodo 1986 – 2016 pertenecientes al cantón Puyango.

	Bosque	Agrícola	Suelo descubierto
Hallazgo	La deforestación es la principal causa de pérdida de bosque dado que en el periodo de 1986-1996 tuvo una tasa de deforestación de -17,62%, asimismo la cobertura de bosque se ha reducido de 65,77% a 51,17% lo que representa 9 303,38 ha de bosque perdido entre los años de 1986 al 2016, esta pérdida es causada por los agricultores debido a que utilizan la quema de montañas con el propósito de limpiar áreas para cultivar esto ha generado incendios forestales masivos muy difíciles de controlar, estas inadecuadas prácticas agrícolas de las realiza en zonas de altura o filos de montaña.	La cobertura de bosque en mayor magnitud ha sido remplazada por la frontera agrícola dado que la cobertura agrícola se extendió desde 1986 al año 2016 en 4 341,95 ha, en la cual el principal cultivo es el maíz seguido por el café y la caña artesanal, además existe actividad agrícola en suelos proco profundos debido a la falta de conocimiento teórico práctico. Asimismo, para controlar plagas y otros problemas que surgen en el proceso de cultivo se utilizan agroquímicos que son vendidos dentro de la localidad.	La cobertura de suelo descubierto en el año de 2016 es de 10,28% lo que representa 6 547,81 ha, esta cobertura de suelo descubierto son el resultado de suelos erosionados, incendios y deforestación lo que genera en la comunidad pérdidas económicas y limitada producción agrícola.
Lineamientos estratégicos	<ul style="list-style-type: none"> • Llevar a cabo campañas de educación ambiental donde se mostrarán y discutirán los beneficios de contar con un bosque nativo, además se intercambiarán saberes con el objetivo de conocer el criterio que tienen los comuneros en cuanto al bosque, además se pretenderla generar un interés por parte de la comunidad por el bosque en pro al bienestar y conservación. • Realizar una restauración ecológica en función a la cobertura de bosque perdido, donde la comunidad debe ser partícipe del proyecto tanto en mano de obra como en planificación con las debidas capacitaciones técnicas acerca del proyecto. • En caso de que la comunidad decida plantar especies exóticas para beneficio económico, se deberá realizar una zonificación para identificar donde existe menor impacto por las especies introducidas. • Plantear una nueva zonificación del programa socio bosque al MAE con la finalidad de tener mayor cobertura de bosque conservado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar siembra variada de maíz con el fin de garantizar la diversidad genética para que los cultivos sean mas fuertes y resistentes, con ellos se reduce el uso de pesticidas y ataque de plagas. • Con el objetivo de conservar el suelo y sus propiedades se deberá realizar la rotación de cultivos, además implementar cultivos de cobertura como la arveja (<i>Pisum sativum</i>), eso se lo realizará en el tiempo de descanso del suelo entre el periodo de cosecha y siembra de maíz. • Para la siembra de maíz en pendientes realizarlo adecuando terrazas para evitar la erosión del suelo y con ello garantizar una producción sustentable a los productores. • Realizar capacitaciones anuales a los agricultores acerca del manejo de pesticidas, además de sensibilizar sobre la importancia de una agricultura orgánica y su impacto en la salud y en el medio ambiente. • Gestionar seguros agrícolas integrales con la finalidad de proteger la inversión utilizada en el cultivo desde la siembra hasta la cosecha con el objetivo de indemnizar pérdidas ocasionadas por fenómenos que no puedan ser controlados por el agricultor como incendios, sequías y plagas etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fomentar la educación ambiental, enfatizando en la prevención de incendios, además se deber crear un Comité Regional de Prevención de Incendios Forestales • Incorporar desparasitación orgánica de los suelos mediante la incorporación de algas, microorganismos, hongos y algas para que promuevan la dinámica del suelo y de esta forma que los próximos cultivos implementados tengan los nutrientes necesarios para su desarrollo. • Implementar cultivos agroforestales con especies que cumplan características como: que sea adaptadas a la zona, leguminosas que sean caducifolios y que tengan baja competencia en agua y nutrientes. Estos cultivos deberán contar con el seguimiento y monitoreo constante por parte de la entidad competente o encargada. • Promover y motivar a los propietarios de los terrenos improductivos a que se involucren en la implementación de cultivos agroforestales mediante el ofrecimiento de créditos a largo plazo y con bajo interés.
Ejecutores	GAD Celica, - GPL -MAE	GAD Celica – MAG - IESS	GAD Celica – MAG – MAE -GPL

Fuente: Elaboración propia

5. DISCUSIÓN

Según datos recolectados de la presente investigación los cantones de Celica, Pindal y Puyango entre los años de 1986 – 2016 presentan un variado cambio de uso de suelo, en especial la cobertura de bosque, la misma que ha sido sustituida por coberturas dedicadas a la ganadería y a la agricultura, en ese contexto el cantón Celica la cobertura que mayor modificación ha tenido es bosque, debido a que desde el año 1986 al 2016 ha perdido el 30 % es decir 16 625.29 ha de bosque, esta disminución se ve más marcada en el año de 1996 cuando se tuvo una cobertura de 13,03 % de bosque y aumento drásticamente el suelo descubierto en 68,26 % que representan 35 543,50 ha del cantón, esta información se relaciona con el análisis de datos históricos presentada por el MAE (2013) donde sostiene que ha existido una gran disminución de la cobertura de bosque y aumento de tierras agropecuarias entre los años de 1990 – 2016, asimismo, Sierra (2013) menciona que grandes extensiones de bosque han sido deforestadas en la provincia de Loja para ser utilizadas como suelos agrícolas en especial en el periodo de 1990 y 2010 debido a que la productividad agrícola aumentó progresivamente. Por los datos presentados y por la temporalidad en que se obtuvo la imagen satelital se asume que la amplia cobertura de suelo descubierto en el cantón Celica es producto de los llamados barbechos, técnica que consiste en dejar descansar la siembra durante un ciclo vegetativo con el objetivo de acumular materia orgánica y nutrientes en el suelo para que el próximo cultivo tenga mejores resultados en cuestión de producción y calidad (ONU, 2011). En cuanto a la deforestación el MAE (2017) sostiene que en el Ecuador la tasa de deforestación anual es de -0,65% entre el periodo de 1990 y 2000 mientras que en el 2014 y 2016 es de -0,48 %, además sostiene que en provincia de Loja la mayor deforestación se da en el periodo de 2014 y 2016 con 3 459 (ha/año), estos datos tienen justa relación respecto a la información

obtenida del cantón Celica dado que se calculó que la tasa de deforestación en el periodo de 1986 – 2016 fue de -1,78 %, cabe mencionar que la mayor tasa de deforestación en este cantón se da en el periodo de 1986 y 1996 con -15,30 %, datos que hacen referencia a la información descrita acerca del aumento de la cobertura agrícola, además, la ampliación de la superficie agrícola es el resultado de la implementación de sistemas ganaderos y sistemas productivos agrícolas (Quiróz, 2015).

Según la información del GAD de Celica (2014) una de las características más relevantes del cantón es la conservación y protección es por ello que existe una cobertura de bosque del 49,85 % (GAD de Celica, 2014). Estos datos que se corroboran con la presente investigación dado que, se identificó que en el año 2016 el cantón Celica posee una cobertura de bosque del 38,46 % que representan 20 024,24 ha, no obstante, mediante información geográfica recopilada del Mapa Interactivo Ambiental del MAE (2017) se identificó que únicamente integran el Programa Socio Bosque 280 ha es decir ni el 1% de toda su cobertura de bosque.

Uno de los cantones con mayor reducción de la cobertura de bosque es el cantón Pindal debido a que, en el año de 1986 contaba con 15 572,52 ha (77,31 %) de cobertura de bosque y paso a 3 150,51 ha (5,64 %) en el año 2016. Según sostiene (GAD de Pindal, 2014) el cultivo de maíz ocupa el mayor porcentaje de la superficie (60,60 %) es decir unas 12 215,10 ha, seguido de cobertura de pastizales utilizados en la ganadería (3,38 %) y en menor superficie el cultivo de café con 0,10 % que representa a 71,1 ha, este estudio se corrobora con la presente investigación dado que la superficie de pastizal y cobertura agrícola ha extendido en un total 5 754,63 ha durante el periodo de 1986 – 2016. Por otra parte, según informa la (SENPLADES, 2014) respecto a la población ocupada por actividades de agricultura, ganadería y silvicultura en el cantón Pindal es del 71 %, es decir casi toda la población del cantón se dedica a estas actividades, es por ello que existe

el rápido crecimiento de la frontera agrícola, además en el cantón se caracteriza según el (GAD de Pindal, 2014) por tener un clima Ecuatorial Mesotérmico Semihúmedo con una temperatura que oscila entre 12 °C y 18 °C, clima óptimo para el cultivo de maíz, café y caña de azúcar (Pourrut *et al.*, 2009). Asimismo, la pérdida de cobertura de bosque en el cantón Pindal tiene gran relación con los indicadores de tasa de deforestación, analizando el caso del periodo de 1986 – 2016 tiene una tasa de -4,78%, esto se relaciona con lo que sostiene el (GAD de Pindal, 2014), que los bosques han sido objeto de deforestación por incendios y por la actividad humana para ser utilizados como sitios para el cultivo de maíz, por otro lado en el cantón Pindal se identificó el mayor índice de antropización (38,83 %) en el año 2016, especialmente por el aumento de la población que conlleva al crecimiento de la zona urbana, por ejemplo en el año 2001 la población total era de 7 351 personas y para año de 2015 se tuvo una población de 9 783 habitantes, este aumento hace presión sobre la cobertura de bosque, debido a que lo eliminan para utilizarlos como espacios para viviendas (GAD de Pindal, 2014). Además, se determinó que el cantón Pindal en el año 2016 posee una cobertura de bosque de 15,64 % que corresponden a 20 024,24 ha, de las cuales según datos revisados en la plataforma del Ministerio del Ambiente ninguna de estas superficies consta dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SMAP), cabe mencionar que dentro del Programa Socio Bosque liderado por el Ministerio del Ambiente existen 280 ha que corresponden al cantón Pindal, en ese contexto existe alrededor de 19 000 ha de bosque en el cantón que están en constante amenaza por la presión de actividades antrópicas especialmente las agrícolas que se desarrollan en la zona.

El cantón Puyango se caracteriza según SNI (2013) como un territorio con gran parte de coberturas destinadas a la conservación específicamente el 42,02 % que constituyen zonas de bosque húmedo y bosque seco que representan 26 757,16 ha respecto a toda la

superficie del cantón, esta información concuerda con los datos obtenidos de la investigación dado que, la pérdida de cobertura de bosque en el cantón desde 1986 al 2016 ha sido mínima es decir de 14,6 % que corresponden a 9 303,38 ha. Otro aspecto importante del cantón son las actividades productivas como la pecuaria que ocupa 26 173,26 ha dedicadas al cultivo de pastos como saboya y pasto miel; la agricultura con 12,070 % englobando cultivos permanentes, semipermanentes y de ciclo corto (SNI, 2013), no obstante el GAD de Puyango (2014) sostiene que los cambios de cobertura y uso de suelo se han dado en mayor magnitud en la cobertura de pastizal con 29 792,77 ha seguida por la modificación de bosque a cultivos diversificados denominados como mosaicos agropecuarios, sin embargo, según la información generada por GAD de Puyango (2014) el 34,87 % de la superficie del cantón cuenta con suelos de clase IV, es decir, debido a su ubicación altudinal son aptos para el cultivos de caña de azúcar, yuca, frutales , café, papas, maíz además pueden tener un aprovechamiento forestal corto (SNI, 2013). Estos datos concuerdan con la información de la investigación, debido a que el crecimiento agrícola ha aumentado entre en año 1986 y 2016 en 4 341, 65 ha con una tasa de cambio de 1,88 %, agregado a ello en el cantón Puyango se identificó un aumento de la cobertura de suelo descubierto de 3 222,24 ha entre los años de 1986 a 2016, en ese contexto según sostiene el GAD de Puyango (2014) parte de los suelos desnudos son el resultados de la existencia de minería ilegal en pequeña escala que no cuentan con ningún permiso otorgado por la entidad competente, además afirma que estas actividades ilegales se decidan a la extracción de material pétreo, no obstante existen 42 ha de concesión minera inscrita legalmente que tienen como objetivo a la extracción de material pétreo. Esta información refleja que la cobertura mayormente afectada en el cantón Puyango es el bosque, la misma que ha sido sustituida por la cobertura agrícola y de suelo descubierto,

además de la amenaza constante a los recursos naturales por efecto de minería que está iniciando en el cantón (Reina *et al.*, 2011).

La fragmentación en el Ecuador es la principal amenaza de los ecosistemas forestales tropicales, producto del cambio de uso de suelo, afectando directamente a la reducción de bosque y pérdida de biodiversidad (Marchi *et al.*, 2017), en ese contexto, los cantones de Celica, Pindal y Puyango a pesar que cuentan con extensiones considerable de bosque están amenazados por intereses de actividades con fines agrícolas, minería y presión demográfica que implica aumento de la zona urbana, dicha información coincide con (Barbieri y Carr, 2005) que expone que grandes superficies de bosque son deforestadas para solventar necesidades del nuevo sistema económico, que faculta la importancia de consolidar ciudades y asentamientos rurales generando necesidades de consumo en la población y con ello aumento de la riqueza.

A las Áreas Naturales (AN) se las puede considerar como un escudo de la deforestación, en especial los cantones con alta densidad poblacional, sin embargo, esto no implica que AN cuenten con una alta eficacia de conservación, puesto que existen áreas a que aún experimentan deforestación, de tal modo que las coberturas de bosque requieren mayores esfuerzos para evitar la pérdida y fragmentación del mismo (Cuenca y Echeverría, 2017). Es por ello la necesidad de adoptar lineamientos estratégicos en los cantones de estudio que incluyan la participación de la comunidad que permitan mitigar el impacto de los intereses económicos que hacen presión principal sobre los recursos naturales, enunciado que concuerda con Hernández (2010) que sostiene que el OT no debe considerarse como una obligación sino como una serie de instrumentos que permitan construir un deseado territorio ordenado orientado a la sostenibilidad donde los principales involucrados antes y durante la planificación deben ser la comunidad.

6. CONCLUSIONES

- La cobertura de bosque en los cantones de Celica, Pindal y Puyango ha sido la que mayor pérdida ha tenido en el periodo de 1986 y 2016, evidenciándose la máxima pérdida de esta cobertura en el cantón Pindal con 12 422 ha respecto a la superficie total del cantón.
- El mayor grado de antropización se presentan en los cantones de Celica y Pidal en el año 2016, asimismo la cobertura de bosque ha sido sustituida en los tres cantones principalmente por la extensión de la superficie agrícola y pastizales, siendo el único caso en el cantón Puyango donde se está iniciando procesos de concesión minera para la extracción material pétreo.
- Los tres cantones de estudio hasta el año 2016 poseen una considerable superficie de cobertura de bosque Celica (38,46 %), Pindal (15,64) y Puyango (51,17), sin embargo, el Ministerio del Ambiente no han considerado ni el 5 % de estas coberturas dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, no obstante, se han integrado entre el 3 % y 4 % de esta superficie en el programa Socio Bosque.
- Los tres cantones tienen características similares en cuanto al cambio de uso de suelo en el periodo de 1986 y 2016 es por ello que existe semejanza en cuestión a los lineamientos de ordenamiento territorial, sin embargo, cada cantón posee ideologías y políticas diferentes.

7. RECOMENDACIONES

- Que los GADs de los cantones de Celica, Pindal y Puyango tomen los resultados de toda esta investigación para la actualización o elaboración de los Planes de Ordenamiento Territorial.
- Realizar investigaciones en cuanto a la flora que existen en los cantones de Celica, Pindal y Puyango con la finalidad que el Ministerio del Ambiente tenga información que faculte alternativas de conservación.
- Extender este tipo de estudios en toda la provincia de Loja en con el objetivo de tener datos exactos de indicadores ambientales que permitan gestionar de mejor manera el territorio a escala parroquial o cantonal.

8. REFERENCIAS

- Barbieri, A. F., & Carr, D. L. (2005). *Gender-specific out-migration , deforestation and urbanization in the Ecuadorian Amazon*. 47, 99–110.
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2004.10.005>
- Cárcamo, A., & Rejas, J. (2011). *Análisis multitemporal mediante teledetección espacial y SIG del cambio de cobertura del suelo en el municipio de Danlí , El Paraíso , en los años*. 259–271.
- Carlos, G., Vel, M., & Mirian, D. (2015). Aplicación de teledetección y SIG para el levantamiento cartográfico de los suelos de la cuenca Solani, India. *Revista Geografica Venezolana*, 56(2), 185–204.
- CEPAL. (2011). *Plan regional de ordenamiento territorial: Contenido y procedimientos*.
<https://www.cepal.org/cgi-bin/getProd.asp?xml=/publicaciones/xml/0/52000/P52000.xml&xsl=/publicaciones>

/ficha.xsl&base=/publicaciones/top_publicaciones.xsl#

Cerda, J., & Villarroel, L. (2008). Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. *Revista Chilena de Pediatría*, 79(1), 54–58.

Chiarella, J., & Yakabi, K. (2016). Planificación y ordenamiento territorial. Consideraciones a partir del caso peruano. *Revista Política e Planejamento Regional*, 3(2), 137–158.

Chuvieco, E. (2008). *Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio*. Ariel.

https://books.google.com.ec/books/about/Teledeteccion_ambiental.html?id=aKsNXCVctcQC&printsec=frontcover&source=kp_read_button&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Cuenca, P., & Echeverria, C. (2017). How do protected landscapes associated with high biodiversity and population levels change? *PLoS ONE*, 12(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180537>

Cueva, J. (2012). *Elaboración y análisis del estado de la cobertura vegetal de la provincia de Loja - Ecuador (tesis de Magister Scientiae)*. Universidad Internacional de Andalucía.

FAO. (2019). *Introducción | Plataforma de Territorios Inteligentes | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. <http://www.fao.org/in-action/territorios-inteligentes/componentes/ordenamiento-territorial/introduccion/es/>

FLACSO, MAE, & PNUMA. (2008). GEO Ecuador 2008. *Informe Sobre El Estado Del Medio Ambiente.*, 192. <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/41444.pdf>

GAD de Celica. (2014). PALN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO

TERRITORIAL DEL CANTÓN CELICA (PDOT), 2014-2019. In *MUNICIPIO DE CELICA*.

Gondard, P., León V., J., Sylva Ch., P., Chiriboga V., M., Cuvi, M., & Faurox, E. (1988).

Transformaciones Agrarias en el Ecuador. *Geografía Básica Del Ecuador. Tomo V Geografía Agraria, Volumen 1*, 1–136.

Hernández, Y. (2010). *El ordenamiento territorial y su construcción social en Colombia :*

¿ un instrumento para el desarrollo sustentable ? 97–109.

INEC. (2011). *Reporte Estadístico el Sector Agropecuario*. 1–49.

Lázaro, A., & Tur, C. (2018). Los cambios de uso del suelo como responsables del declive

de polinizadores. *Ecosistemas* (1992), 27(2), 23–33.

<https://doi.org/10.7818/re.2014.27-2.00>

MAE. (2012). *Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental* (p.

186). Ministerio del Ambiente.

Marchi, M. De, Pappalardo, S. E., & Codato, D. (2017). *Íconos para el Buen Vivir : la*

Amazonia Centro-Sur y sus geografías plurales (Issue May).

Martínez-Dueñas, W. (2010). INRA - Índice integrado relativo de antropización:

propuesta técnica-conceptual y aplicación. *Intropica: Revista Del Instituto de*

Investigaciones Tropicales, 5(1), 37–46. <https://doi.org/10.21676/23897864.152>

Martínez, A. F., & Tur, J. N. (2016). Planeamiento territorial sostenible: un reto para el

futuro de nuestras sociedades; criterios aplicados. *Cadernos MetrÓpole*, 18(37),

743–763. <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2016-3706>

Martinez, R. (2007). Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: avances y

perspectivas para América Latina y el Caribe. In *Publicación de las Naciones*

Unidas.

MINAM. (2016). INSTRUMENTOS TÉCNICO NORMATIVOS DEL

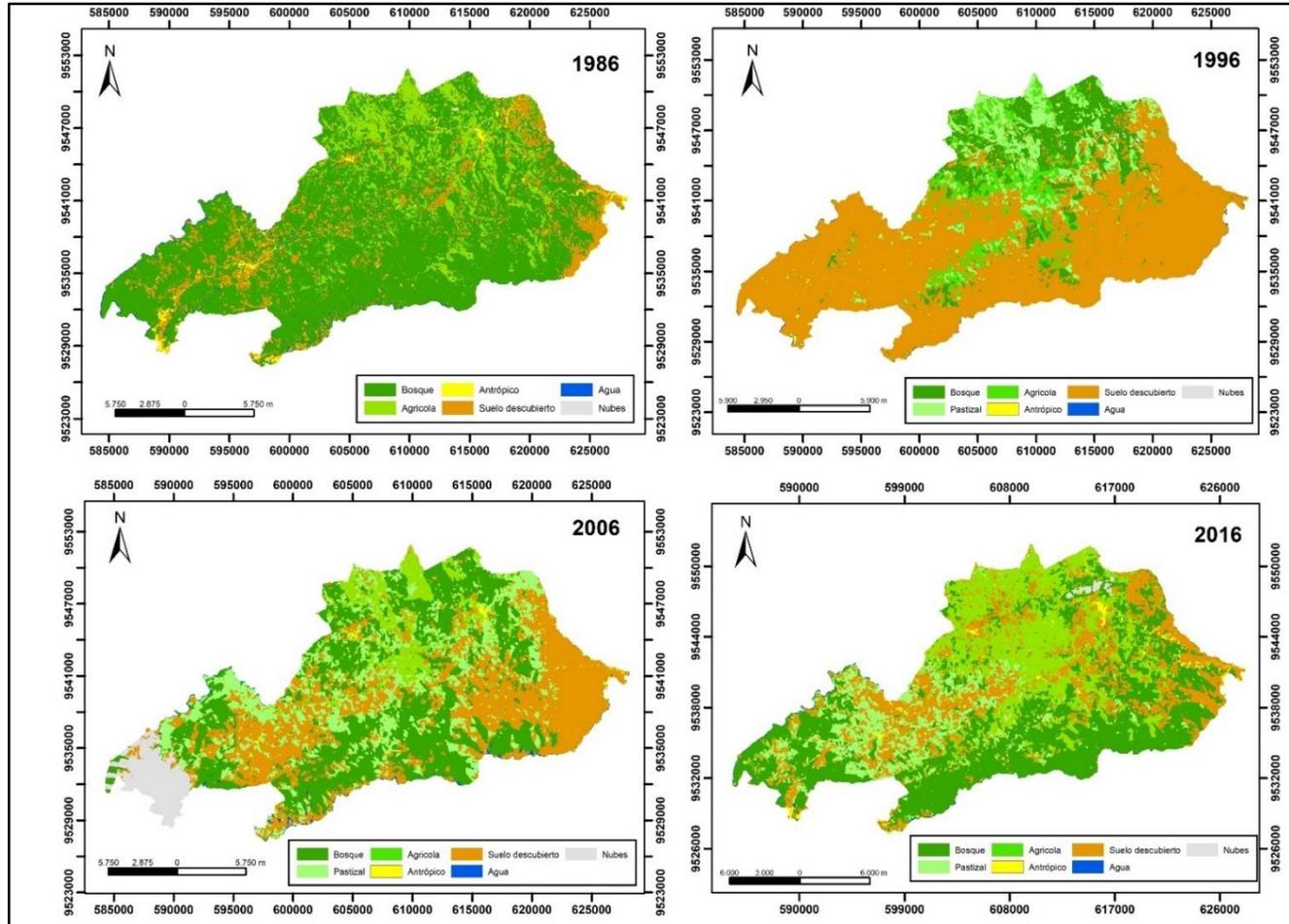
- ORDENAMIENTO TERRITORIAL. In *Ministerio del Ambiente Perú*.
- Olaya, V. (2011). *Sistemas de Información Geográfica*. Olaya Victor.
- Palacio, J., Sanchez, M., & Csado, J. (2004). *Indicadores para la ordenamiento del caracterización y territorio*. Universida Nacional Autónoma de México.
- Paruelo, J., Jobbágy, E., LATERRA, P., Dieguez, H., García, A., & Panizza, A. (2014). Ordenamiento Territorial Rural: Conceptos, Métodos y Experiencias. In *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. <https://doi.org/10.13140/2.1.4004.4320>
- Pineda, O. (2011). *Análisis de cambio de uso de suelo mediante percepción remota en el municipio de Valle de Santiago (tesis de Magister Scientiae)*. Centro Público de Investigación CONACYT.
- Quiróz, E. (2015). *Cambio de uso de suelo en el cantón Arajuno, Ecuador (2000, 2008 y 2012) Análisis enfocado en la nacionalidad Huaoraní (Tesis de Maestría)*.
- Reina, I. E., Guzmán, I. V., Cevallos, I. A., & Tituana, I. A. (2011). Informe técnico muestreo y análisis de la calidad del agua en la cuenca del río puyango. In *SECRETARIA NACIONAL DEL AGUA*.
- Sánchez, J. (2016). Análisis de Calidad Cartográfica mediante el estudio de la Matriz de Confusión. *Pensamiento Matemático*, 6(2), 9–26.
- Santos, J. C., De Oliveira, J. R. F., & Dutra, L. V. (2005). Uso de algoritmos genéticos en la selección de atributos para la clasificación de la región. *GEOINFO 2005 - 7th Brazilian Symposium on GeoInformatics*, 253–261.
- Silva, R., & Capillo, Gama Alcántara, G. (2011). Clasificación No Supervisada de la Cobertura de Suelo de la Región Sierra de Tabasco Mediante Imágenes Landsat Etm+. *Universidad y Ciencia*, 27(1), 33–41. <https://doi.org/10.19136/era.a27n1.138>
- Veliz, F. (2015). *Análisis Multi-Temporal del cambio de uso del suelo en el cantón*

Zapotillo, Provincia de Loja (tesis de Ingeniería). UNiversidad Nacional de Loja.

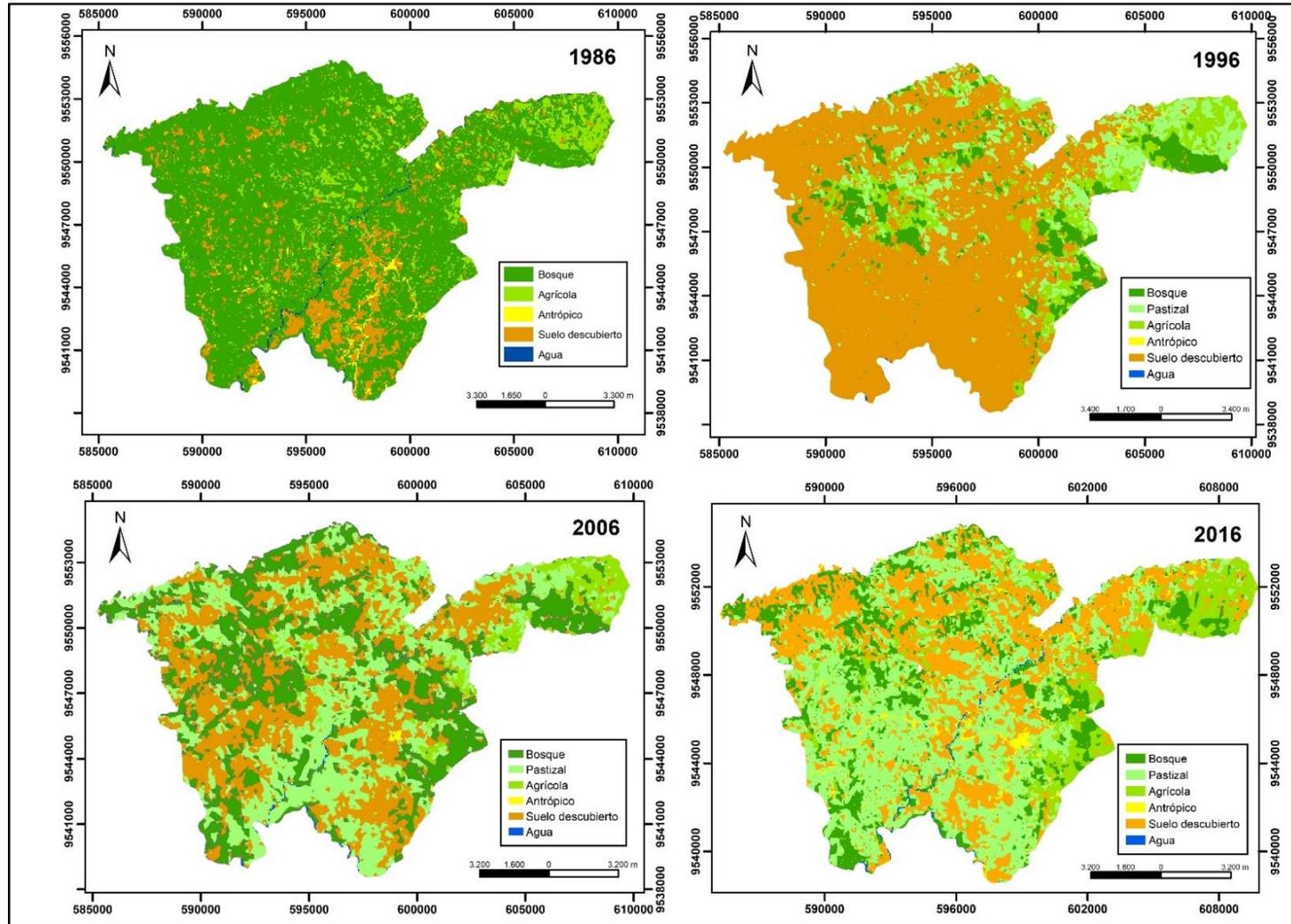
Veloza, J. (2017). Análisis Multitemporal de las coberturas y Usos del Suelo de la reserva forestal Protectora- Productora “Casablanca” En Madrid Cundinamarca entre los Años 1961 Y 2015: Aportes para el Ordenamiento Territorial Municipal. *ABA Journal*, 102(4), 24–25. <https://doi.org/10.1002/ejsp.2570>

9. ANEXOS

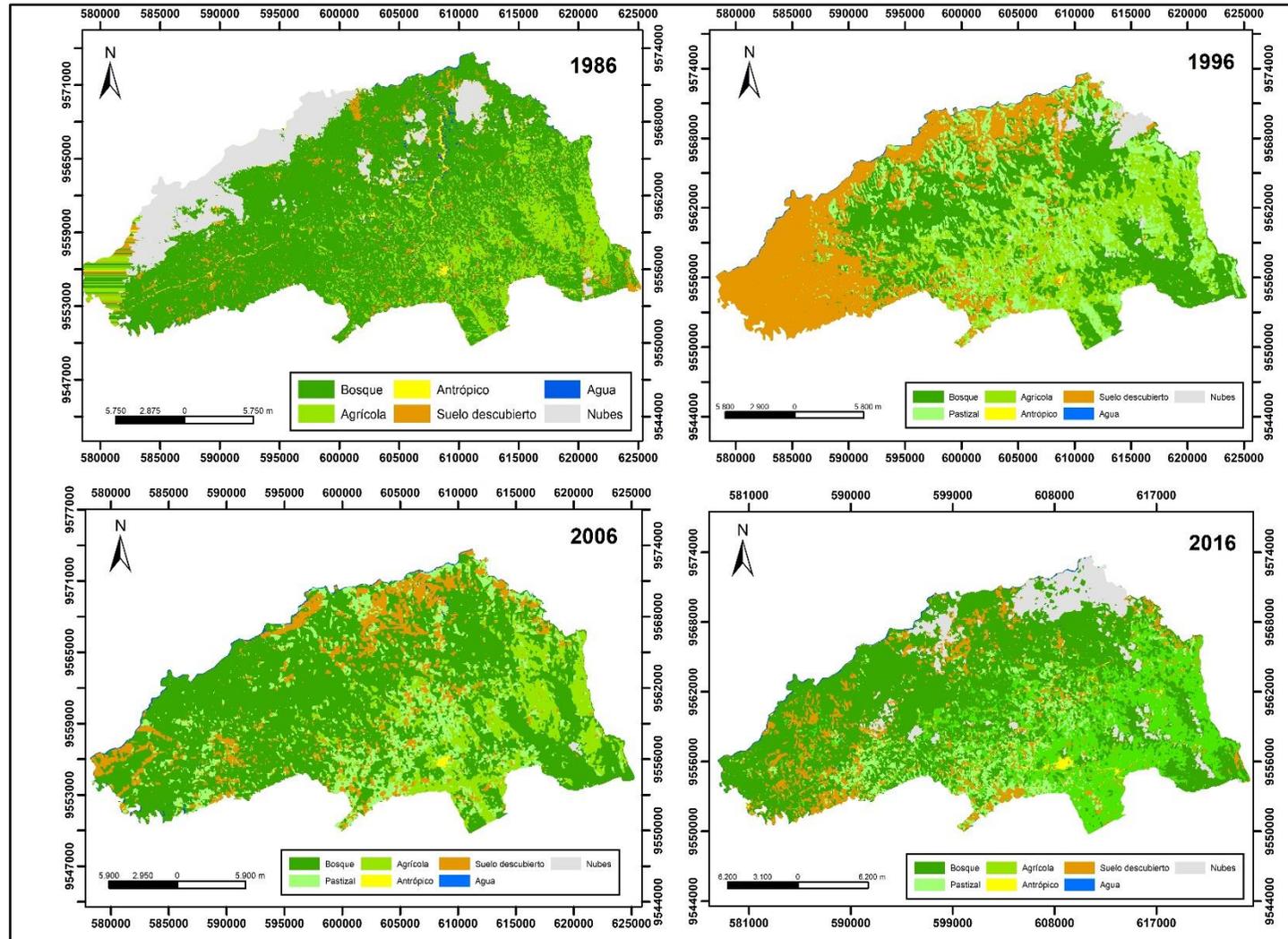
Anexo 1. Mapa de cobertura y uso de suelo del Cantón Celica correspondiente a los años 1986, 1996, 2006 y 2016



Anexo 2. Mapa de cobertura y uso de suelo del Cantón Pindal correspondiente a los años 1986, 1996, 2006 y 2016



Anexo 3. Mapa de cobertura y uso de suelo del Cantón Puyango correspondiente a los años 1986, 1996, 2006 y 2016



Anexo 4. Matriz de confusión de la imagen clasificada correspondiente al año 1986

Cobertura	Bosque	Pastizal	Agrícola	Zona Antrópica	Suelo descubierto	Agua	Nubes	Total	Exactitud de Usuario	Error de Comisión
Bosque	31		4					35	0,89	0,11
Pastizal		0						0	0,00	0,00
Agrícola	6	0	22					28	0,79	0,21
Zona Antrópica				8	3			11	0,73	0,27
Suelo descubierto					13			13	1,00	0,00
Agua						6		6	1,00	0,00
Nubes							7	7	1,00	0,00
Total	37	0	26	8	16	6	7	100		
Exactitud del Productor	0,84	0,00	0,85	1	0,81	1	1			
Error de Omisión	0,16	0,00	0,15	0	0,19	0	0			
KAPPA	0,83									

Anexo 5. Matriz de confusión de la imagen clasificada correspondiente al año 1996

Cobertura	Bosque	Pastizal	Agrícola	Zona Antrópica	Suelo descubierto	Agua	Nubes	Total	Exactitud de Usuario	Error de Comisión
	Bosque	18	1	1					20	0,90
Pastizal		22	4					26	0,85	0,15
Agrícola	2	4	22					28	0,79	0,21
Zona Antrópica				6	1			7	0,86	0,14
Suelo descubierto					10			10	1,00	0,00
Agua						5		5	1,00	0,00
Nubes							4	4	1,00	0,00
Total	20	27	27	6	11	5	4	100		
Exactitud del Productor	0,9	0,81	0,81	1	0,91	1	1			
Error de Omisión	0,1	0,19	0,19	0	0,09	0	0			
KAPPA	0,84									

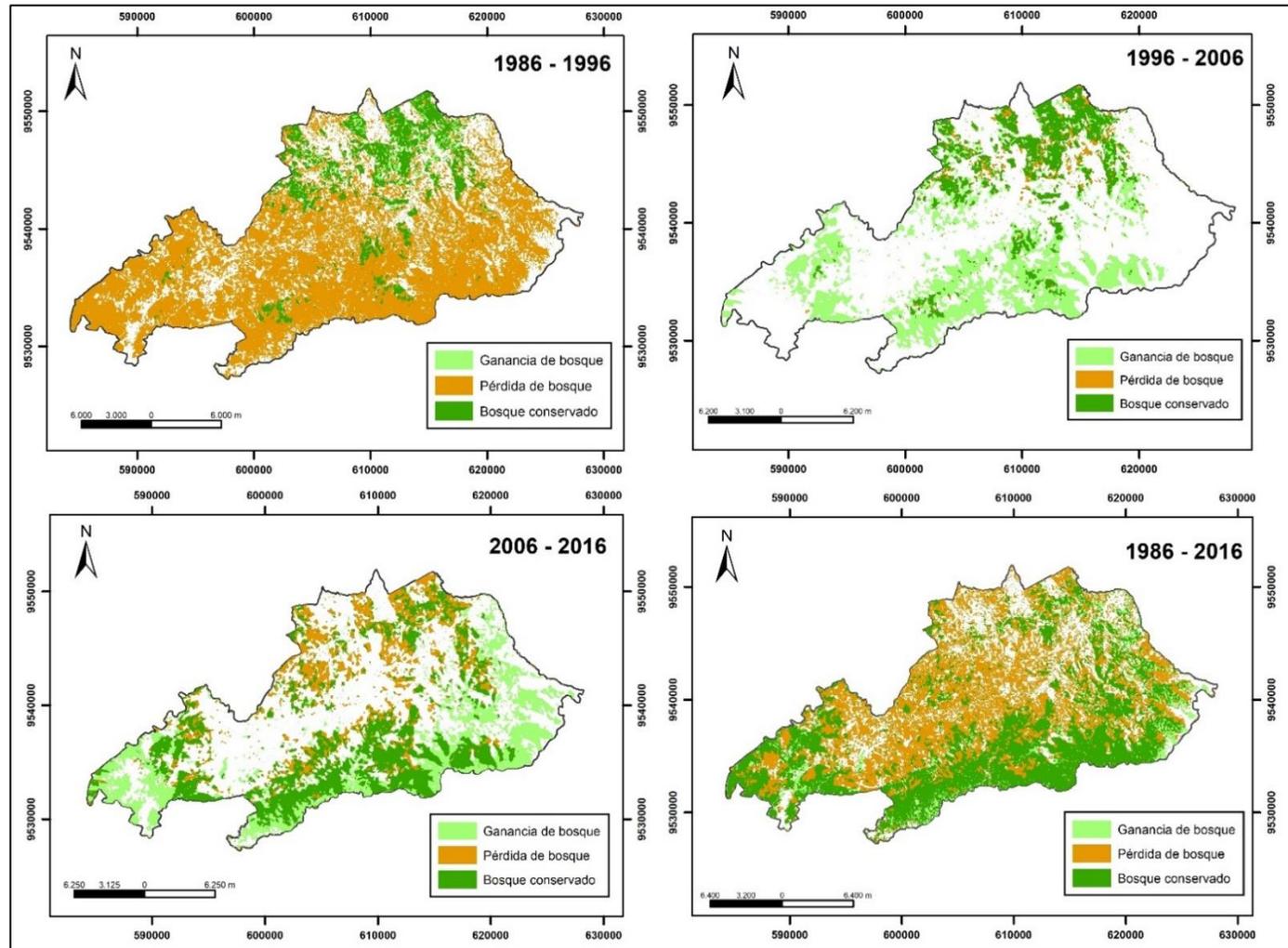
Anexo 6. Matriz de confusión de la imagen clasificada correspondiente al año 2006

Cobertura	Bosque	Pastizal	Agrícola	Zona Antrópica	Suelo descubierto	Agua	Nubes	Total	Exactitud de Usuario	Error de Comisión
Bosque	15							15	1,00	0,00
Pastizal	3	19	2					24	0,79	0,21
Agrícola		5	21					26	0,81	0,19
Zona Antrópica				10	1			11	0,91	0,09
Suelo descubierto				1	10			11	0,91	0,09
Agua						6		6	1,00	0,00
Nubes							7	7	1,00	0,00
Total	18	24	23	11	11	6	7	100		
Exactitud del Productor	0,83	0,79	0,91	0,91	0,91	1	1			
Error de Omisión	0,17	0,21	0,09	0,09	0,09	0	0			
KAPPA	0,85									

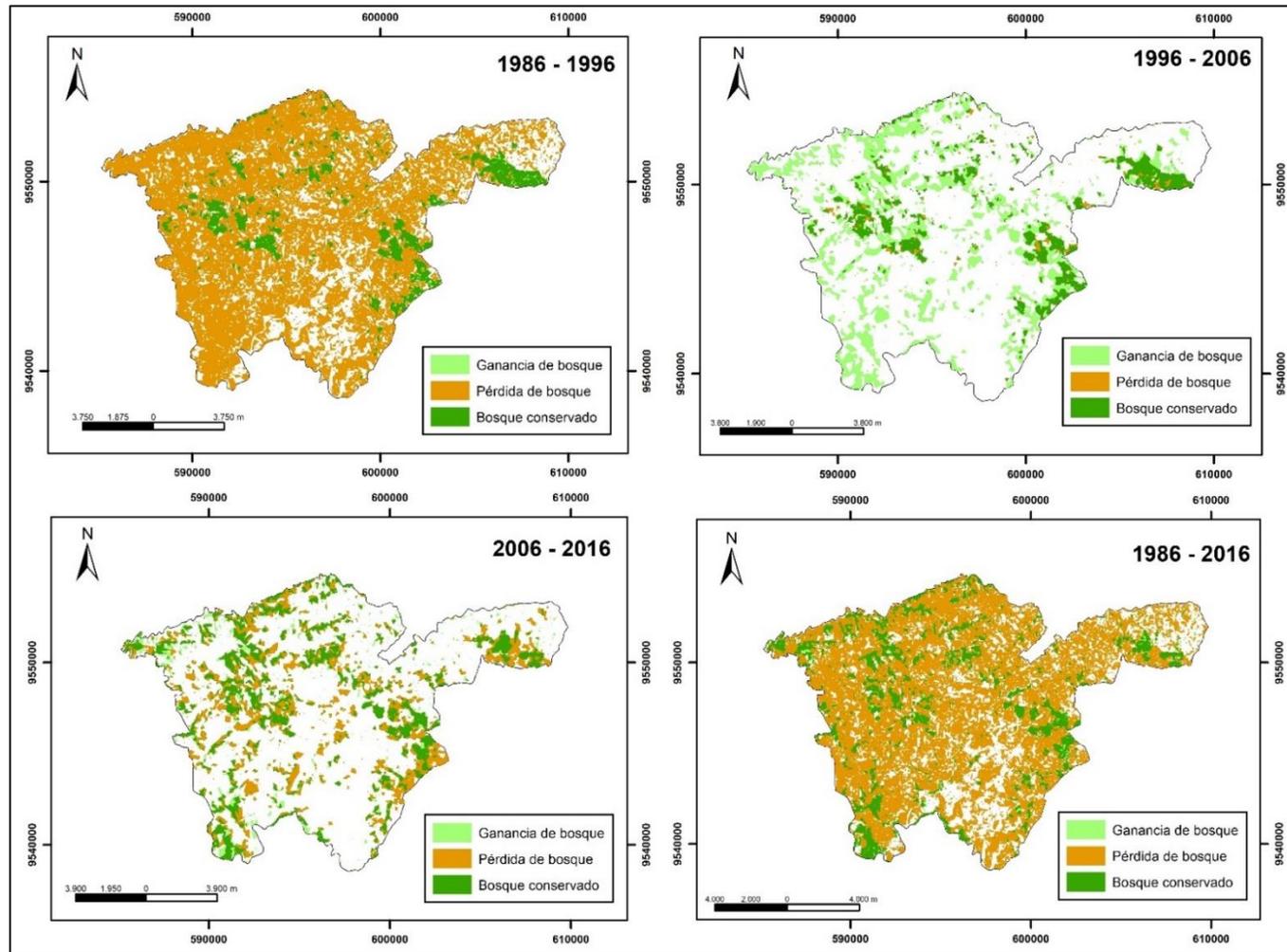
Anexo 7. Matriz de confusión de la imagen clasificada correspondiente al año 2016

Cobertura	Bosque	Pastizal	Agrícola	Zona Antrópica	Suelo descubierto	Agua	Nubes	Total	Exactitud de Usuario	Error de Comisión
Bosque	19							19	1,00	0,00
Pastizal	4	21	2					27	0,78	0,22
Agrícola		3	28	1				32	0,88	0,13
Zona Antrópica				6	1			7	0,86	0,14
Suelo descubierto					5			5	1,00	0,00
Agua						5		5	1,00	0,00
Nubes							5	5	1,00	0,00
Total	23	24	30	7	6	5	5	100		
Exactitud del Productor	0,82608696	0,88	0,93	0,86	0,83	1	1			
Error de Omisión	0,17391304	0,13	0,07	0,14	0,17	0	0			
KAPPA	0,86									

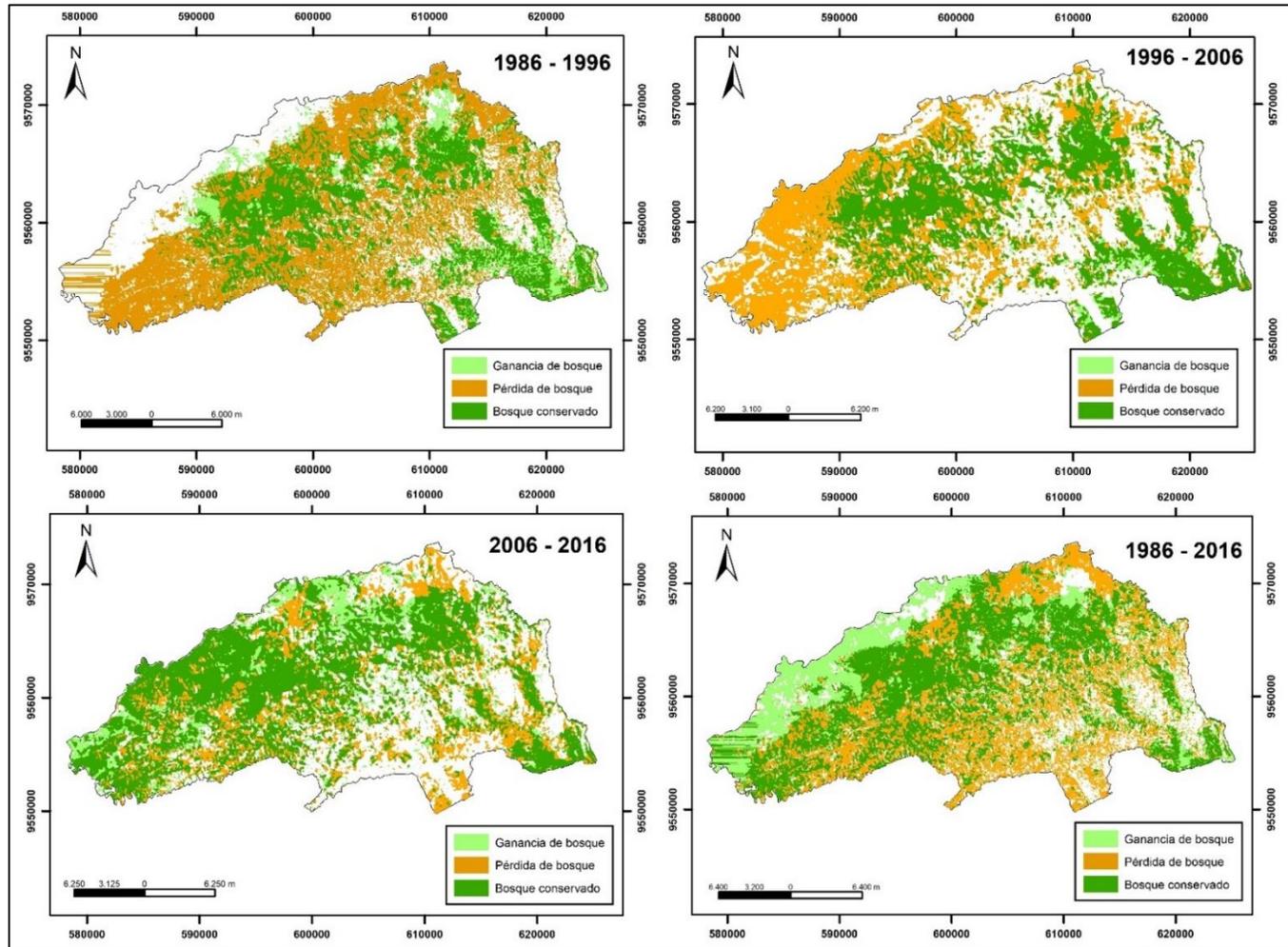
Anexo 8. Ganancia y pérdida de bosque del cantón Celica de los periodos 1986 - 1996; 1996 - 2006; 2006 - 2016 y 1986 - 2016.



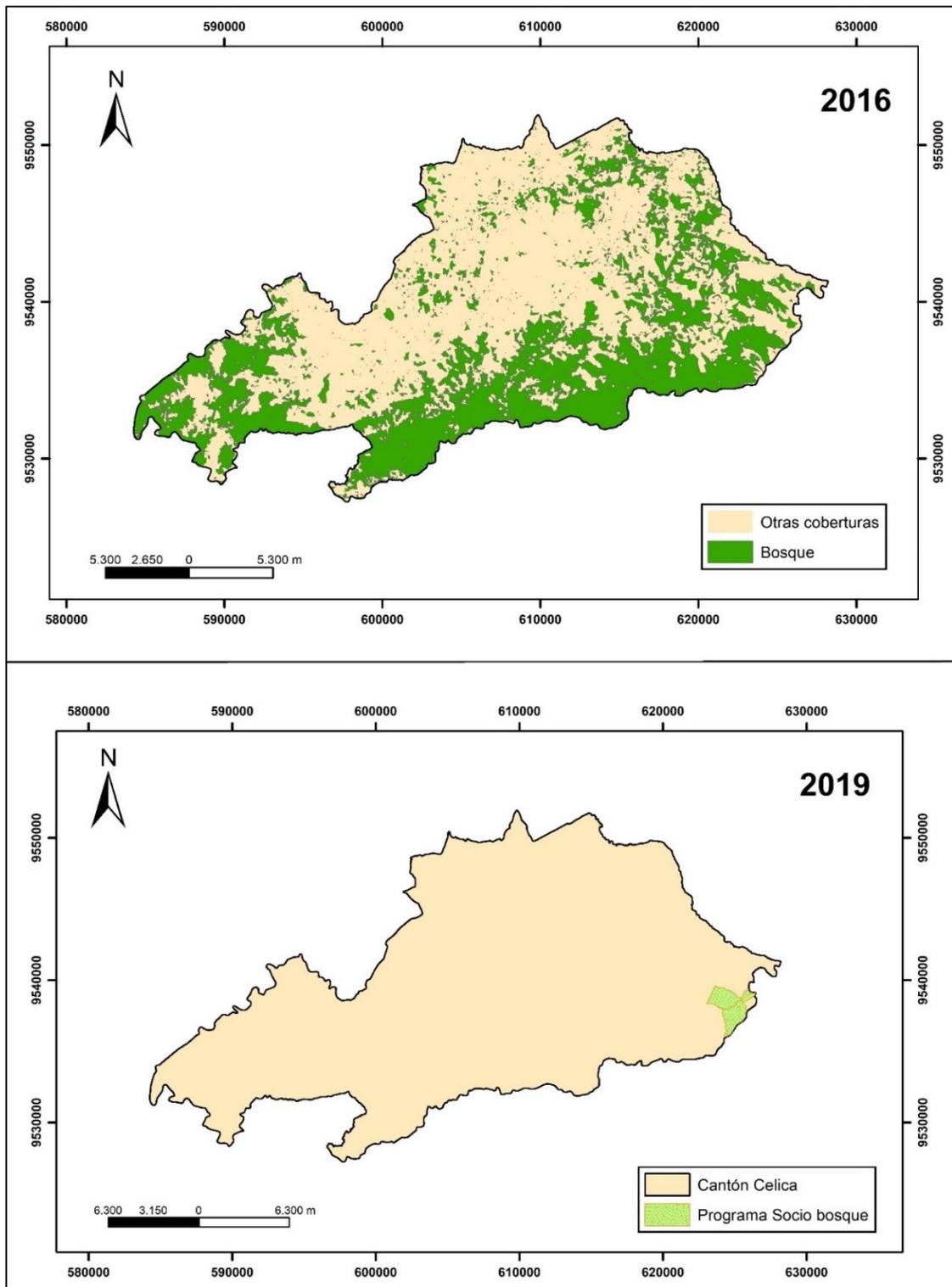
Anexo 9. Ganancia y pérdida de bosque del cantón Pindal, de los periodos 1986 - 1996; 1996 - 2006; 2006 - 2016 y 1986 - 2016.



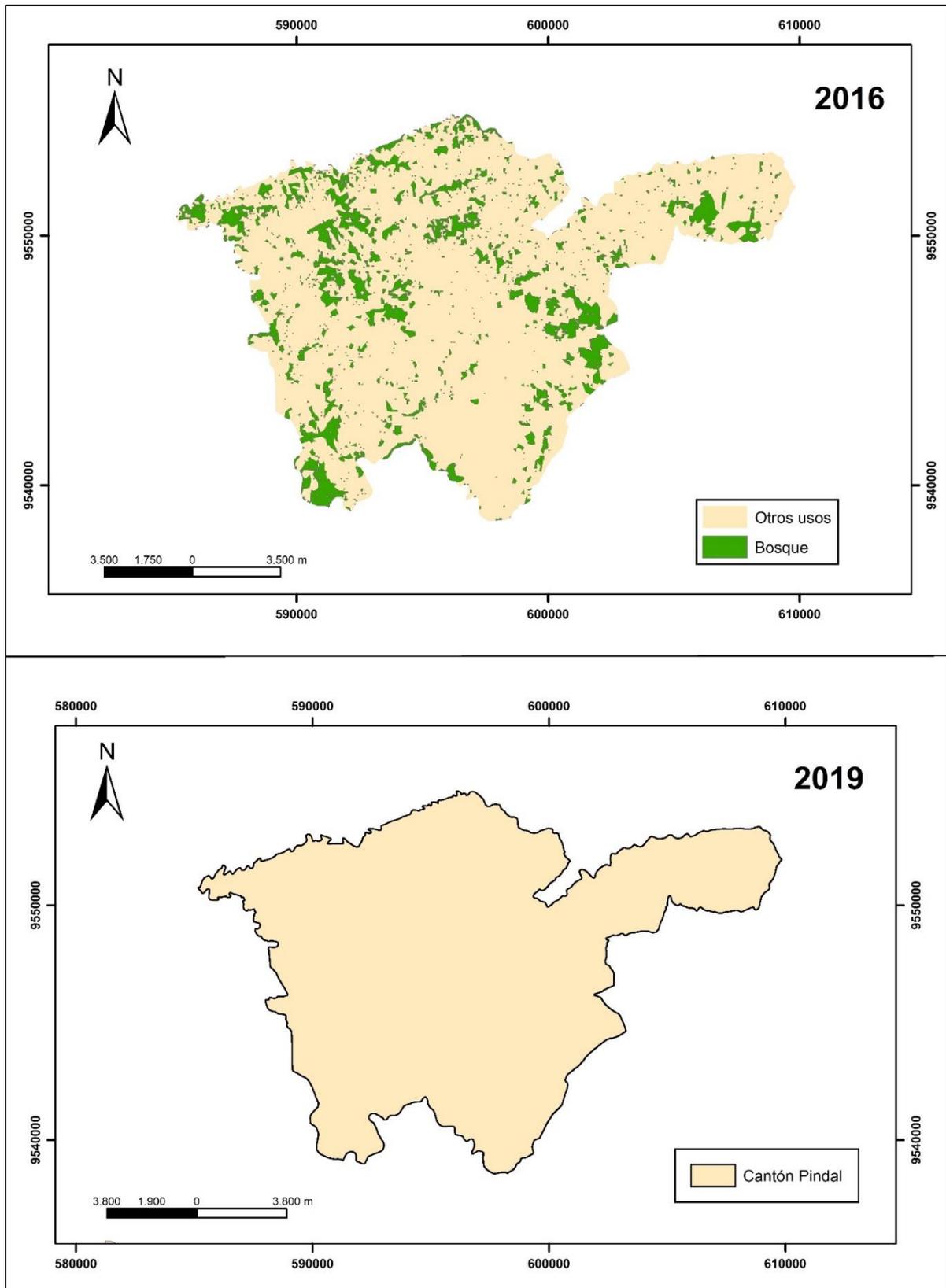
Anexo 10. Ganancia y pérdida de bosque del cantón Puyango, de los periodos 1986 - 1996; 1996 - 2006; 2006 - 2016 y 1986 - 2016.



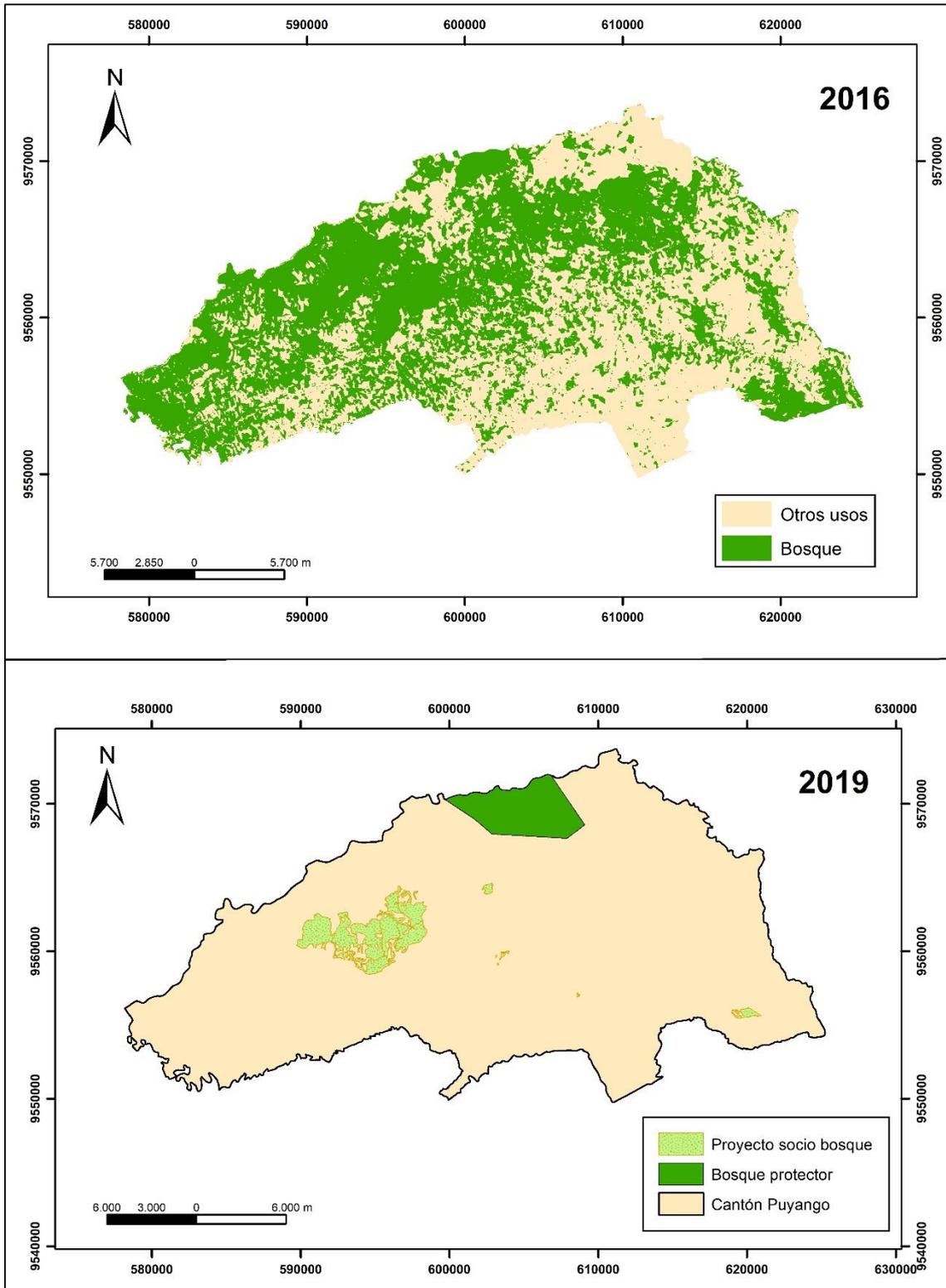
Anexo 11. Mapa comparativo de la cobertura de bosque del año 2016 frente a la cobertura de Áreas Naturales definidas por el MAE en el año 2019 del cantón Celica



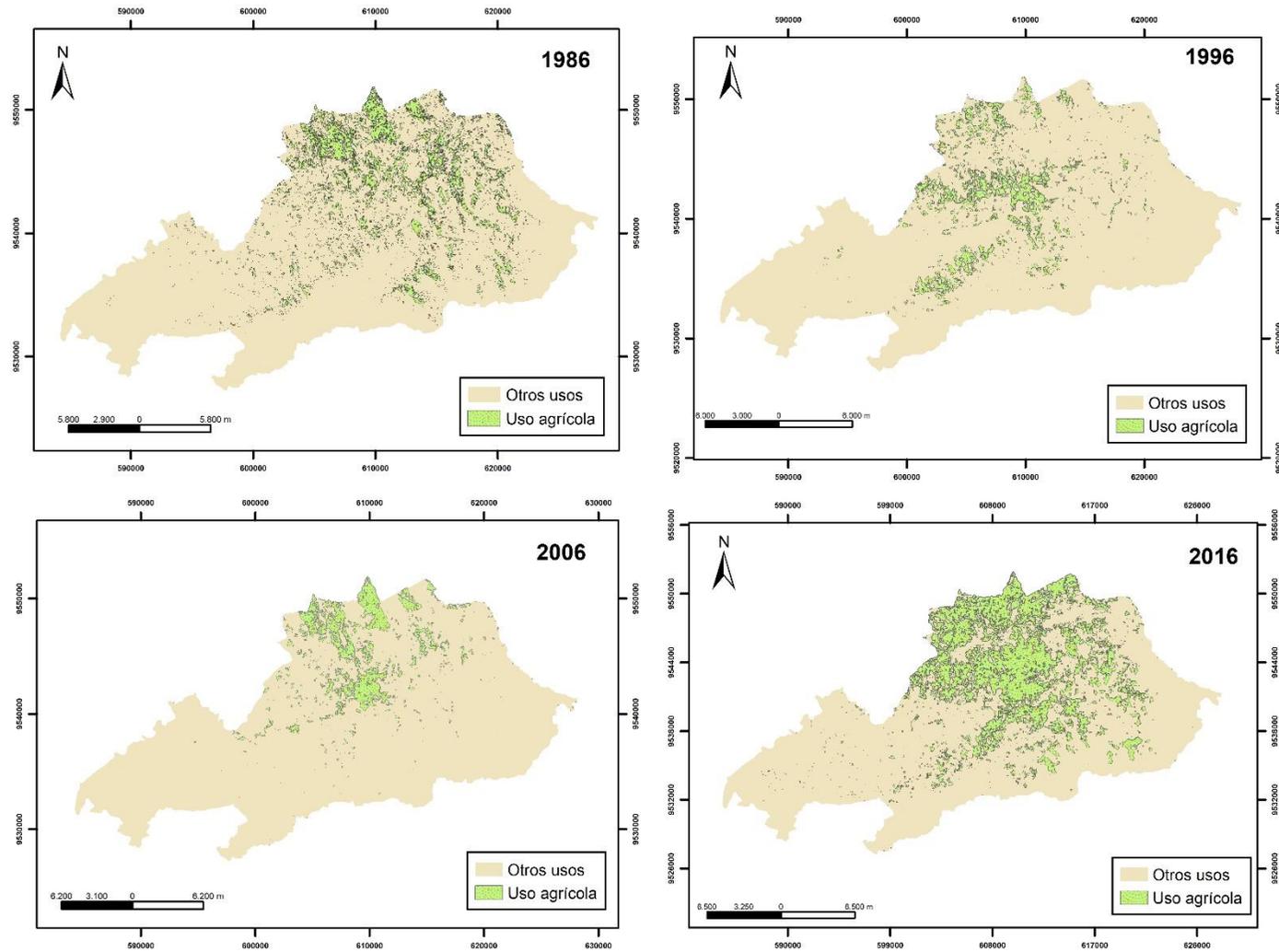
Anexo 12. Mapa de comparativo de la cobertura de bosque del año 2016 frente a la cobertura de Áreas Naturales definidas por el MAE en el año 2019 del cantón Pindal.



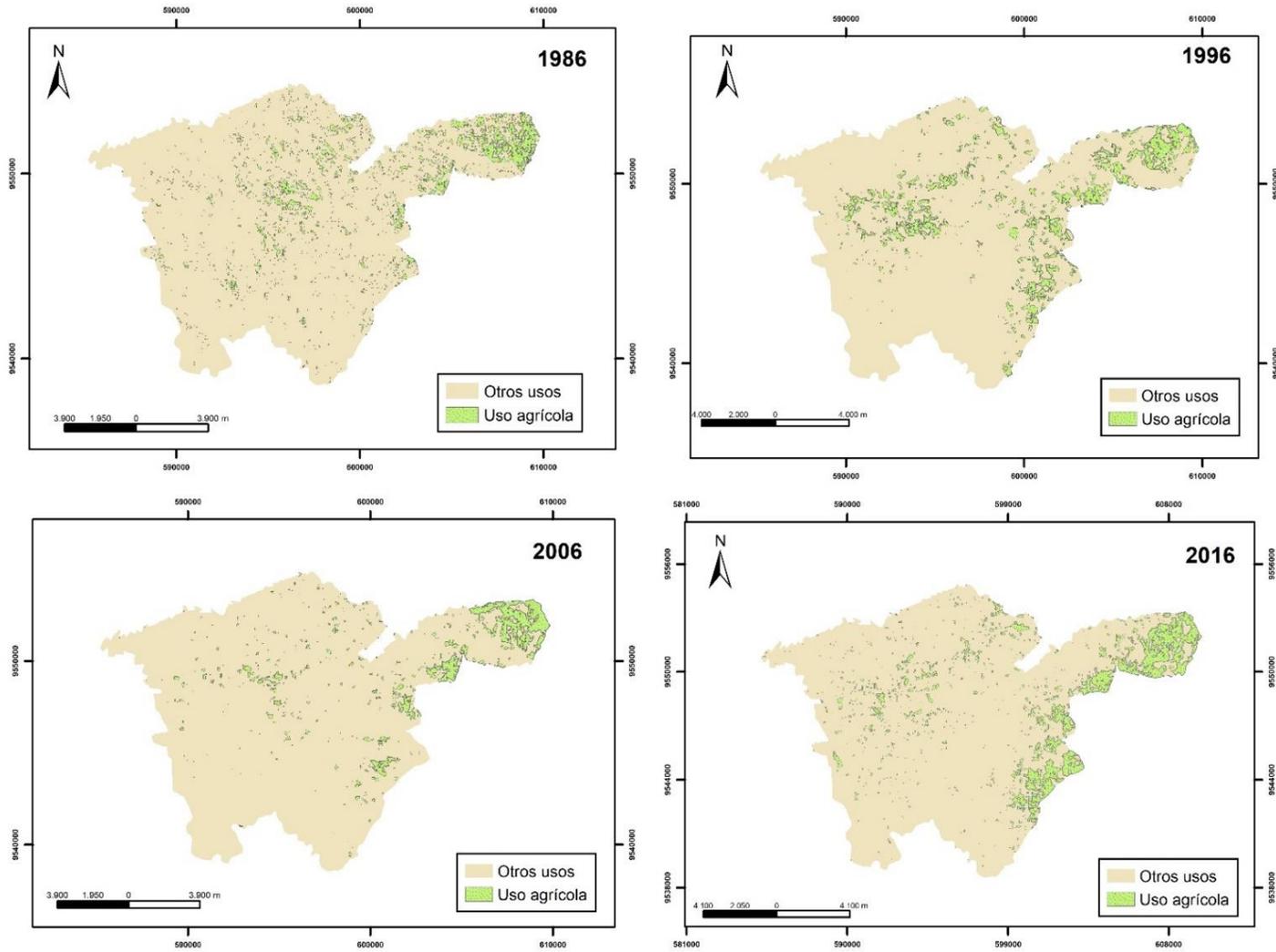
Anexo 13. Mapa de comparativo de la cobertura de bosque del año 2016 frente a la cobertura de Áreas Naturales definidas por el MAE en el año 2019 del cantón Puyango



Anexo 14. Mapa de comparativo de la cobertura de la extensión de la frontera agrícola en el cantón Celica pertenecientes a los años 1986, 1996, 2006 y 2016



Anexo 15. Mapa de comparativo de la cobertura de la extensión de la frontera agrícola en el cantón Pindal pertenecientes a los años 1986, 1996, 2006 y 2016



Anexo 16. Mapa de comparativo de la cobertura de la extensión de la frontera agrícola en el cantón Puyango pertenecientes a los años 1986, 1996, 2006 y 2016.

