



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

SEDE MANABÍ

CARRERA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

TRABAJO DE TITULACIÓN:

**EVALUACIÓN DE CAMBIOS EN COBERTURA DEL SUELO EN
CUENCAS DE LAS CORDILLERAS OCCIDENTAL Y COSTERA**

PREVIO AL TÍTULO DE:

INGENIERO HIDRÁULICO

AUTOR:

JULIO CÉSAR ESPINOZA CASANOVA

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:

MGTR. ANDY MIGUEL GILER ORMAZA

MAYO 2021

PORTOVIEJO – MANABÍ – ECUADOR

CERTIFICACIÓN

Ing. Andy Miguel Giler Ormaza, Mgs

DIRECTOR DEL PROYECTO DE GRADO

CERTIFICA:

En mi calidad de tutor del trabajo de integración curricular, certifico haber revisado el presente manuscrito de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, cumpliendo la Normativa del Trabajo de Integración Curricular; en consecuencia, es apto para su presentación y sustentación.

.....

Ing. Andy Miguel Giler Ormaza, Mgs

ACTA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador aprueba el presente trabajo de integración curricular en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí.

(f) _____

Ing. Andy Miguel Giler Ormaza

(f) _____

Ing. John Enrique Félix Mera

(f) _____

Ing. José Ramón Alarcón Loor

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Este manuscrito no contiene ningún tipo de material que ha sido aceptado para la obtención de un título universitario en otra institución, excepto en forma de información de soporte que ha sido debidamente citada en mi trabajo. Este trabajo es de total responsabilidad del autor, quien declara bajo juramento que ninguna sección de este trabajo de integración curricular infringe los derechos de autor de nadie.

.....

Julio César Espinoza Casanova

C.I. 1311692352

DECLARACIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a distribuir este manuscrito de investigación en medios físicos y electrónicos con el fin de promover la divulgación de mis resultados a la comunidad científica y a la sociedad en general. Adicionalmente autorizo el uso de los contenidos de esta investigación como bibliografía para fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, citando como fuente de información al autor de este trabajo.

FECHA:

FIRMA:

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, a mis padres y mis seres queridos por apoyarme siempre en lo que necesito, motivarme a seguir adelante y facilitar los recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación.

También agradezco el trabajo del tutor de ésta investigación cuya guía fue esencial en la estructuración y perfeccionamiento del trabajo de integración curricular.

Julio César Espinoza Casanova

Resumen

Esta investigación cuantitativa pretendió evaluar los cambios de cobertura y uso de suelo en las cuencas de los ríos Quinindé, Chimbo y Toachi, ya que su ejecución permitió identificar factores negativos relacionados a fuentes hídricas. Ciertamente, esta investigación tuvo lugar en las cuencas de los ríos mencionados, desde noviembre de 2020 a marzo de 2021, usando registros de los cambios ocurridos en el periodo 1992-2015. Mediante metodología descriptiva, se utilizaron imágenes satelitales de la página oficial de la Agencia Espacial Europea, para realizar un análisis multitemporal y estimar la potencial influencia de los cambios respecto a los aumentos de escorrentía e infiltración. Los resultados evidencian cambios, ya sea a favor de la infiltración o escorrentía. En la cuenca Quinindé, los cambios favorecen la infiltración debido al aumento de cobertura arbórea del 43% al 54.7%. En la cuenca Chimbo, los cambios resaltan la escorrentía por el alto porcentaje de matorrales que asciende de un 37.9% a 43.88 %. Los cambios en la cuenca Toachi favorecen la escorrentía desde 1992 a 2009, pero desde 2009 a 2015 favorecen la infiltración, predomina cobertura arbórea y disminuye de un 66.4% a 65.5 %. Se concluye que cada una de las cuencas demuestra sus propias características de evolución. La gran diferencia entre una y otra son consecuencias tanto de factores exógenos como endógenos.

Palabras clave: Quinindé, Chimbo, Toachi, escorrentía, infiltración

Abstract

This quantitative research study aimed to evaluate land cover changes and land use in the *Quinindé*, *Chimbo* and *Toachi* River basins, as its implementation helped to identify negative factors related to water sources. Certainly, this research study was carried out in the above-mentioned river basins from November 2020 through March 2021, using the records of the changes occurred during the period 1992-2015. By using descriptive research methods, there were used satellite images from the official website of the European Space Agency to carry out a multi-temporal analysis and estimate the potential influence of changes regarding runoff and infiltration increases. The findings show changes, in favor of either infiltration or runoff. In the *Quinindé* basin, changes favor infiltration due to tree cover increase from 43% to 54.7%. In the *Chimbo* basin, changes highlight runoff because of the high percentage of scrubs that has increased from 37.9% to 43.88%. Changes in the *Toachi* basin favor runoff from 1992 through 2009, but they favor infiltration with a predominance of tree cover, decreasing from 66.4% to 65.5% from 2009 through 2018. It is concluded that each of the basins shows its own evolutionary characteristics. The big difference between one and the other are consequences of both exogenous and endogenous factors.

Keywords: *Quinindé*, *Chimbo*, *Toachi*, runoff, infiltration

Tabla de contenidos

1. Introducción	1
2. Materiales y métodos	3
2.1. Área de estudio	3
2.2. Enfoque de investigación.....	5
2.3. Recolección de datos	5
2.4. Análisis multitemporal de cambios en el uso de la tierra	6
2.5. Influencia en la hidrología de los cambios de cobertura y uso de suelo	7
2.6. Diagrama de flujo de las actividades	8
3. Resultados	8
3.1. Evaluación de cambios en cuenca del río Quinindé	9
3.2. Evaluación de cambios en cuenca del río Chimbo	10
3.3. Evaluación de cambios en cuenca del río Toachi	11
4. Discusión.....	12
5. Conclusiones.....	14
6. Referencias Bibliográficas	16
7. Anexos	20

Índice de figuras

Figura 1	20
Figura 2	21
Figura 3	22
Figura 4	23
Figura 5	24
Figura 6	25
Figura 7	26
Figura 8	27
Figura 9	28
Figura 10	29
Figura 11	30
Figura 12	31
Figura 13	32
Figura 14	32
Figura 15	33
Figura 16	34
Figura 17	35
Figura 18	36
Figura 19	37
Figura 20	38

1. Introducción

A nivel mundial todo tema que esté relacionado con el cambio de cobertura y uso de suelo involucra fines económicos, políticos o de impacto ambiental. De acuerdo con Camacho *et al.* (2017) es un hecho que la economía practicada por distintas sociedades guarda una estrecha e importante relación en la dinámica de uso de suelo y en el deterioro ambiental.

Ecuador es un país con una cantidad considerable de recursos y áreas naturales, sin embargo son escasos los estudios que tengan la finalidad de conocer el grado de importancia de dichos recursos (Orellana & Lalvay, 2018). Por tal razón es importante realizar estudios que involucren al tema como lo son el cambio de cobertura y uso de suelo en cuencas del territorio nacional.

Los cambios son los resultados o efectos de una acción específica por lo que al determinar la causa se puede inferir un patrón que los relacione. Sin embargo, los patrones que tienden a promover el cambio de cobertura y uso de suelo se ven reflejados por una serie de comportamientos al azar, por ende están sujetos a un análisis estadístico (Jalmacin *et al.*, 2017, como se citó en Chu *et al.*, 2010).

De acuerdo con Lambin *et al.* (2003) analizar las causas de cambio en la cobertura y uso del suelo integra varias interacciones complejas donde influyen diferentes perspectivas debido a que se enfocan en niveles organizacionales específicos y escalas temporales del entorno humano, esto implica el involucramiento de factores endógenos y exógenos. Entre los cambios negativos implica las áreas de innovación tecnológica e institucional. Incluso la política tiende a ser un factor influyente en los cambios y pueden ser favorables o no.

Según Mateus (2014) al combinar el manejo de imágenes satelitales procedentes de sensores remotos con análisis espacial de un territorio en específico para comparar las

coberturas en diferentes fechas permite fundamentar los distintos elementos que se ven involucrados en el cambio del entorno estudiado. Además, reconoce que facilita la identificación de factores negativos relacionados a fuentes hídricas.

Esta investigación tiene la intención de colaborar con el ordenamiento en gestión de territorio y recursos hídricos. Una evaluación designada al enfoque de los cambios ofrece un conocimiento sobre el impacto de las actividades económicas o de desarrollo sobre el territorio y sus recursos naturales (Rojas *et al.*, 2019, como se citó en Berberoglu & Akin, 2009), como por ejemplo cambios en la hidrología de las cuencas por el efecto de aumento o disminución de escorrentía e infiltración.

En el Ecuador existen problemas relacionados a fuentes hídricas, un caso en específico trata la cuenca Quinindé donde se registraron inundaciones en las comunidades del cantón debido al desbordamiento de varios ríos. Entre ellos están: el desbordamiento de los ríos Cube y Viche (Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias [SNGRE], 2014); y el desbordamiento del río Cocola (SNGRE, 2016a), mismo río cuya crecida dejó viviendas inundadas en el barrio San Ramón (SNGRE, 2019).

La información da a entender que la causa de dichas inundaciones en el cantón no proviene directamente de ríos principales, sin embargo en un reportaje elaborado por Teleamazonas (2015) se evidencia como las comunidades sufren por inundaciones donde participan los dos ríos principales que son río Quinindé y río Blanco durante una crecida en aquel año.

En cuanto a Toachi de acuerdo con el SNGRE (2016b) se declaró zona de riesgo en el Alluriquín debido al desbordamiento del río Damas el cual está en confluencia con el río Toachi aguas abajo. Además, el proyecto hidroeléctrico Toachi-Pilaton aprovecha el caudal ecológico vertido por la presa Toachi (Corporación Eléctrica del Ecuador [CELEC], 2018). Por lo que es esencial el debido manejo y cuidado de la cuenca.

La cuenca del río Chimbo también registró problemas relacionados a fuentes hídricas como lo menciona El Comercio (2017) en un artículo periodístico donde el aumento de nivel del río Chimbo que surge en Bucay y el de otros esteros de cantones cercanos provocaron inundaciones y desbordamientos en Milagro.

El objetivo general de la presente investigación es evaluar los cambios de cobertura y uso del suelo en las cuencas de Quinindé, Chimbo y Toachi. Para lograrlo procedemos a: recolectar información base de cobertura y uso de suelo de la página ESA Climate Change Initiative - Land Cover; realizar un análisis multitemporal de los cambios en la cobertura y uso de suelo en las cuencas; y estimar la potencial influencia sobre generación de escorrentía e infiltración en las áreas de estudio en base de argumentos sobre literatura hidrológica.

2. Materiales y métodos

Los instrumentos necesarios para ésta metodología requieren un programa de Sistema de Información Geográfica (GIS). Para fines específicos esta investigación utiliza herramientas del programa ArcGIS versión 10.3. También se necesita el programa Excel para el procesamiento de los resultados.

2.1. Área de estudio

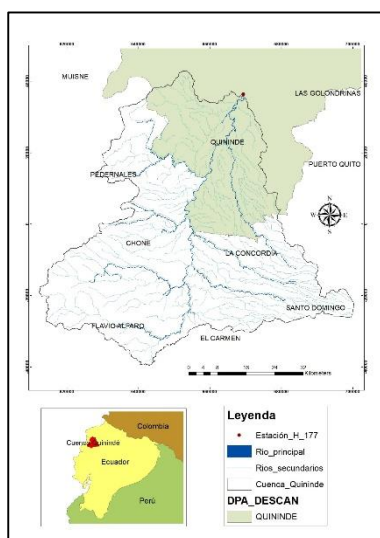
La presente investigación abarca tres áreas específicas de diferentes cuencas hidrológicas. Estas cuencas son de los ríos Quinindé, Chimbo y Toachi. La cuenca de Quinindé comprende un área de 3668 km²; la cuenca del río Toachi que parte en Bucay representa un área de 2367 km²; y la sub-cuenca del río Chimbo abarca un área de 2242 km².

Las áreas mencionadas en el párrafo anterior fueron seleccionadas de entre todas las demás cuencas disponibles en las cordilleras occidental y costera del Ecuador debido al hecho que presentan los cambios más significativos dentro del enfoque de esta investigación el cual corresponde a los resultados que brinda la Agencia Espacial Europea durante los años 1992 a 2015.

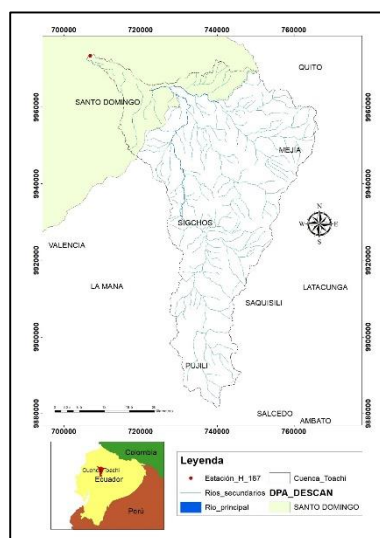
La cuenca Quinindé parte desde la estación H0177, como se muestra en la Figura 1, perteneciente a la red de estaciones hidrológicas automáticas. Ubicada en la Provincia de Esmeraldas, parroquia Rosa Zárate del cantón Quinindé. La estación se encuentra exactamente en las coordenadas: Este 669464; Norte 36396, tipo de coordenadas planas UTM 17 N a una altitud de 110 msnm. (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI], 2016).

La cuenca del río Toachi surge cerca de la laguna Quilotoa al norte de Cotopaxi. El río desciende en dirección Noroeste, pasa por Santo Domingo y desemboca en el río Blanco. La estación que demarca la cuenca es H0167 con el nombre de Toachi en Santo Domingo, la cuenca se encuentra detallada en la Figura 2. Las coordenadas exactas en UTM son: zona 17 S, Este: 707253.6, Norte: 9973489.4 a una altura de 420 msnm. (INAMHI, 2016).

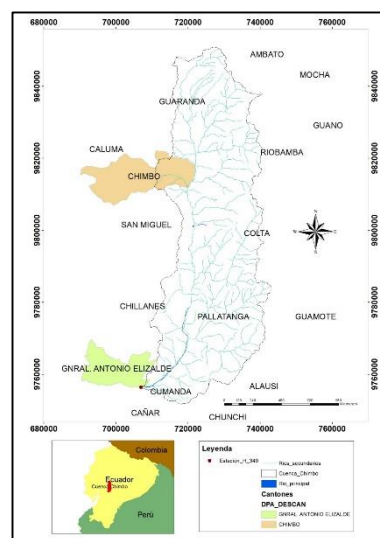
La sub cuenca del río Chimbo abarca tierras de las provincias Bolívar y Chimborazo (Barrera *et al.* 2010). La delimitación de la sub cuenca como se muestra en la Figura 3 nace a partir de la estación H0340 con el nombre de estación Chimbo en Bucay perteneciente a la Provincia del Guayas, parroquia Gral. A Elizalde en Bucay. Sus coordenadas UTM 17 S son: Este 707320; Norte 9756764.6 a una altitud de 297 msnm. (INAMHI, 2016).



Cuenca Quinindé



Cuenca Toachi



Cuenca Chimbo

2.2. Enfoque de investigación

El alcance de la investigación es descriptiva. Consiste en la representación de cambios durante diferentes años en las zonas de estudio designadas de tal forma que permita cuantificar los más relevantes en base a los efectos generados en el entorno como aumento de escorrentía o infiltración. Según Hernández *et al.* (2014) una investigación descriptiva proyecta medir o recolectar información sobre las variables en cuestión y detallar sus propiedades.

El Enfoque en sí de la investigación es cuantitativo puesto que dispone de recolección de información en base a mediciones y análisis estadísticos buscando conclusiones. Además este enfoque se caracteriza por ser secuencial donde cada etapa precede a la siguiente y no es posible evitar la sucesión. (Hernández *et al.*, 2014)

2.3. Recolección de datos

La evaluación de las cuencas de los ríos Quinindé, Toachi y Chimbo dispone de la ayuda de imágenes satelitales proporcionadas por sensores remotos durante los años 1992 a 2015 con datos disponibles en la página web Climate Change Initiative - Land Cover. (Agencia Espacial Europea [ESA], 2015).

Estudiar los cambios de cobertura y uso de suelo con ayuda de este visor se debe a que en comparación a otros, posee ventajas en cuanto a la información que proporciona. Se destaca por ofrecer productos listos para su uso y de descarga libre.

El primer paso que encamina la investigación es estudiar la evolución de las zonas de interés dentro de la página de la Agencia Espacial Europea, ya que permite interactuar con los diferentes años para determinar en donde ocurren los cambios más relevantes de cobertura y uso de suelo en el transcurso de 1992 a 2015.

Una vez que se tiene claro que años representan los cambios más importantes por inspección visual se procede a descargar la información, antes que nada el sistema requiere

de un registro de usuario por lo que se necesita llenar datos personales. Luego se desplegará una página donde permite la libre descarga de información referente a los cambios de cobertura y uso de suelo dividido por años. Es imprescindible descargar la leyenda puesto que viene en un archivo separado.

La obtención del Modelo Digital de Elevación (DEM) para cada una de las cuencas puede ser facilitado a través de la página Earth Explorer (United States Geological Survey [USGS], s.f). Sin embargo no es información del todo confiable debido a que dependiendo del área de estudio puede que el DEM en cuestión tenga fallas que imposibiliten crear la cuenca apropiadamente por lo que se sugiere como segunda opción crear un DEM a partir de curvas de nivel disponibles en la página de Geo portal (Instituto Geográfico Militar [IGM], 2017).

2.4. Análisis multitemporal de cambios en el uso de la tierra

Para realizar un análisis multitemporal de los cambios en cobertura y uso de suelo de las cuencas en cuestión se debe tener en cuenta ciertos parámetros. Se empieza por la demarcación de la cuenca. Utilizando el programa ArcGIS es necesario contar con las funciones de *ArcToolbox*. Dentro del apartado *Hydrology* se encuentran las herramientas necesarias para este fin.

Ya identificada la cuenca procede la implementación de datos respecto a los cambios de cobertura y uso de suelo dentro de la demarcaiión tomando en consideración los años previamente seleccionados. En la función *Data Managment Tools* se encuentra el apartado *Raster* con la herramienta *Clip* que permitirá establecer una nueva capa de información exclusiva para cada año seleccionado. Es necesario contar con la misma simbología para todas las cuencas y todos los años con el fin de facilitar los resultados.

Cada capa de información lleva consigo una tabla de atributos donde se almacena la información que determina el tipo de cobertura y uso de suelo que posee cada área en

específica de la cuenca. Gracias a esta tabla de atributos es posible exportar la información al programa Excel con el cual se procede a tabular los resultados de cambios en uso y cobertura de suelo con mayor facilidad. Luego se realiza el cálculo de porcentajes en función del atributo que tiene por defecto el nombre *Count*.

Crear las gráficas directamente en ArcGIS es más práctico puesto que tiene la opción de añadirlas a la hoja de presentación directamente y presenta opciones personalizables a favor de resaltar resultados lo más claro posible. A igual que en la actividad anterior se ejecuta a partir de la tabla de atributos. Una vez que se importan los datos de porcentajes desde Excel de la cuenca en cuestión y el año específico se debe desplegar la tabla de opciones donde se dispone la posibilidad de crear gráficas en función de cualquier atributo.

El siguiente paso consiste en realizar la división de mapas. Con ayuda de la *Calculadora Raster* ubicada en el apartado de *Map Algebra* se divide un mapa en relación a otro. Esto facilita identificar la ubicación exacta de los cambios de cobertura y uso de suelo al analizar dos años en cuestión de una misma cuenca.

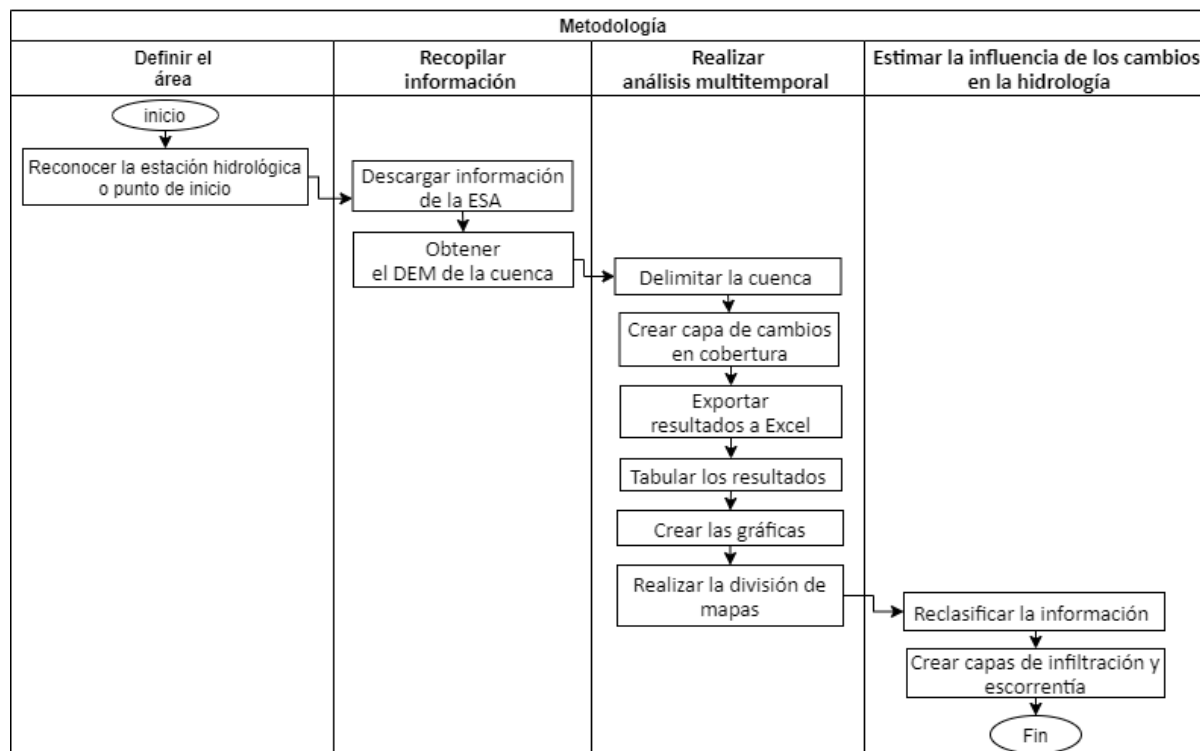
2.5. Influencia en la hidrología de los cambios de cobertura y uso de suelo

Por último se debe programar con ayuda del algoritmo *Reclass* ubicado en el apartado *Spatial Analyst Tool* un método que permita la reclasificación de información donde la nueva capa indique que cambios incrementa la escorrentía y cuales incrementa la infiltración diferenciándolos por su simbología.

De acuerdo con López *et al.* (2007) existen consecuencias en el cambio de cobertura y uso de suelo. Entre ellos el aumento o implementación de cultivos de regadío junto con la extensión de áreas urbanas son el tipo de cambios que perturban el ciclo hidrológico y por lo tanto aumentan la escorrentía.

Por otro lado es importante detallar que la cobertura vegetal es considerada como un factor clave que reduce la pérdida del suelo por erosión en determinadas zonas. Debido a que es una acción que mejora la estructura del suelo tiende a disminuir la escorrentía y a su vez beneficia la capacidad de infiltración (Sastre et al., 2016).

2.6. Diagrama de flujo de las actividades



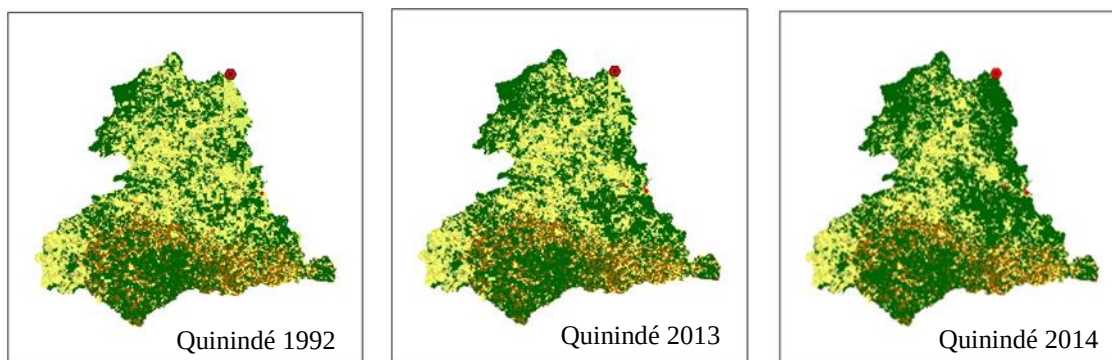
3. Resultados

Los resultados se muestran de forma secuencial partiendo por el análisis multitemporal de cada una de las cuencas respecto al cambio de cobertura y uso de suelo reflejado en porcentajes. Luego se demuestra la potencial influencia en la hidrología de aquellos cambios enfocados al aumento de infiltración y escorrentía.

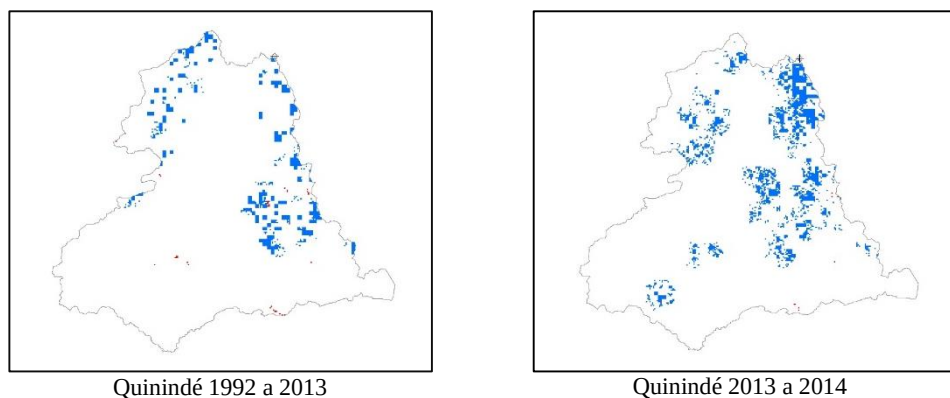
Las cuencas de Toachi y Chimbo llevan una velocidad de cambios relativamente normal durante 1992 a 2015. Sin embargo, la cuenca Quinindé presentó un cambio muy

notable en el transcurso de un año razón por la cual el análisis multitemporal de una cuenca en relación a otra no lleva el mismo intervalo de tiempo.

3.1. Evaluación de cambios en cuenca del río Quinindé



Las Figuras 4 y 5 encontradas en el apartado de anexos muestran los cambios de Quinindé. Para el año 1992 la cobertura del suelo que predomina es cobertura arbórea con un 43 %, seguida por tierras de cultivo de secano que abarca 15.7 % y tierras de cultivo en mosaico con 14.8 %. Para este año las áreas urbanas ocupan tan solo un 0.07%.

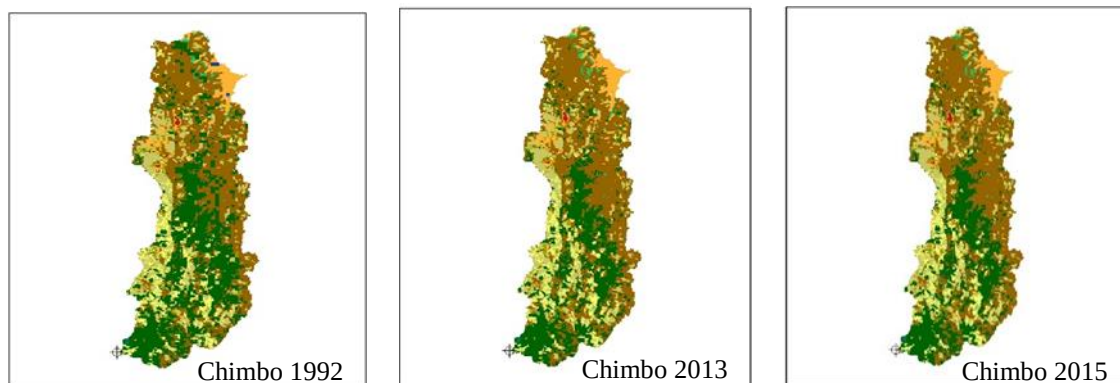


De 1992 a 2013 ocurren cambios que benefician la infiltración dentro de la cuenca como se muestra en la Figura 10. Esto se debe al incremento de cobertura arbórea ya que para el 2013 aumentó su total a un 47%. También influye la disminución de áreas relacionadas a la agricultura como es el caso de las tierras de cultivo en mosaico que descendió a un 11.7%.

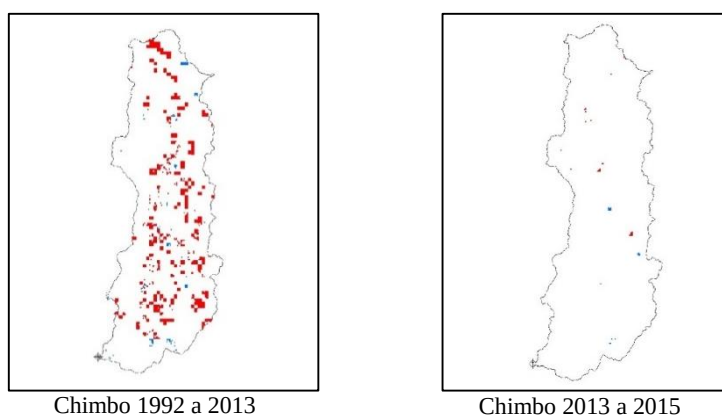
Los cambios de 2013 a 2014 son algo similares que en el análisis anterior a pesar de solo ser un año de diferencia. La figura 10 demuestra que el patrón de los cambios es muy

parecido puesto que favorecen la infiltración. Analizando nuevamente las Figuras 4 y 5 se nota un aumento en la cobertura arbórea al 54.7 % y esta vez no solo disminuyen los valores en tierra de cultivo en mosaico a 7.87 % si no que también ocurre con las tierras de cultivo de secano a un 13.7 %.

3.2. Evaluación de cambios en cuenca del río Chimbo



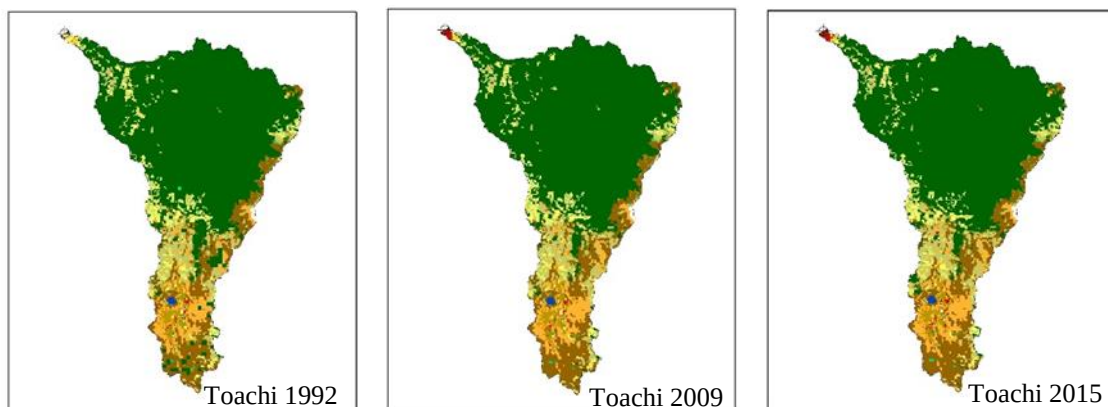
La cuenca del río Chimbo demuestra resultados diferentes. El tipo de suelo que predomina durante 1992 a 2015 siempre es matorral como se muestra en las Figuras 6 y 7. En 1992 los matorrales abarcan el 37.9 %, seguido por cobertura arbórea con 32.4. % y vegetación natural en mosaico 14.3 %. Cabe destacar que de las tres cuencas estudiadas ésta es la que presenta más terreno del tipo pradera con un promedio que varía a través de los años entre 5 y 6 %.



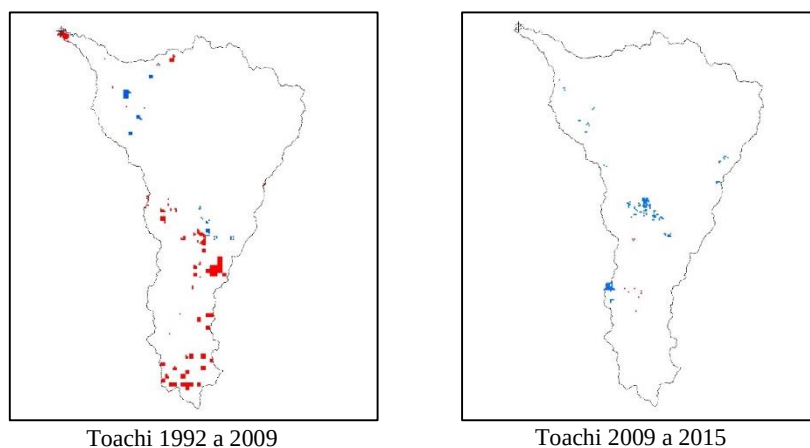
De 1992 a 2013 la cobertura arbórea disminuye a un 24.9% y los matorrales aumentan a un 43.9 % lo que respalda el por qué en la Figura 11 se muestra que durante este intervalo

predominan cambios hidrológicos a favor de la esorrentía. Otro factor común es el crecimiento poblacional por lo general siempre está constante crecimiento en las tres cuencas. Los cambios de 2013 a 2015 son mínimos sin embargo se evidencia en la Figura 11 que presenta cambios ligeramente mayor a favor de la infiltración.

3.3. Evaluación de cambios en cuenca del río Toachi



En la cuenca del río Toachi predomina la cobertura arbórea. De 1992 a 2009 generó cambios a favor de la esorrentía demostrado en la Figura 12. Son cambios relativamente pequeños reflejados en la Figura 8 y 9 como la disminución de cobertura arbórea al 64% y el aumento de áreas urbanas el cual resalta más en esta cuenca puesto que en comparación con las otras dos cuencas, Toachi tiene un incremento durante 1992 a 2015 del 0.14 % al 0.48 % lo que supera por más del doble a las cuencas Quinindé y Chimbo.



Toachi también destaca por demostrar un cambio en el patrón durante el análisis. Si bien de 1992 a 2009 sus resultados favorecían escorrentía, durante 2009 a 2015 los cambios a favor de la infiltración fueron mucho más notables. Se observó un aumento de cobertura arbórea y disminuyó en pequeñas cantidades tierras para cultivo de secano y en mosaico. Sin embargo para el 2015 la cobertura arbórea no recupero el porcentaje que presentaba en 1992 ya que solo llegó a aumentar hasta el 65.6%.

4. Discusión

Los resultados analizados en la cuenca Quinindé pueden ser comparados con el trabajo realizado por la Prefectura de Esmeraldas (2015). Dentro del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia 2015-2025 (PDOT) existe información que permite examinar los cambios de cobertura y uso del suelo de la provincia.

La Figura 13 corresponde al Mapa 12 del PDOT de la Provincia de Esmeraldas donde ofrece resultados acerca de la cobertura y uso de suelo. De acuerdo con este mapa la zona donde se encuentra ubicada la cuenca de Quinindé se ve predominada por una capa que representa el uso de tierras agropecuarias y tan solo pequeñas zonas dispersas pertenecientes a bosques.

Es posible que los resultados extraídos de las imágenes proporcionadas por la Agencia Espacial Europea constituyan a una aparente reforestación de la cuenca. La Figura 14 representa una tabla de las principales actividades productivas de la Provincia de Esmeraldas, y de acuerdo con la Prefectura de Esmeraldas (2015) Quinindé es uno de los cantones que posee mayor número de concesiones generalmente dedicadas a la siembra de banano y palma africana, ésta última sería una de las causas en la diferencia de resultados puesto que puede llegar a confundirse fácilmente con la capa de cobertura arbórea.

Al visualizar la Figura 16 que ilustra la distribución de uso y cobertura de tierra en la cuenca Quinindé al año 2002 mediante información extraída por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca [MAGAP] en conjunto a el Ministerio del Agua y Ambiente [MAE]. En la imagen se aprecia como en gran parte de la cuenca la capa de tierras agropecuarias predomina por lo que se asemeja a los resultados de la Figura 13.

En el caso de la Cuenca del río Chimbo es posible comparar los resultados de ésta investigación, ilustrados en las Figuras 6 y 7, con los resultados obtenidos por la Prefectura de Bolívar (2015) dentro de su PDOT 2015-2020. En la Figura 15 se muestra el Mapa correspondiente de cobertura y uso de suelos de la provincia al 2014.

Los resultados del PDOT 2015-2020 de la Provincia de Bolívar tienen cierta semejanza con los resultados evaluados en ésta investigación. Si bien la cuenca se encuentra ubicada en el lado Este de la Provincia se demuestra como ciertas capas son semejantes en ambas Figuras (6 y 15). Una perspectiva más clara se obtiene al analizar la Figura 17 que representa información extraída del MAGAP en conjunto con el MAE de la cuenca al año 2002 sobre cambios de cobertura y uso de suelo.

Es notable que los cambios más relevantes de las tres ilustraciones involucradas son la escasa presencia de bosques, así como el predominio de matorrales y tierras para cultivo. Para concluir, la Prefectura de Bolívar (2015) determino que en cuanto a cobertura vegetal para el año 2014 hubo disminución de montes y bosques así como el incremento correspondiente a pastos cultivados, cultivos transitorios y barbecho. Todo esto reafirma el aumento de escorrentía en la cuenca demostrado en la Figura 11.

Para la cuenca del río Toachi, la Figura 18 demuestra la cobertura y uso del suelo en el año 2002 a partir información extraída por el MAGAP en conjunto con el MAE, La similitud de ésta figura con los resultados de esta investigación en la Figura 8 son los más

notables. En ambas ilustraciones las capas cercanas al casco urbano son pertenecientes a cultivos o actividades agropecuarias, también se asemejan en el alto predominio de cobertura arbórea en el lado Noreste de la cuenca.

Esta investigación tiene características que son comparables a los de otras investigaciones con cuencas pertenecientes a la misma región y que utilicen el mismo procedimiento al evaluar los cambios en la cobertura y uso del suelo. En la Figura 19 se muestra un mapa de la cuenca del río Garrapata, investigación realizada por Zambrano, M. (2021).

Los cambios de cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Garrapata son similares al de la Cuenca de Quinindé (Figura 4) ya que de acuerdo con la información de la Agencia Espacial Europea ambas cuencas se encuentran en un proceso de reforestación. Los cambios en ambas cuencas favorecen el aumento de cobertura arbórea y la disminución de tierras para cultivo durante 1992 a 2015. De igual manera la Figura 20 demuestra cómo estos cambios influyen en el aumento de infiltración en la cuenca del río Garrapata al igual que en la cuenca Quinindé representado en la Figura 10.

5. Conclusiones

Cada una de las cuencas demuestra sus propias características de evolución. La gran diferencia entre una y otra son consecuencias tanto de factores exógenos como endógenos.

En la cuenca del río Quinindé los comentarios que se expresan en la discusión respecto a la aparente malinterpretación de datos por parte de las imágenes satelitales de la Agencia Espacial Europea sugieren que una evaluación de este tipo debe ser contrastada por fuentes locales relacionadas a la zona de estudio que respalden los resultados.

En la cuenca del río Chimbo los matorrales son la capa predominante durante todo el estudio y su aumento está relacionado con la disminución de cobertura arbórea, siendo esta la causa de que se obtuvieran cambios a favor de la escorrentía.

La cuenca del río Toachi durante 1992 a 2009 sus cambios favorecían la escorrentía debido a pequeños cambios en el aumento de las capas de vegetación natural en mosaico y matorrales, ambos ganaron terreno conforme disminuía el porcentaje de cobertura arbórea. El proceso se invirtió durante 2009 a 2015 ya que la capa de cobertura arbórea aumento, sin embargo el porcentaje de ésta capa para el año 2015 es ligeramente inferior al que poseía en el año 1992.

6. Referencias Bibliográficas

Agencia Espacial Europea. (2015). *Climate Change Initiative - Land Cover*.

<http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/index.php>

Barrera, V. H., Alwang, J., & Cruz, E. (2010). *Experiencias en el manejo integrado de recursos naturales en la subcuenca del río Chimbo, Ecuador*. INIAP Archivo Historico.

https://books.google.com.ec/books?id=an0zAQAAMAAJ&printsec=frontcover&dq=inauthor:%22Victor+Hugo+Barrera,+Jeffrey+Alwang,+Elena+Cruz%22&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwifjvC5x_PsAhVCj1kKHcGHA7QQ6AEwAHoECAAAQAg#v=onepage&q&f=true

Camacho, R., Camacho, J. M., Balderas, M. Á., & Sánchez, M. (2017). Cambios de cobertura y uso de suelo: Estudio de caso en progreso hidalgo, estado de México. *Madera Bosques*, 23(3), 39–60. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331516>

Corporación Eléctrica del Ecuador. (2018). *Toachi Pilatón*.

<https://www.celec.gob.ec/termomanabi/index.php/80-toachi-pilaton>

El Comercio. (2017). *Las Lluvias siguen causando problemas en Milagro y Guayaquil*.

<https://www.elcomercio.com/actualidad/lluvias-problemas-milagro-guayaquil-inundaciones.html>

Gonzalez , K. (31 de Enero de 2013). *Técnicas de Procesamiento y Representación de Datos*.

Obtenido de Issuu: https://issuu.com/kvin92/docs/analisis_de_sistema

Instituto Geográfico Militar. (2017). *Geo portal*. Ministerio de Defensa.

<http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/cartografia-de-libre-acceso-escala-50k/>

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2016). *Biblioteca*. Ministerio de Ambiente y Agua. <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/biblioteca/>

Hernández Smpieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). Metodología de la Investigación. In Interamericana (Ed.), (Sexta). Mc Graw Hill Education.
<http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>

Jalmacin, A., González, G., Mendoza, M. E., & Silva, F. (2017). Cambio de cobertura y uso de suelo en cuencas tropicales costeras del Pacífico central mexicano. *Investigaciones Geograficas*, 2017(94), 64–81. <https://doi.org/10.14350/rig.56770>

Lambin, E. F., Geist, H. J., & Lepers, E. (2003). Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment and Resources*, 28, 205–241.
<https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.050302.105459>

López García, M. J., Camarasa Belmonte, A. M., & Mateu Bellés, J. F. (2007). Cambios en los usos del suelo y producción de escorrentía en ramblas mediterráneas: Carraixet y Poyo (1956-1998). *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 1(44), 69–94.
<http://dialnet.unirioja.es/servlet/extart?codigo=2519099>

Mateus, M. (2014). Análisis De La Cobertura Vegetal, Uso Del Suelo Y Su Impacto En La Desecación Del Lago De Tota. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/11585>

Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. (2015). *Memoria Técnica Coberturas Santo Domingo*.
http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/Memoria_tecnica_Coberturas_SANTO_DOMI_NGO_20150415.pdf

- Orellana, J., & Lalvay, T. (2018). Uso e importancia de los recursos naturales y su incidencia en el desarrollo turístico. Caso Cantón Chilla, El Oro, Ecuador. *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo*, 14(1), 80–88. <https://doi.org/10.4067/s0718-235x2018000100080>
- Prefectura de Bolívar. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Bolívar 2015 - 2020*. Sistema Nacional de Información - Secretaría Técnica: <https://multimedia.planificacion.gob.ec/PDOT/descargas.html>
- Prefectura de Esmeraldas. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Esmeraldas 2015 – 2025*. Sistema Nacional de Información - Secretaría Técnica: <https://multimedia.planificacion.gob.ec/PDOT/descargas.html>
- Rojas Briceño, N. B., Barboza Castillo, E., Maicelo Quintana, J. L., Oliva Cruz, S. M., & Salas López, R. (2019). Deforestación en la Amazonía peruana: índices de cambios de cobertura y uso del suelo basado en SIG. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 81, 1–34. <https://doi.org/10.21138/bage.2538a>
- Sastre, B., Bienes, R., García Díaz, A., & Cuevas, A. (2016). *Incidencia de las cubiertas vegetales sobre la infiltración del agua de lluvia*. April. https://www.researchgate.net/profile/Blanca_Sastre/publication/301351776_Incidencia_de_las_cubiertas_vegetales_sobre_la_infiltracion_del_agua_de_lluvia/links/5714d38b08ae6f3b8abe7201.pdf
- Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias. (2014). *Ministra SGR recorre zonas más afectadas de Quinindé*. Gabinete Sectorial De Seguridad. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/ministra-sgr-recorre-zonas-mas-afectadas-de-quininde/>

Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias. (7 de marzo de 2016a). *SGR y GAD*

Quinindé coordinan acciones de respuesta. Gabinete Sectorial De Seguridad.

<https://www.gestionderiesgos.gob.ec/sgr-y-gad-quininde-coordinan-acciones-de-respuesta/>

Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias. (26 de mayo de 2016b).

Declaratoria de zona de riesgo por desbordamiento del río Damas-Alluriquín.

Gabinete Sectorial De Seguridad. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/declaratoria-de-zona-de-riesgo-por-desbordamiento-del-rio-damas-alluriquin-26052016/>

Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias. (17 de mayo de 2019). *Familias*

afectadas por lluvias reciben atención en Quinindé. Gabinete Sectorial De Seguridad.

<https://www.gestionderiesgos.gob.ec/familias-afectadas-por-lluvias-reciben-atencion-en-quininde/>

Teleamazonas. (2015). *El incremento del caudal de ríos en Quinindé causa inundaciones*.

<https://www.dailymotion.com/video/x3of1hp>

United States Geological Survey. (s.f). *Earth Explorer*. <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Zambrano, M. (2021) *Evaluación de cambios en el uso de la tierra en*

las cuencas cañar y garrapata [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador].

7. Anexos

Figura 1

Mapa de ubicación cuenca hidrográfica del río Quinindé aguas arriba de la estación H0177.

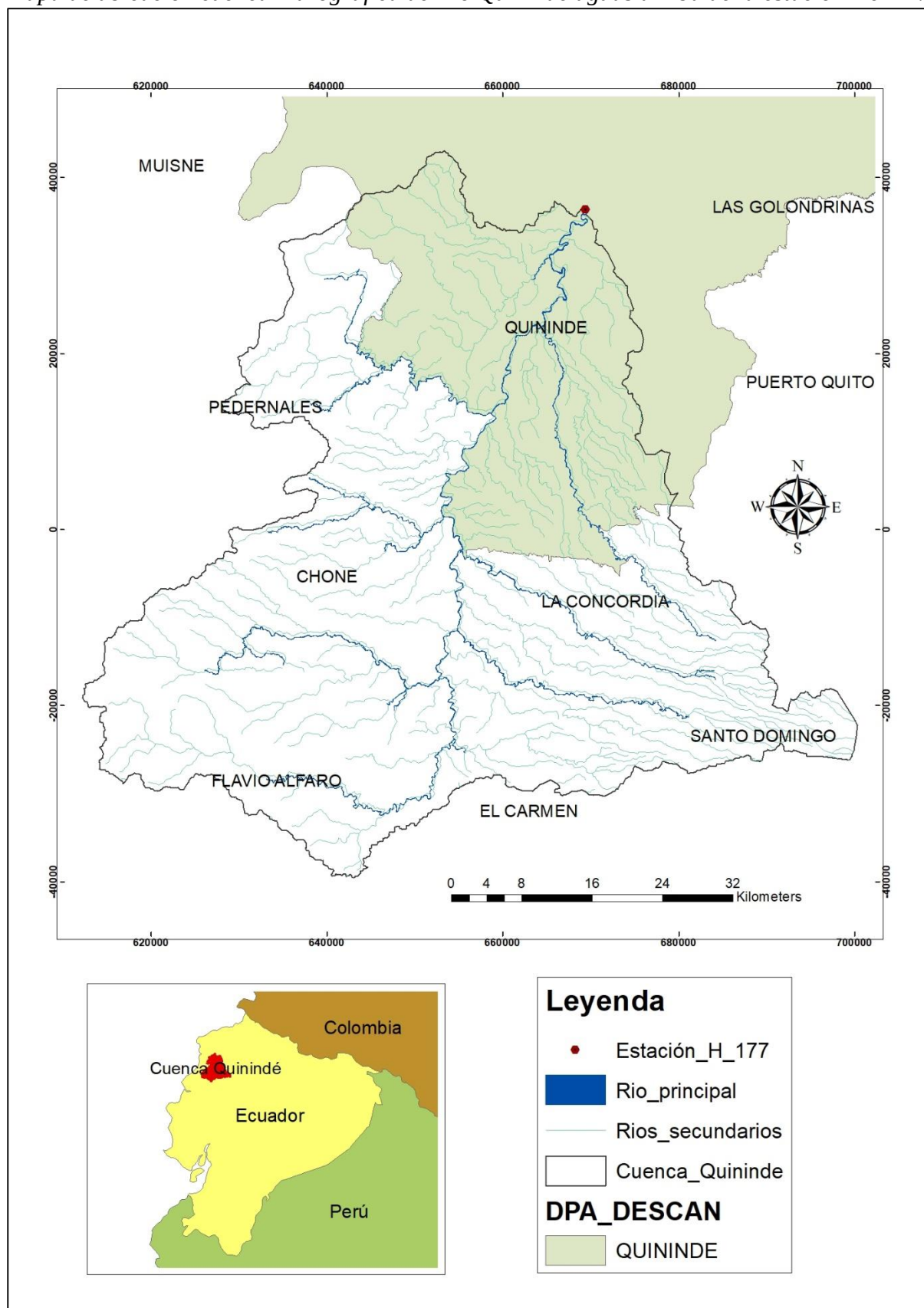


Figura 2

Mapa de ubicación cuenca hidrográfica del río Toachi aguas arriba de la estación H0167.

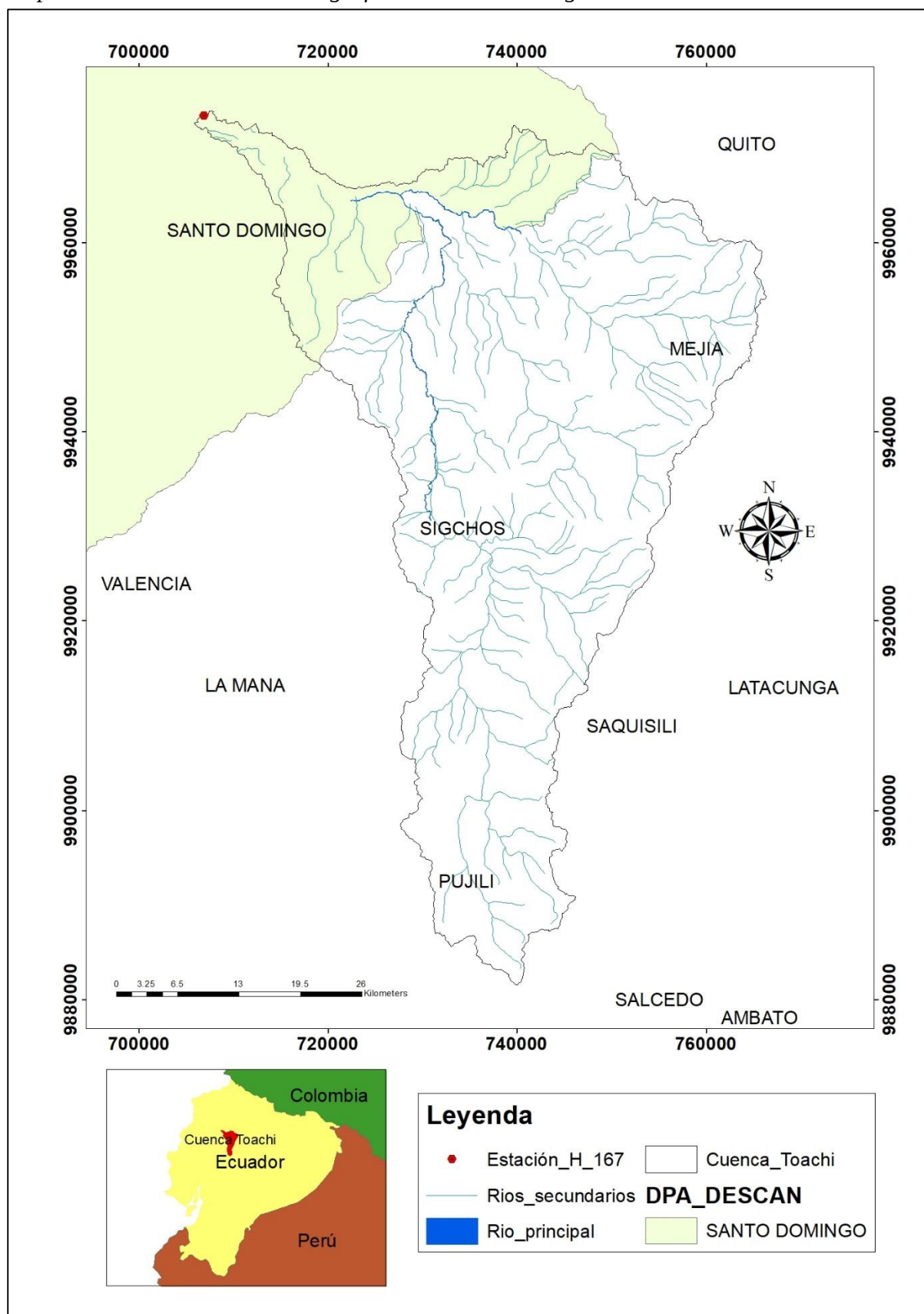


Figura 3

Mapa de ubicación sub-cuenca hidrográfica del río Chimbo aguas arriba de la estación H0340.

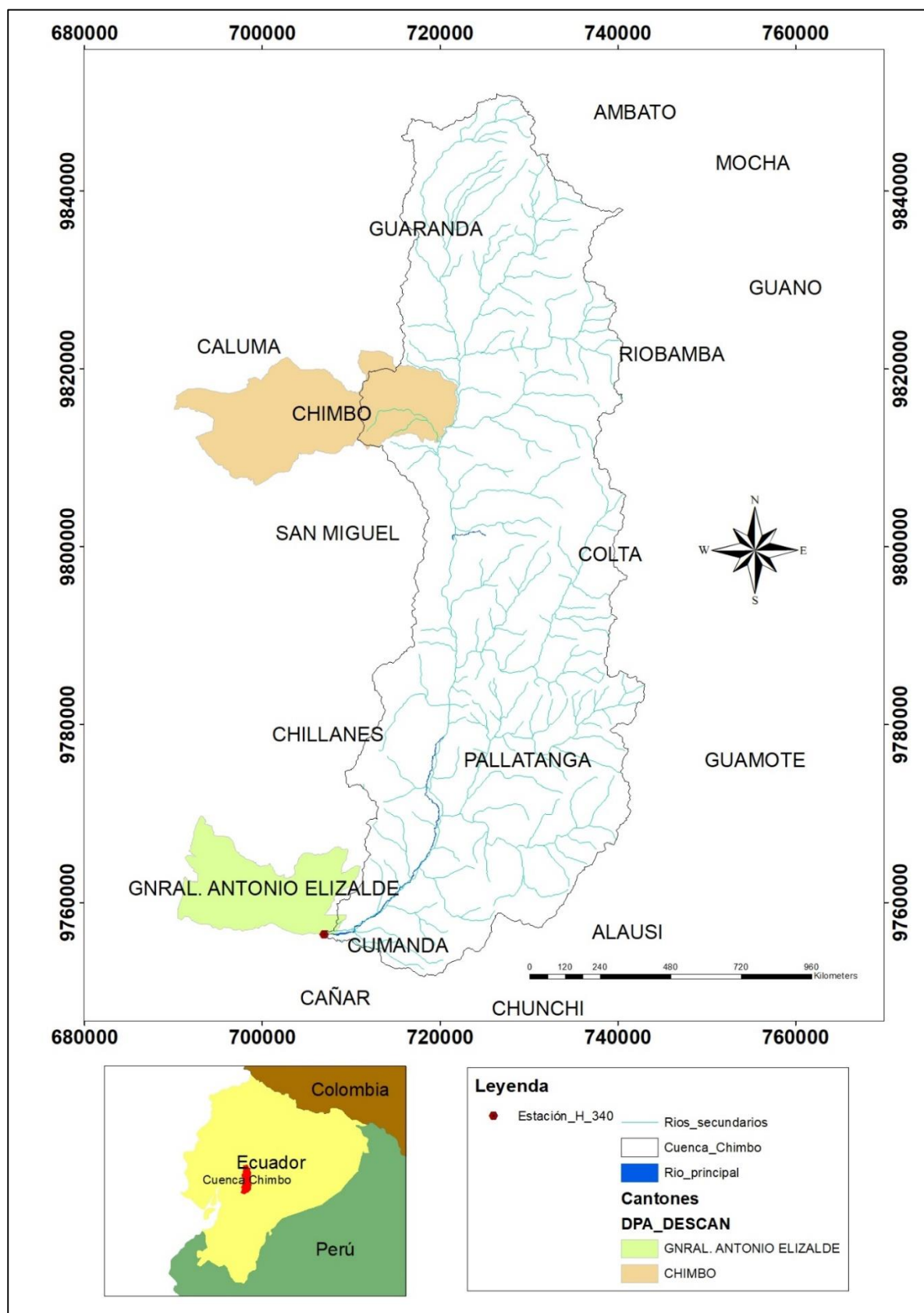
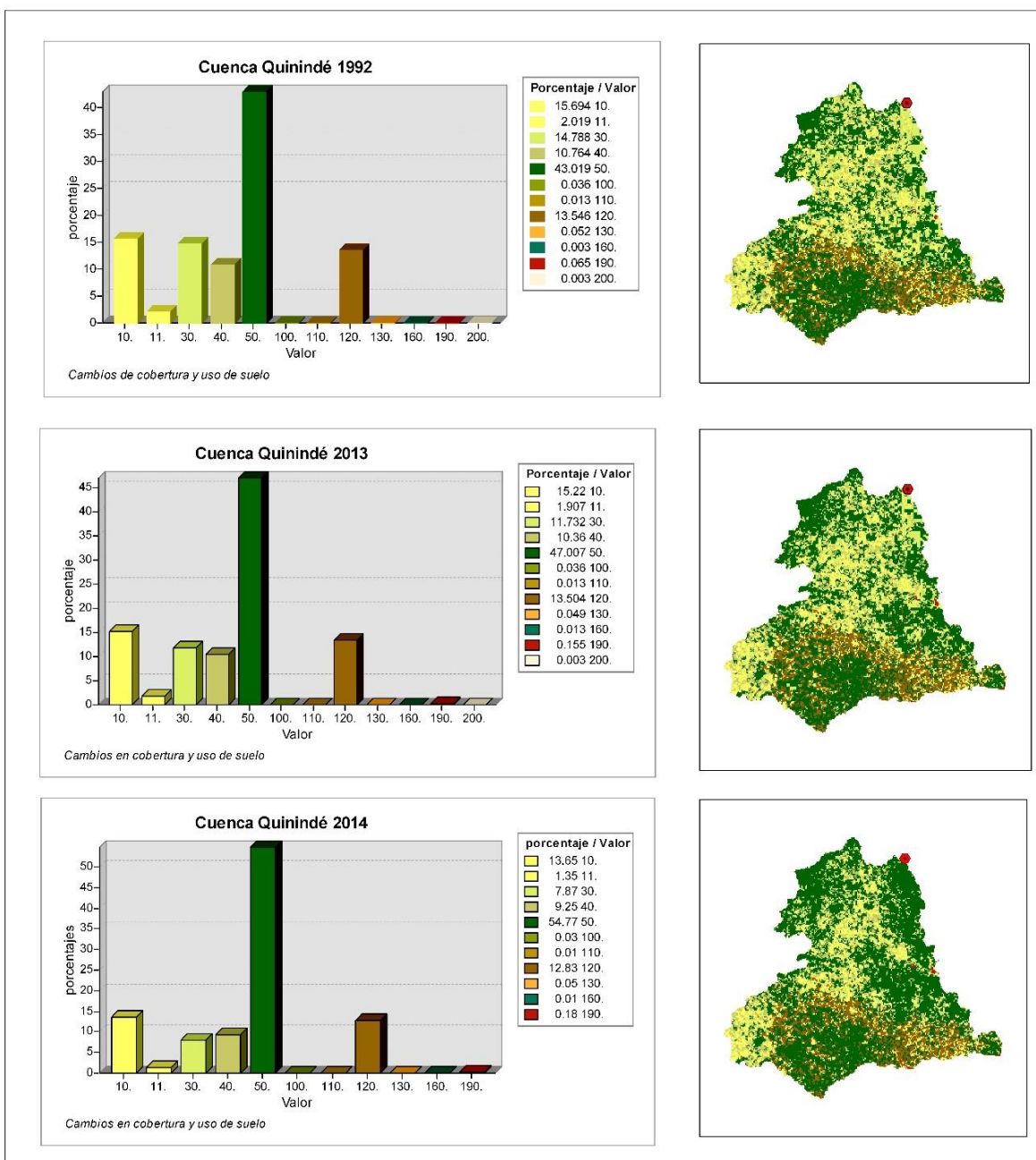


Figura 4

Mapa de cambios en cuenca del río Quinindé durante 1992 a 2015 estilo de barras.

**LEYENDA**

- 10 Tierras de cultivo de secano
- 11 Cubierta Herbácea
- 30 Tierras de cultivo en mosaico (> 50%) / vegetación natural (cobertura herbácea de arbustos arbóreos) (<50%)
- 40 Vegetación natural en mosaico (cobertura herbácea de arbustos arbóreos) (<50%)
- 50 Cobertura arbórea de hoja ancha perenne cerrada a abierta (> 15%)
- 100 Árbol y arbusto de mosaico (> 50%) / cobertura herbácea (<50%)
- 110 Cobertura herbácea en mosaico (> 50%) / árbol y arbusto (<50%)
- 120 Matorral
- 130 Pradera
- 160 Cubierta de árboles inundada, fresca o agua salobre
- 190 Áreas urbanas
- 200 Áreas desnudas

SIMBOLOGÍA

• Estación_H_0177

Figura 5

Mapa de cambios en cuenca del río Quinindé durante 1992 a 2015 estilo de pastel.

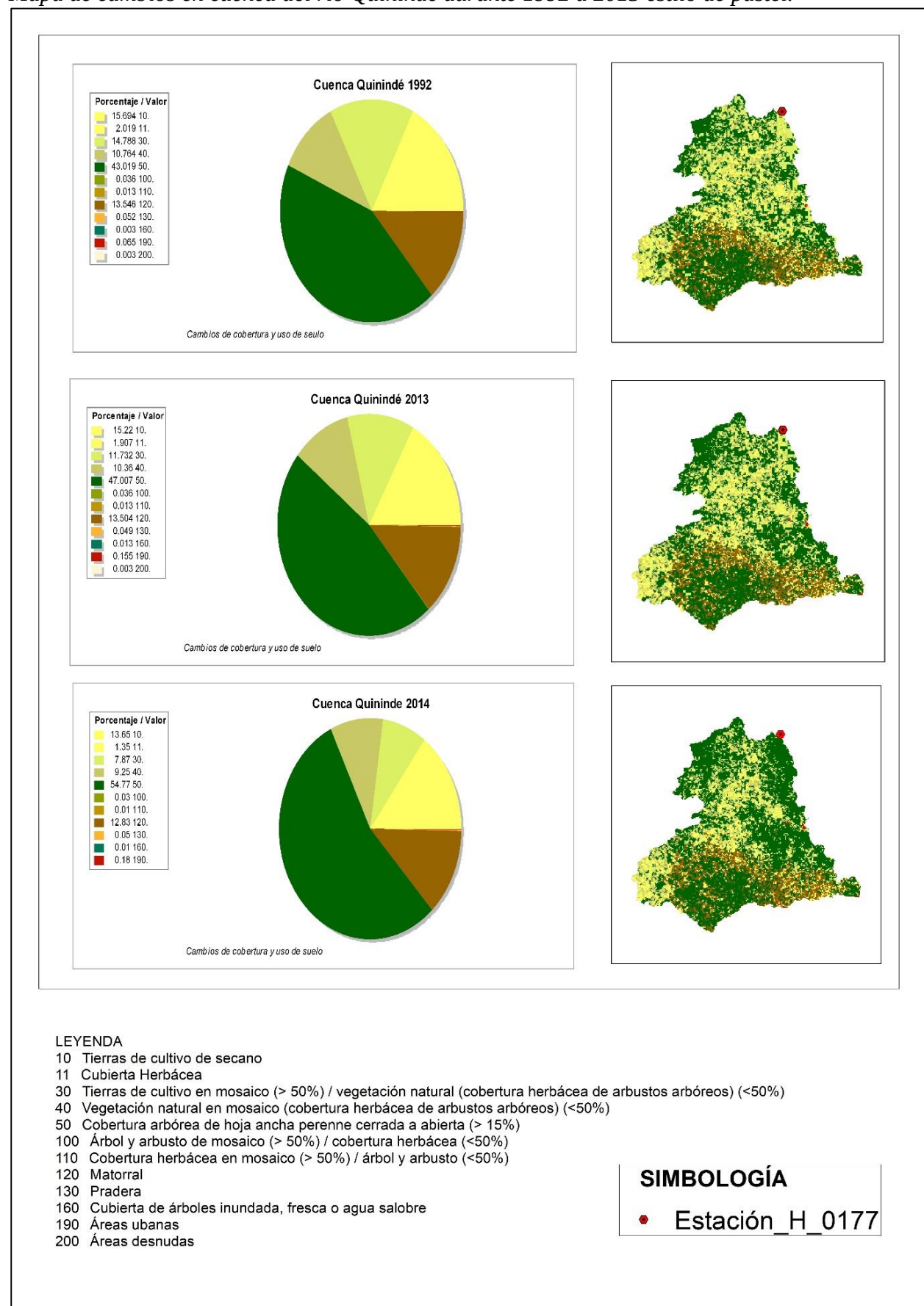
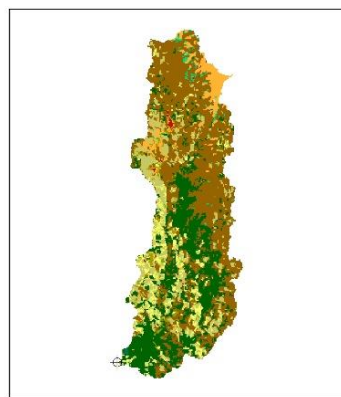
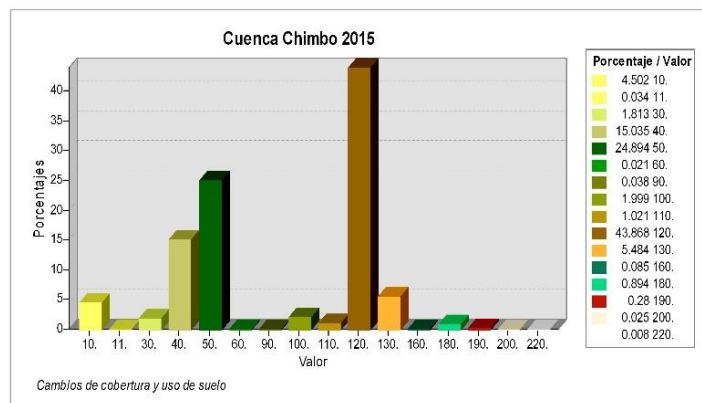
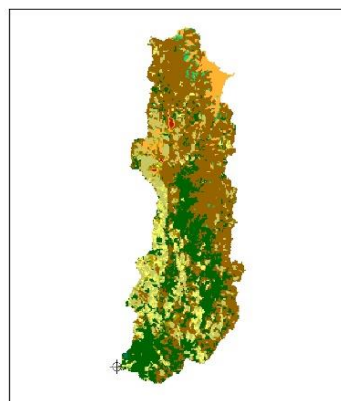
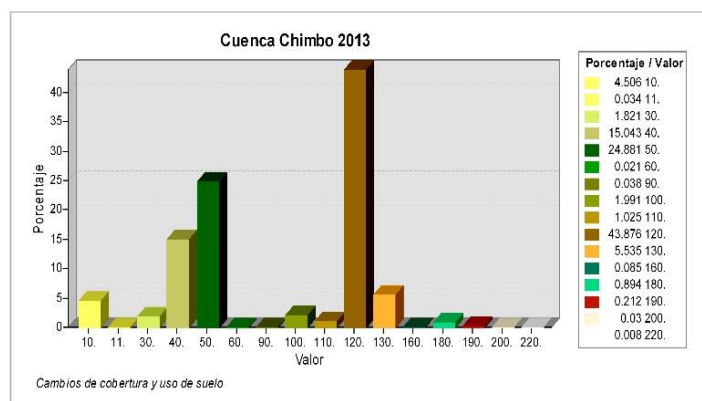
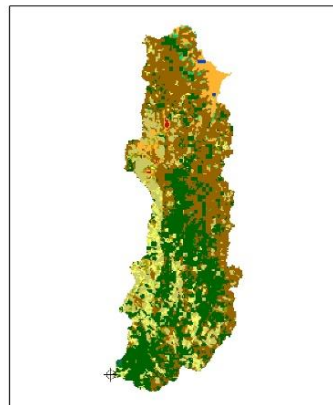
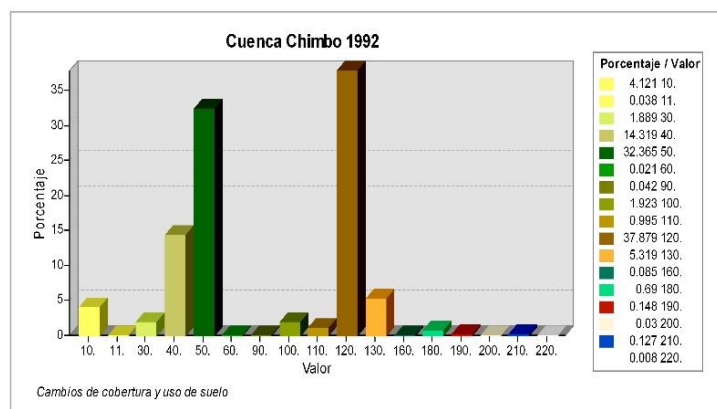


Figura 6

Mapa de cambios en cuenca del río Chimbo durante 1992 a 2015 estilo de barras.

**LEYENDA**

- 10 Tierras de cultivo de secano
- 11 Cubierta Herbácea
- 30 Tierras de cultivo en mosaico (> 50%) / vegetación natural (cobertura herbácea de arbustos arbóreos) (<50%)
- 40 Vegetación natural en mosaico (cobertura herbácea de arbustos arbóreos) (<50%)
- 50 Cobertura arbórea de hoja ancha perenne cerrada a abierta (> 15%)
- 60 Cobertura de árboles latifoliados, caducifolios, cerrados a abiertos (> 15%)
- 90 Cobertura arbórea de tipo foliar mixto (latifoliado y aciculado)
- 100 Árbol y arbusto de mosaico (> 50%) / cobertura herbácea (<50%)
- 110 Cobertura herbácea en mosaico (> 50%) / árbol y arbusto (<50%)
- 120 Matorral
- 130 Pradera
- 160 Cubierta de árboles inundada, fresca o agua salobre
- 180 Arbusto o cubierta herbácea inundada de agua dulce / salina / salobre
- 190 Áreas urbanas
- 200 Áreas desnudas
- 210 Cuerpos de Agua
- 220 Nieve y hielo permanentes

Simbología

Estación_H_0340

Figura 7

Mapa de cambios en cuenca del río Chimbo durante 1992 a 2015 estilo de pastel.

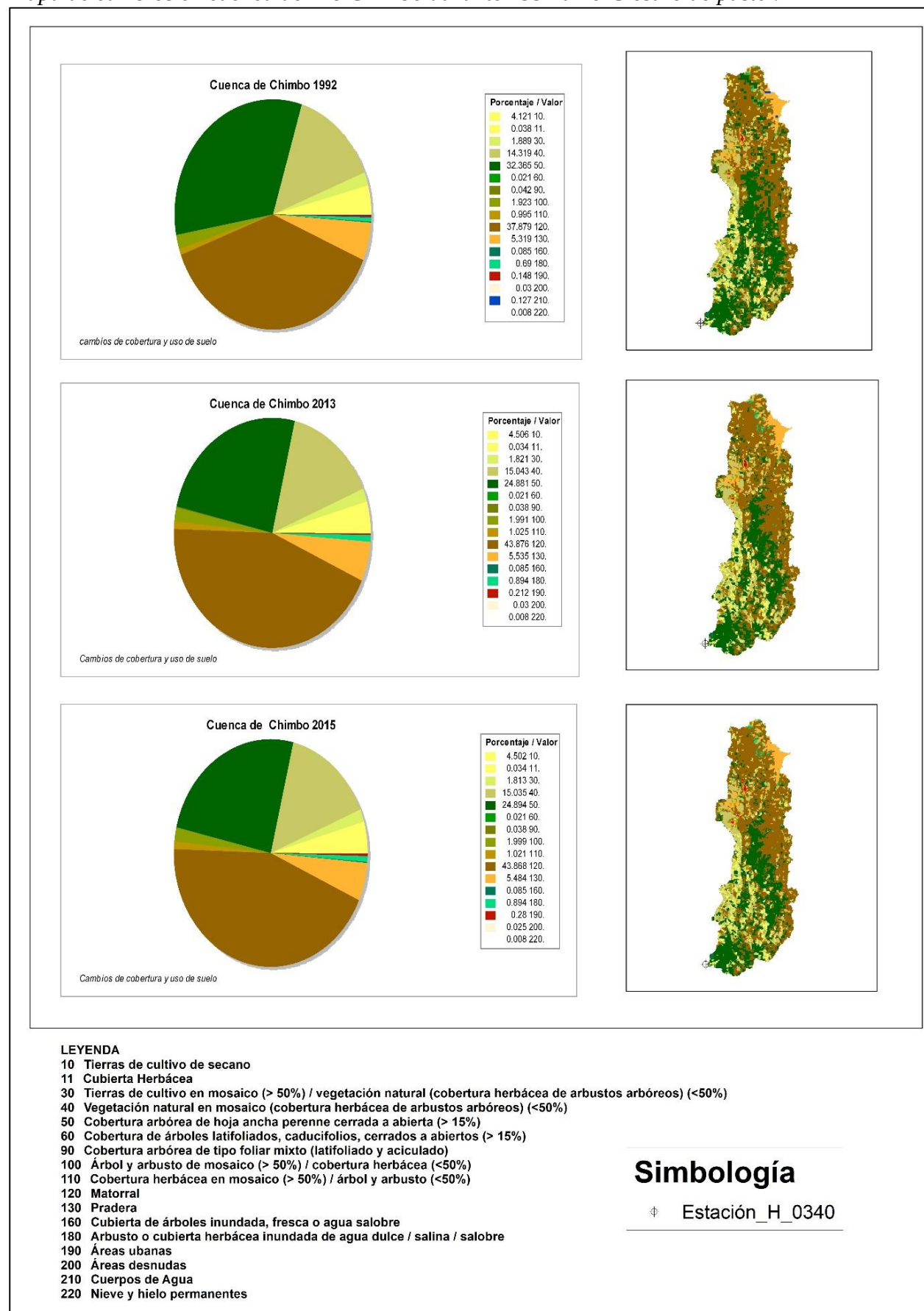
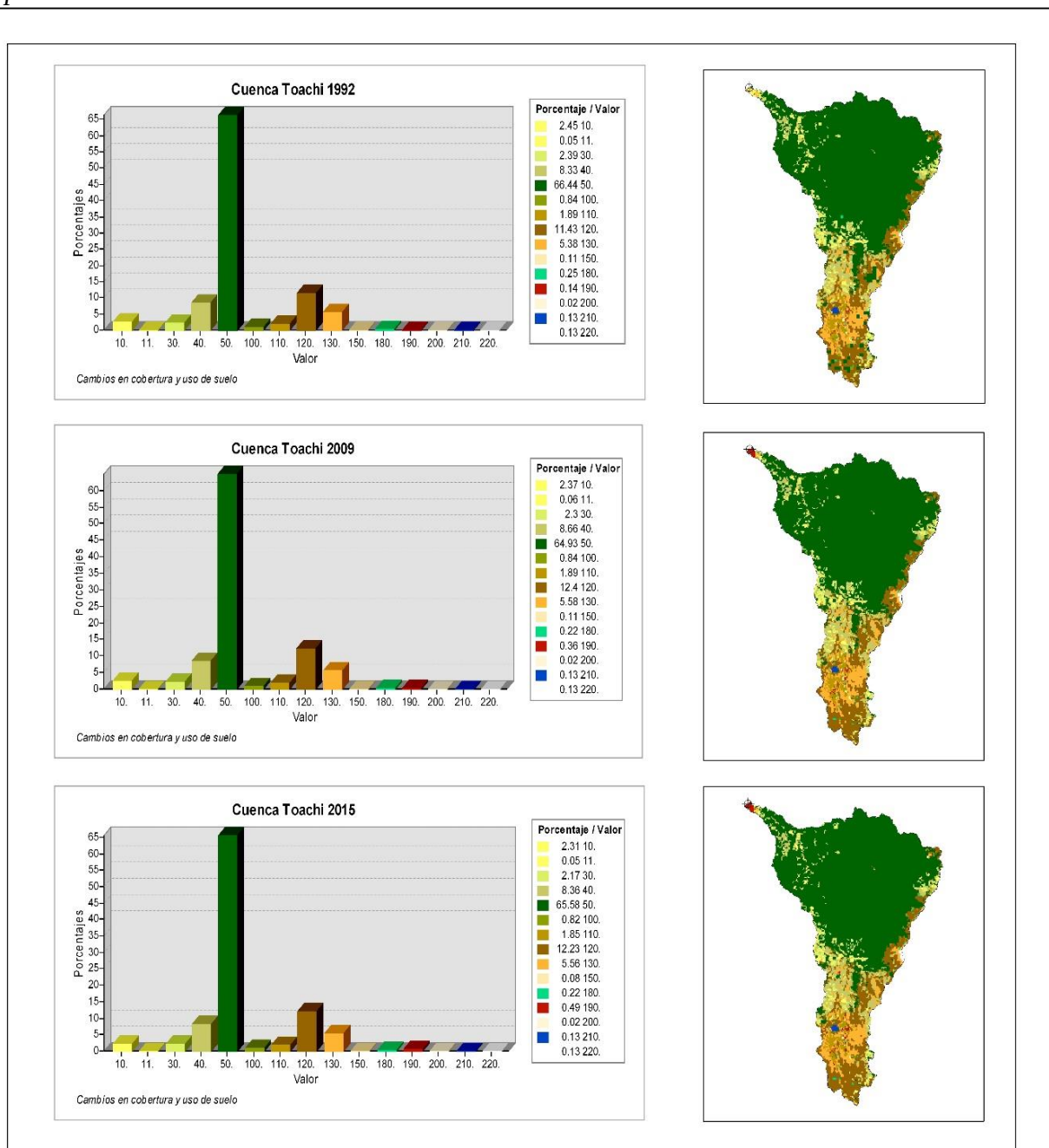


Figura 8

Mapa de cambios en cuenca del río Toachi durante 1992 a 2015 estilo de barra.

**LEYENDA**

- 10 Tierras de cultivo de secano
- 11 Cubierta Herbácea
- 30 Tierras de cultivo en mosaico (> 50%) / vegetación natural (cobertura herbácea de arbustos arbóreos) (<50%)
- 40 Vegetación natural en mosaico (cobertura herbácea de arbustos arbóreos) (<50%)
- 50 Cobertura arbórea de hoja ancha perenne cerrada a abierta (> 15%)
- 60 Cobertura de árboles latifoliados, caducifolios, cerrados a abiertos (> 15%)
- 90 Cobertura arbórea de tipo foliar mixto (latifoliado y aciculado)
- 100 Árbol y arbusto de mosaico (> 50%) / cobertura herbácea (<50%)
- 110 Cobertura herbácea en mosaico (> 50%) / árbol y arbusto (<50%)
- 120 Matorral
- 130 Pradera
- 150 Vegetación escasa (cubierta herbácea de arbustos arbóreos) (<15%)
- 180 Arbusto o cubierta herbácea inundada de agua dulce / salina / salobre
- 190 Áreas urbanas
- 200 Áreas desnudas
- 210 Cuerpos de Agua
- 220 Nieve y hielo permanentes

Figura 9

Mapa de cambios en cuenca del río Toachi durante 1992 a 2015 estilo de pastel.

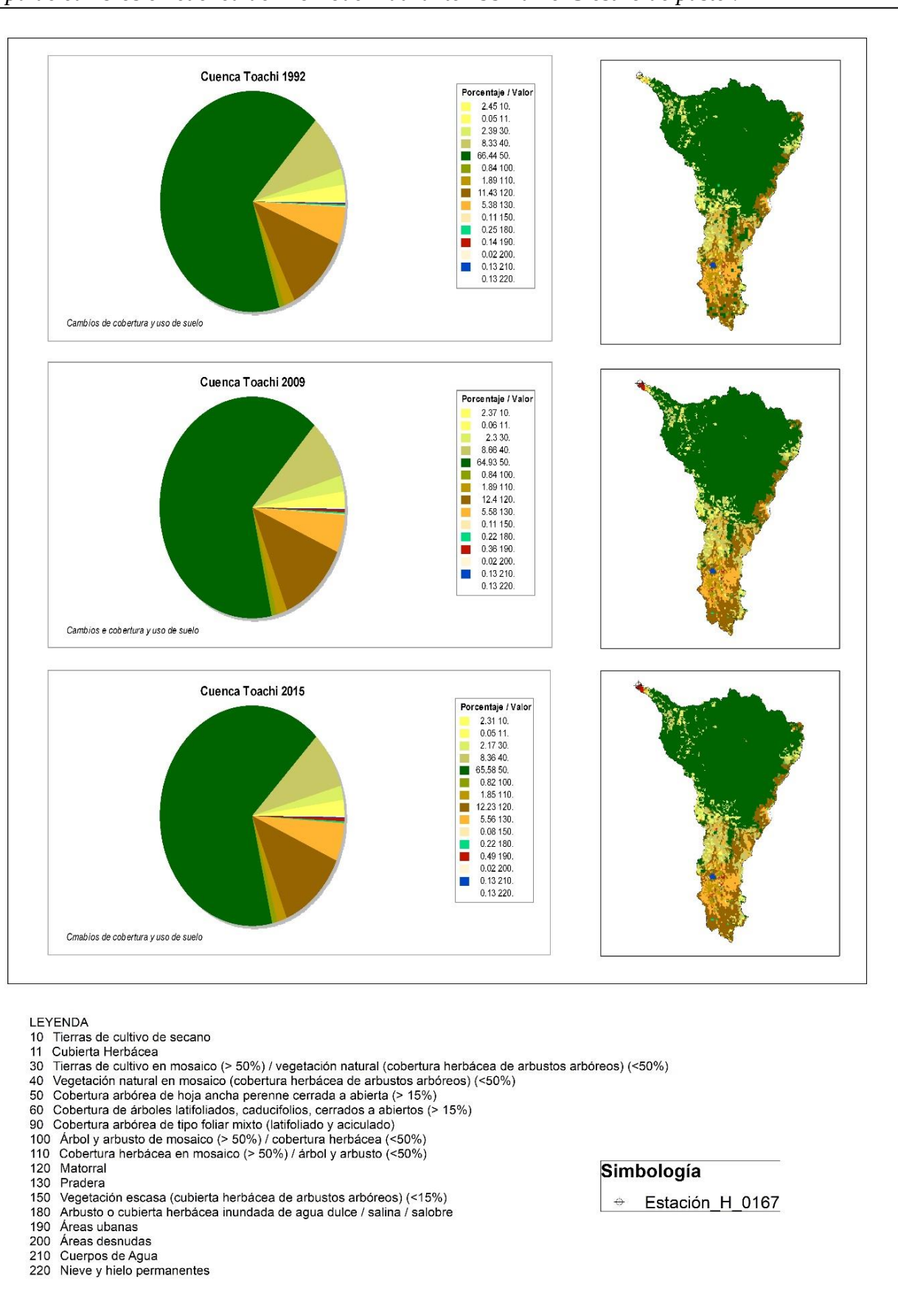


Figura 10

Aumento de infiltración y escorrentía en cuenca del río Quinindé durante 1992 a 2015.

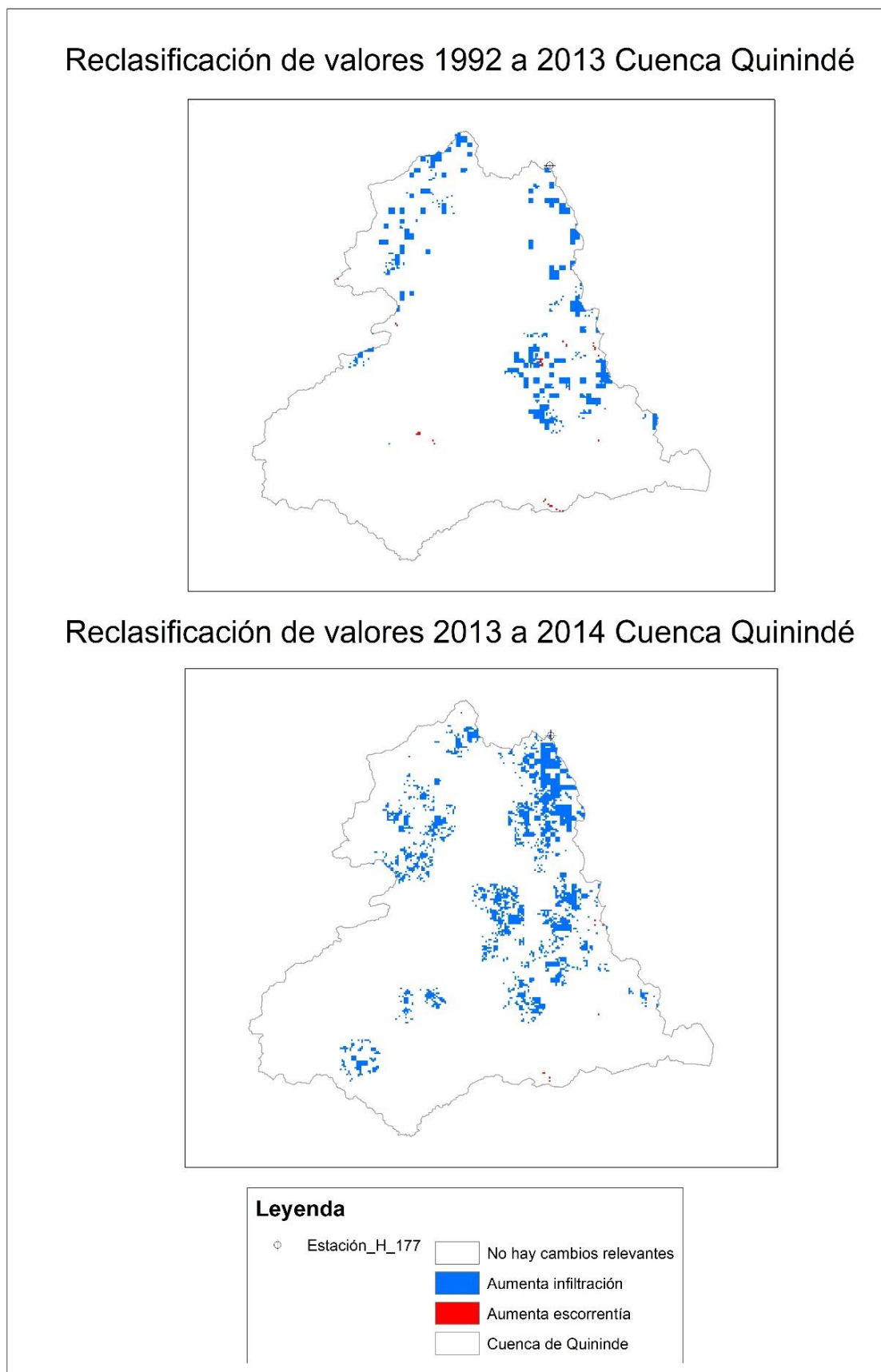


Figura 11

Aumento de infiltración y escorrentía en cuenca del río Chimbo durante 1992 a 2015.

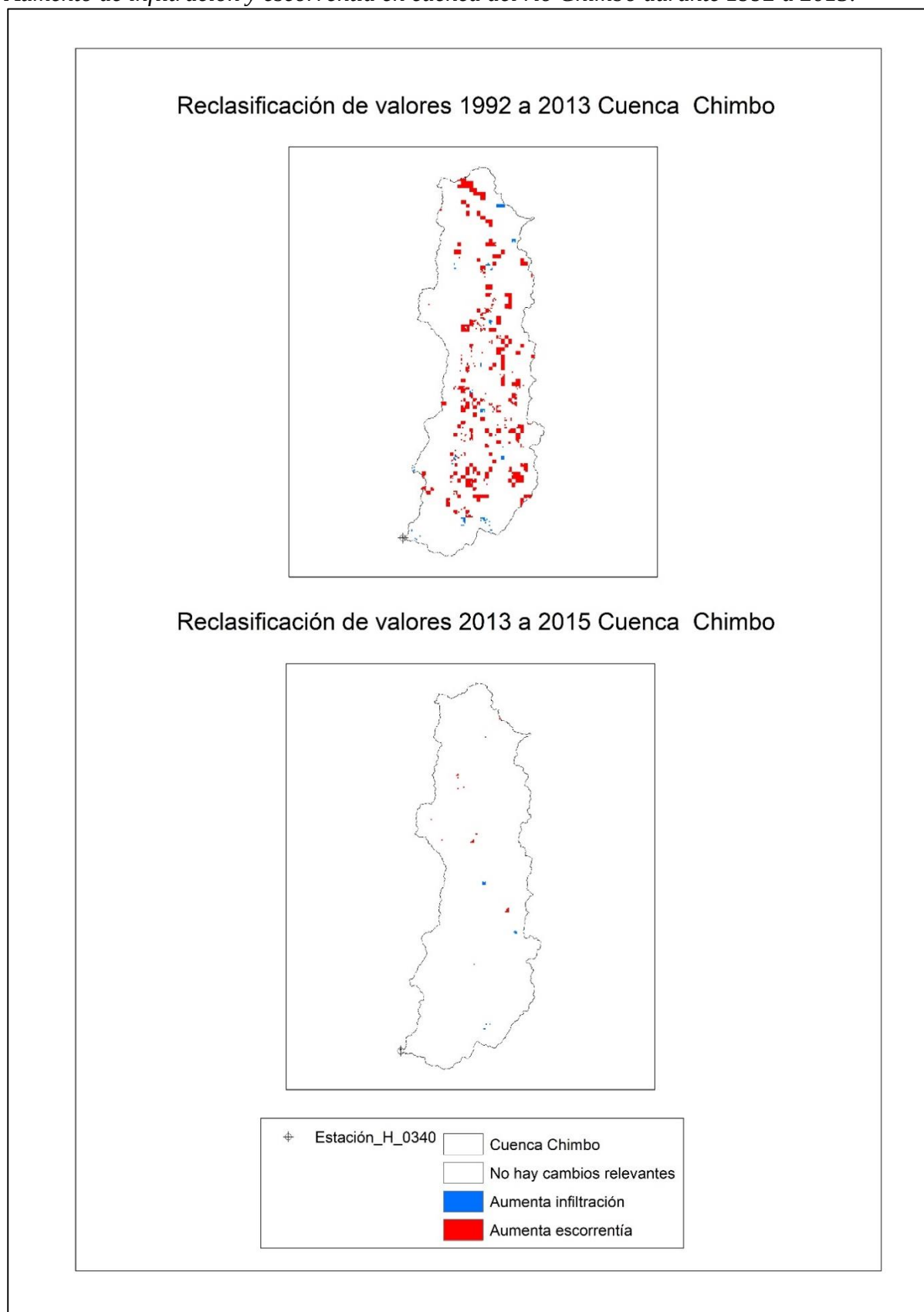


Figura 12

Aumento de infiltración y escorrentía en cuenca del río Toachi durante 1992 a 2015.

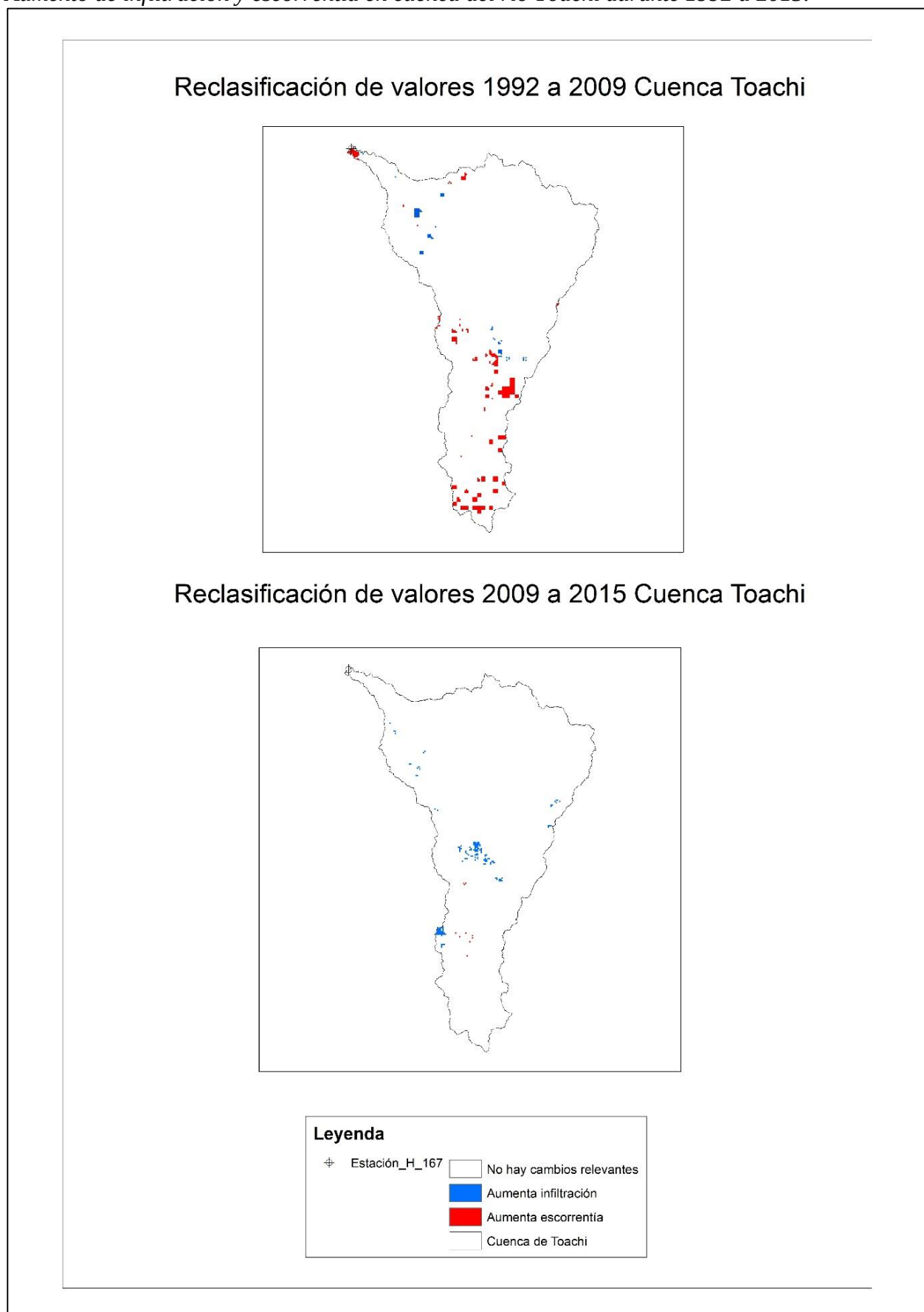
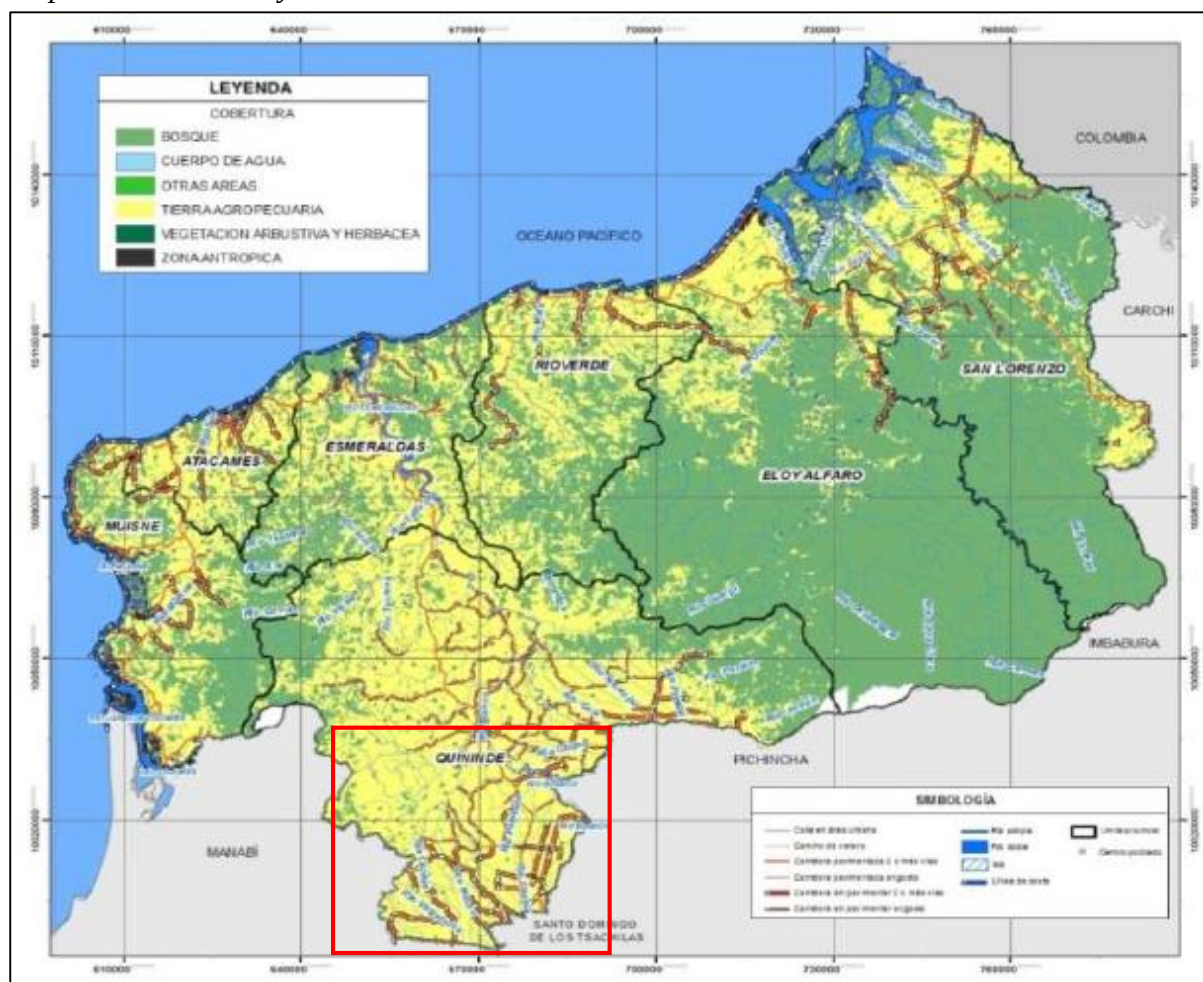


Figura 13

Mapa 12. Cobertura y uso del suelo de la Provincia de Esmeraldas al 2015



Nota: Tomado del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la provincia de Esmeraldas 2015 – 2025, por la Prefectura de Esmeraldas.

Figura 14

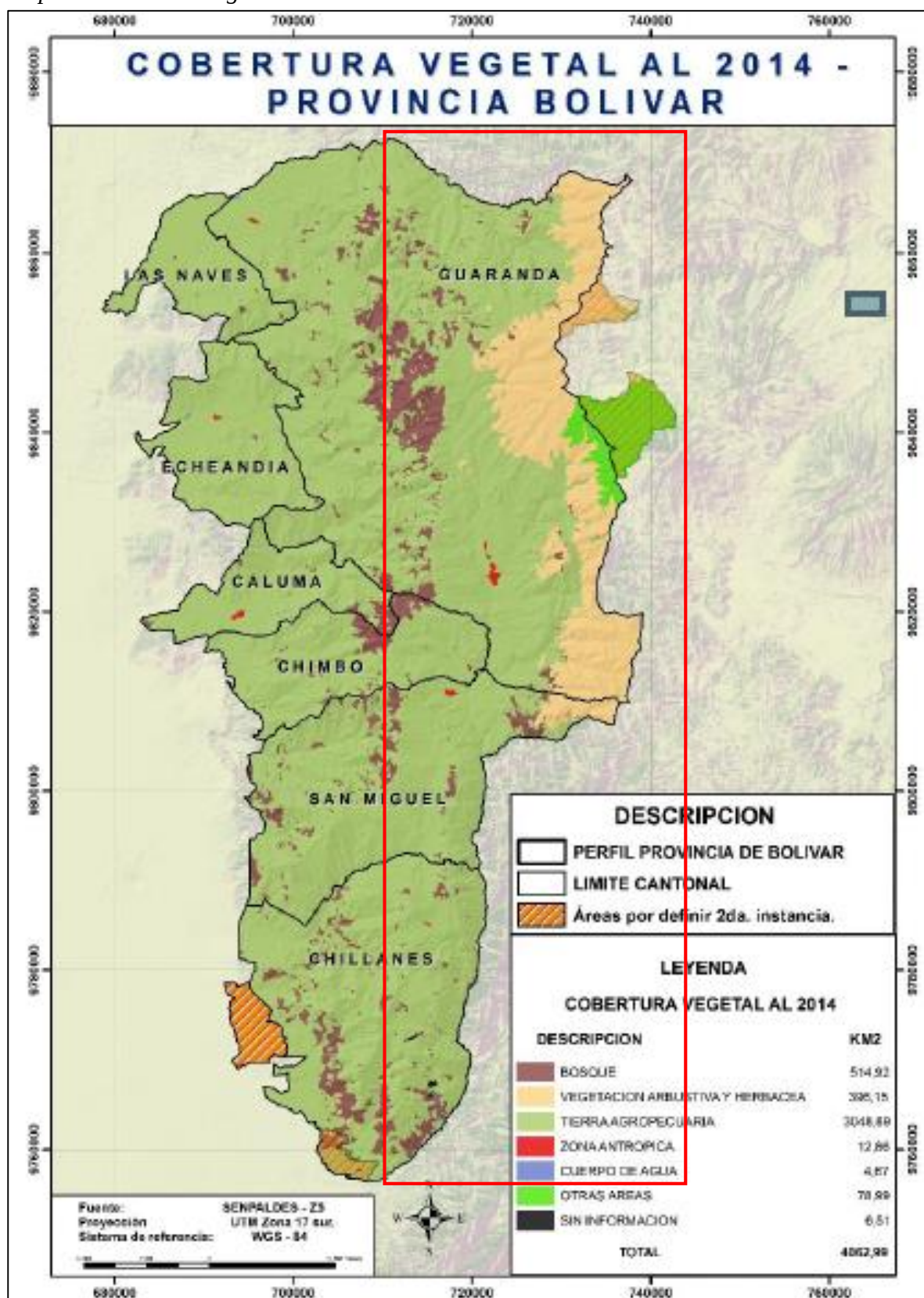
Tabla 74. Actividades productivas predominantes por cantón de la Provincia de Esmeraldas

Cantón	Actividades Productivas Predominantes
Esmeraldas	Pesca, Turismo, Comercio (Pymes), Cacao.
Eloy Alfaro	Madera, Pesca, Coco, Cacao, Productos del Manglar, Turismo.
Muisne	Pesca, Cacao, Ganadería, Turismo.
→ Quinde	Palma Africana, Cacao, Maracuyá, Turismo.
San Lorenzo	Madera, Cacao, Pesca, Productos Del Manglar, Turismo.
Atacames	Pesca, Turismo, Artesanías, Cacao.
Rioverde	Ganadería, Turismo, Cacao.

Nota: Tomado del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la provincia de Esmeraldas 2015 – 2025, por la Prefectura de Esmeraldas.

Figura 15

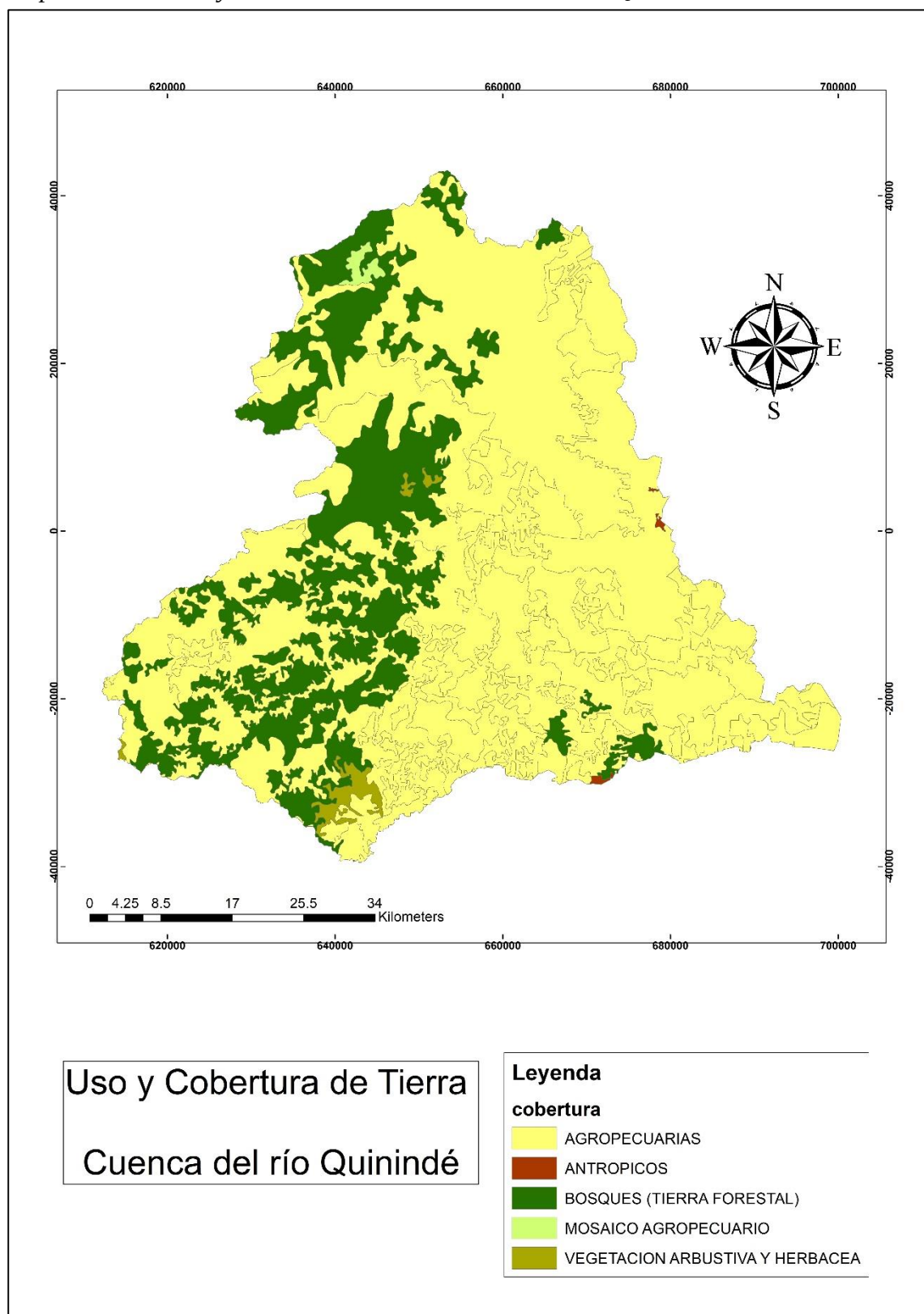
Mapa de cobertura vegetal en la Provincia de Bolívar al 2014



Nota: Tomado del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la provincia de Bolívar 2015 – 2020, por la Prefectura de Bolívar.

Figura 16

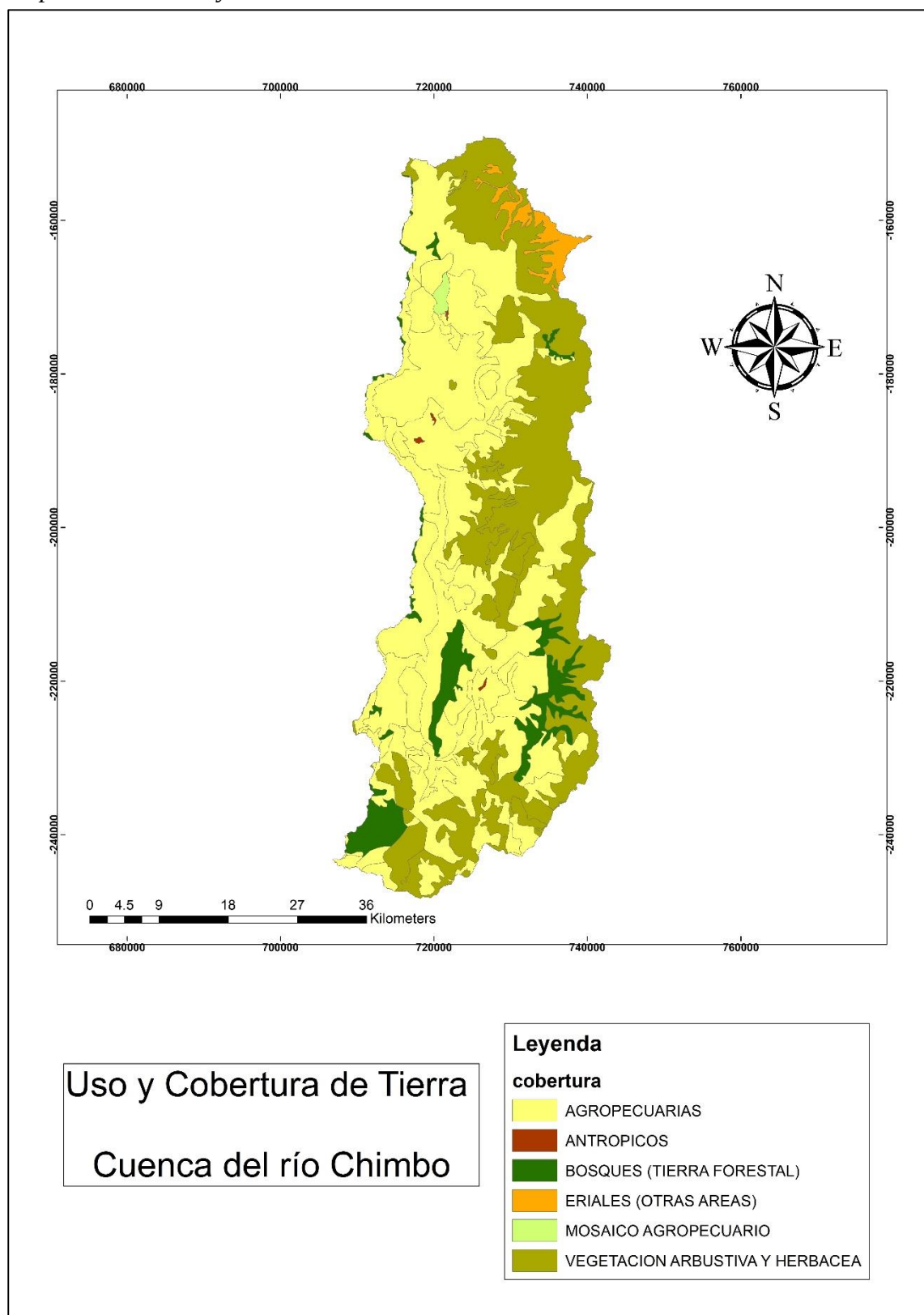
Mapa de Cobertura y uso de la tierra en la cuenca del río Quinindé al año 2002



Nota: Creado a partir de información extraída de un archivo de tipo shapefile perteneciente al Ministerio de Agricultura y Ganadería en conjunto con el Ministerio del Agua y Ambiente sobre cobertura y uso de tierra a nivel nacional en el año 2002.

Figura 17

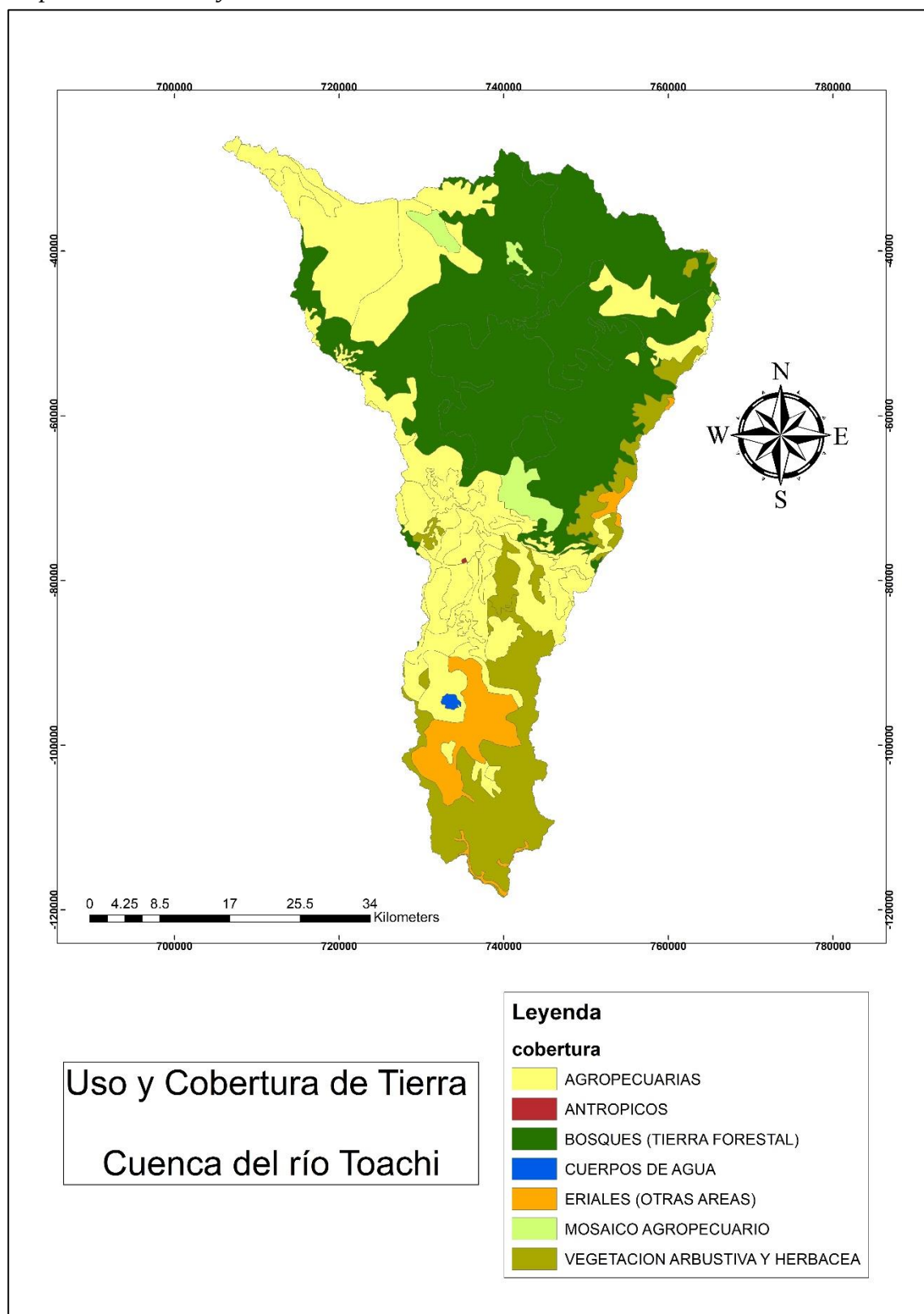
Mapa de Cobertura y uso de la tierra en la cuenca del río Chimbo al año 2002



Nota: Creado a partir de información extraída de un archivo de tipo shapefile perteneciente al Ministerio de Agricultura y Ganadería en conjunto con el Ministerio del Agua y Ambiente sobre cobertura y uso de tierra a nivel nacional en el año 2002.

Figura 18

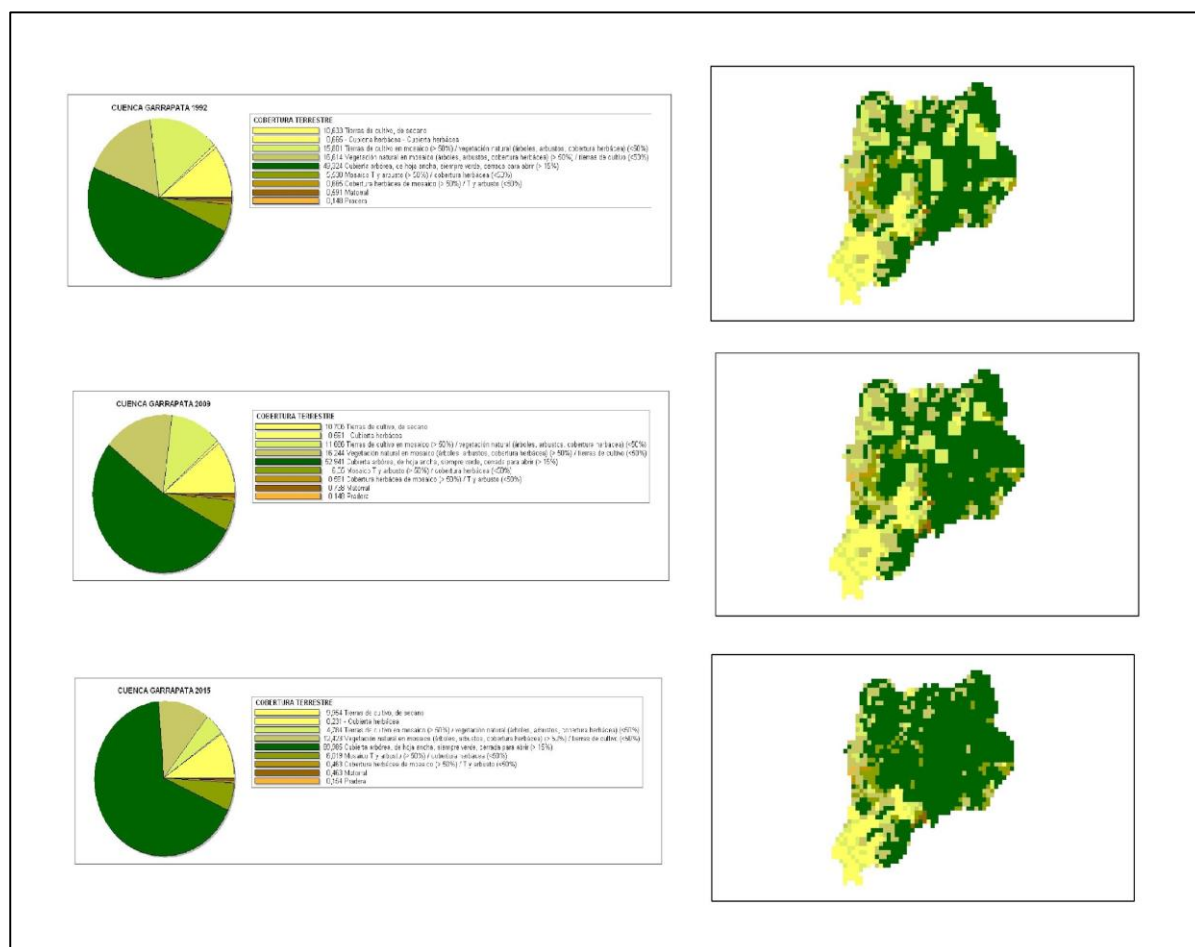
Mapa de Cobertura y uso de la tierra en la cuenca del río Toachi al año 2002



Nota: Creado a partir de información extraída de un archivo de tipo shapefile perteneciente al Ministerio de Agricultura y Ganadería en conjunto con el Ministerio del Agua y Ambiente sobre cobertura y uso de tierra a nivel nacional en el año 2002.

Figura 19

Mapa de cambios en cuenca del río Garrapata durante 1992 a 2015.

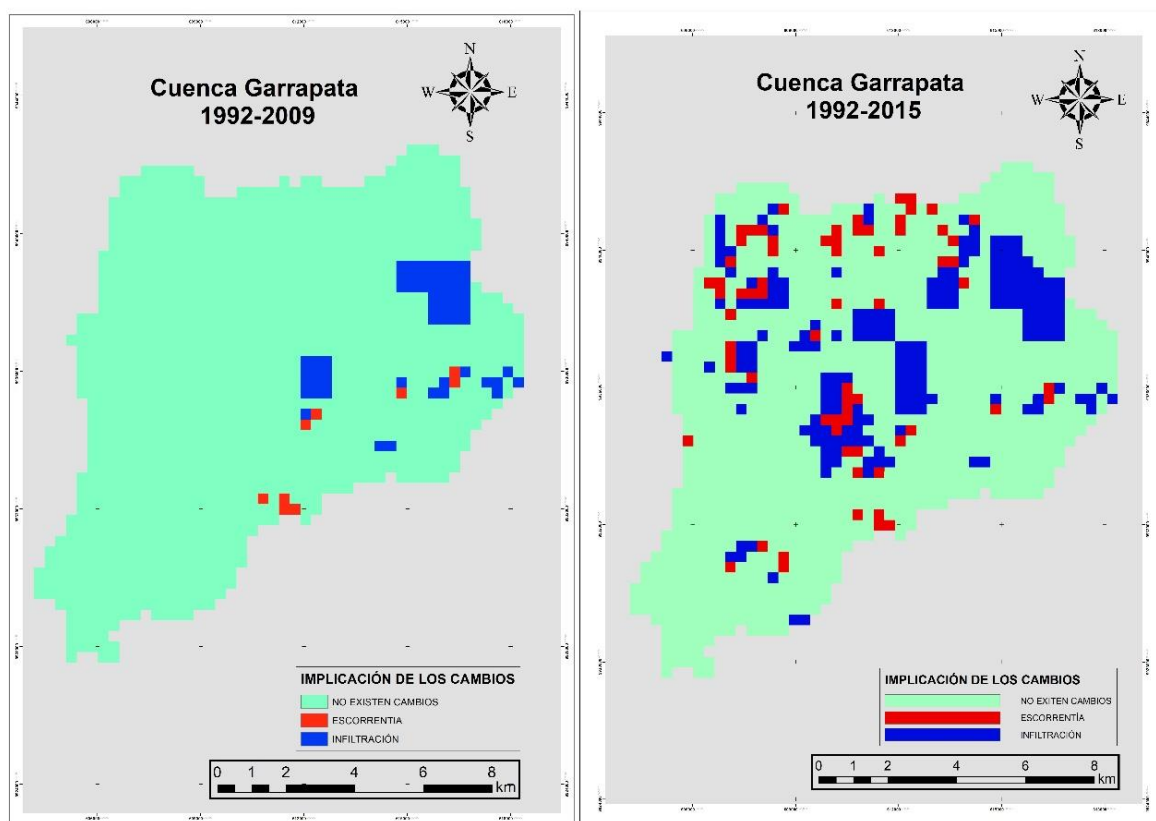


Nota: Tomado de la tesis de grado “Evaluación de cambios en el uso de la tierra en

Las cuencas cañar y garrapata” por Zambrano, M. (2021).

Figura 20

Aumento de infiltración y escorrentía en cuenca del río Garrapata durante 1992 a 2015.



Nota: Tomado de la tesis de grado “Evaluación de cambios en el uso de la tierra en

Las cuencas cañar y garrapata” por Zambrano, M. (2021).