PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

SEDE MANABÍ

CARRERA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

TRABAJO DE TITULACIÓN:

EVALUACIÓN DE CAMBIOS EN EL USO DE LA TIERRA EN LAS CUENCAS CAÑAR Y GARRAPATA.

PREVIO AL TÍTULO DE:

INGENIERA HIDRÁULICA

AUTORA:

MARÍA EUGENIA ZAMBRANO GARCÍA

TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:

ING. ANDY GILER ORMAZA, M. SC.

MARZO 2021

PORTOVIEJO – MANABÍ – ECUADOR

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

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

EVALUACIÓN DE CAMBIOS EN EL USO DE LA TIERRA EN LAS CUENCAS CAÑAR Y GARRAPATA.

_____

Ing. Andy Miguel Giler Ormaza, M. Sc.

C.C.: 131282032-5

TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

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.

Ing. Andy Giler Ormaza, M. Sc.

Primer Lector

131282032-5

Ing. John Félix Mera, M. Sc.

Segundo Lector

131363436-0

Ing. José Ramón Alarcón Loor, M. Sc.

Tercer Lector

131128820-1

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.

_____

María Eugenia Zambrano García

C.C.: 131518275-6

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.

_____

María Eugenia Zambrano García

C.C.: 131518275-6

Resumen

Este estudio no experimental evaluó los cambios en el uso de la tierra en las cuencas de los ríos ecuatorianos Cañar y Garrapata, ya que estas modificaciones son parte de la planificación y gestión de cuencas hidrográficas. Para ello, esta investigación se realizó en Portoviejo, durante 6 meses del año 2020. La metodología empleó un enfoque cualitativo, obteniendo imágenes satelitales de la cobertura terrestre y uso del suelo del periodo 1992-2015, del visor de la Agencia Espacial Europea (ESA CCI LC, por sus iniciales en inglés), utilizando el software Aeronautical Reconnaissance Coverage Geographic Information System (ArcGIS) versión 10.5 para procesar los datos, realizar los gráficos estadísticos de la comparación multitemporal, y estimar las implicaciones para la escorrentía e infiltración. Los resultados del programa ArcGIS 10.5 muestran diferentes tonalidades en los mapas refiriendo la cubierta arbórea. Los resultados de la comparación multitemporal de las cuencas evidencian que la cuenca del río Cañar posee una diferencia de cubierta arbórea de 1,43%, mientras la cuenca del río Garrapata evidencia un aumento del 20,66%. Los resultados de la estimación de las implicaciones para la escorrentía e infiltración señalan que la cuenca del río Cañar presenta 76% de escorrentía y 24% de infiltración; y que la cuenca del río Garrapata muestra 44% de escorrentía y 56% de infiltración. Se concluye que la cuenca Cañar posee pocos cambios en relación a la cuenca Garrapata. Para futuras investigaciones se recomienda considerar mayor cantidad de años de estudio.

Palabras clave: información satelital, cuenca hidrográfica, usos de suelo

Abstract

This non-experimental research study assessed land use changes in the *Cañar* and *Garrapata* Ecuadorian River Basins, given that these changes are part of hydrographic river basin management planning. Consequently, this research study was carried out in Portoviejo over a six-month period in 2020. It used a qualitative methodological approach, obtaining satellite images of land cover and land use for the period 1992-2015 from the viewer of the European Space Agency (ESA CCI LC), by using the Aeronautical Reconnaissance Coverage Geographic Information System (ArcGIS) 10.5 software in order to process data, to make statistical graphs of multi-temporal comparison, and to estimate implications for runoff and infiltration. The findings from ArcGIS 10.5 show different shades on the maps related to tree cover. The findings of the multi-temporal comparison of the basins reveal that the *Cañar* River Basin has 1.43% of tree cover difference, while the *Garrapata* River Basin shows increase of 20.66%. The findings from the estimation of the implications for runoff and infiltration reveal that the *Cañar* River Basin has 76% of runoff and 24% of infiltration; and that the *Garrapata* River Basin has 44% of runoff and 56% of infiltration. It is concluded that the *Cañar* River Basin has few changes in respect of the *Garrapata* River Basin. It is recommended using a higher number of years of study for future research.

Keywords: satellite information, hydrographic basin, land use

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR i
ACTA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL ii
DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD iii
DECLARACIÓN DE DERECHOS DE AUTOR iv
RESUMEN v
ABSTRACT vi
INTRODUCCIÓN 1
DISEÑO METODOLÓGICO 3
OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN DEL USO DE LA TIERRA PARA VARIOS AÑOS EN LAS CUENCAS SELECCIONADAS 5
CUANTIFICACIÓN MULTITEMPORAL DE LOS CAMBIOS EN LA COBERTURAS VEGETALES Y USO DEL SUELO EN LAS CUENCAS SELECCIONADAS. 6
ESTIMACIÓN DE LAS IMPLICACIONES QUE LOS CAMBIOS EN EL USO DE LA TIERRA PUEDEN TENER PARA LA ESCORRENTÍA Y LA INFILTRACIÓN EN LAS CUENCAS. 6
RESULTADOS 7
DISCUSIÓN 12
CONCLUSIONES 16
BIBLIOGRAFÍA 17
ANEXOS 21

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cuenca del río Cañar 4
Figura 2. Cuenca del río Garrapata..... 5
Figura 3. Cambios en la cuenca del río Cañar durante 1992 a 2015. 8
Figura 4. Porcentajes del uso del suelo en la cuenca del río Cañar..... 8
Figura 5. Implicaciones de los cambios en el uso del suelo en la cuenca Cañar..... 9
Figura 6. Mapa de cambios en cuenca del río Garrapata durante 1992 a 2015..... 10
Figura 7. Porcentajes del uso del suelo en la cuenca del río Garrapata..... 10
Figura 8. Implicaciones de los cambios en el uso del suelo en la cuenca Garrapata 11

INTRODUCCIÓN

A escala mundial, según Lambin y Meyfroidt (2011) la tierra se está convirtiendo en un recurso escaso, lo que reafirma la necesidad de una asignación más eficiente del uso de la tierra y la innovación en la agricultura. Los países aplican diferentes niveles de restricciones de uso de la tierra para proteger o conservar la naturaleza y sus servicios, desde estrictas reservas naturales hasta paisajes protegidos. La globalización económica combinada con la escasez mundial de tierras que se avecina aumenta la complejidad de las vías futuras de cambio de uso de la tierra.

Por ello, Nájera et al (2010) expresa que los cambios en el uso de la tierra son de las principales causas del deterioro ambiental, así se han reconocido en muchos países, por esta razón se encuentran ubicados en el foco de las investigaciones ambientales y presenta importancia en ámbitos para entender los componentes del proceso de deterioro y pautas para tomar decisiones razonables con respecto al uso de territorios.

Aguiar *et al*, (2016) aluden que indudablemente existen cambios presentados en la tierra de manera natural o antrópica. Los cambios en el uso de la tierra son una de las dimensiones más importantes del cambio global, siendo los factores la biodiversidad, los ciclos biogeoquímicos y el clima. La deforestación, uno de los principales componentes de los cambios en el uso de la tierra, se ha concentrado durante la última década en los bosques tropicales y subtropicales de África, Sudamérica, y del Sudeste asiático

Por otro lado, en razón de las cuencas hidrográficas la Secretaría de la Convención de Ramsar (2010) el deterioro del índice de calidad del agua o los cambios climáticos asociados son problemáticas muy latentes en el manejo adecuado de las cuencas. Dichas situaciones pueden generarse a causa de la falta de interés hacia los ecosistemas.

Adicional a lo dicho, Rodríguez (2006) expresa que las cuencas hidrográficas demuestran aspectos diferentes por ello es necesario tomarlos en cuenta para gestionar de manera sostenible la región y los recursos naturales. El cambio de las cuencas hidrográficas puede evitar de manera significativa el desarrollo regional desde adentro. Además, expresa que la región Huetar Norte costarricense ha presentado una evolución

histórica basta que construido la identidad regional para gestionar adecuadamente los recursos naturales.

Además, en concordancia con lo acotado por Cure (2012) uno de los principales aspectos por los cuales no existen un cambio evidente dentro de las microcuencas es por la migración de individuos que habitan cerca de la microcuenca, la razón de ello es que al haber menos actividad humana en el entorno puede disminuir considerablemente la presión a los ecosistemas, no obstante, es necesario mencionar que no desaparece.

En el período de los 50's y finales de los 90's de acuerdo con Tapia (2015) se marcó un hito en la expansión agrícola de la frontera y el uso de suelo se basó en producciones diversificadas con técnicas ancestrales. Todos y cada uno de los cambios globales influyeron, entre ellos la sobrepoblación, el consumismo, desigualdad de herencias, entre otros factores denotaron la degradación de los suelos desde la perspectiva socioeconómica y biofísica.

Según Salazar (2015) las leyes y políticas sobre el uso del suelo de las cuencas hidrográficas y bosques nativos ha evolucionado desde los 60's hasta la actualidad. Entre los 60 y los 90, el Ecuador tuvo un interés específico en poblar tierras consideradas baldías, principalmente bosques primarios de la región Amazónica. Es importante mencionar que el auge de las 74 políticas conservadoras de bosques y suelos varios empezó a inicios del siglo XXI mediante la declaración de áreas protegidas.

En la cuenca del río Chone de acuerdo con Falconí y Zambrano (2017) el uso del suelo ha presentado alteraciones en los últimos años a causa de la expansión pecuaria, incremento de bosques secundarios. Otro ítem a tener en consideración son las actividades agrícolas y ganaderas en el período 2008-2015 ya que aumentaron los cultivos de ciclo largo, en pasto y ganadería. El exceso y sobreexplotación de estas actividades provocaron la pérdida significativa de la cobertura vegetal de índole natural.

El Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (2015) expresa que el uso de la tierra mayoritario en el cantón Cañar es conservación y protección con 69.072 hectáreas aproximadamente el 42,52%, localizadas en mayor medida al suroeste del cantón y que van ligadas a las coberturas de páramo, bosque nativo, vegetación arbustiva herbácea, le sigue el uso pecuario bovino extensivo, improductivo y el agrícola extensivo. Económicamente, los cultivos de maíz suave constituyen los

principales componentes de la actividad agrícola del cantón. La importancia del presente estudio radica en la evaluación de los cambios a través del tiempo, ya sea la erosión, deforestación o el aumento del crecimiento de la cubierta arbórea para de esta manera lograr la gestión y administración de los recursos hídricos y aquellos recursos que forman parte de la cuenca para finalmente alcanzar una planificación adecuada de obras hidráulicas o civiles.

DISEÑO METODOLÓGICO

Métodos

La metodología tiene como objetivo brindar las tácticas a seguir en un determinado proyecto, permite administrar el proceso de forma eficiente y eficaz para obtener los resultados esperados. El diseño metodológico se conceptualiza bajo el parámetro de procesos conformados por cada uno de los pasos lógicos debidamente estructurados y entrelazados (Cortés y Iglesias, 2004) (Ver anexo 5).

El presente trabajo de investigación "Evaluación de los cambios en el uso de la tierra en las cuencas Cañar y Garrapata", muestra un diseño de investigación de tipo no experimental evolutivo ya que en el estudio se analizaron datos en diferentes puntos del tiempo, para ejecutar consecuencia en referencia a la evolución multitemporal de la problemática, sus causas y efectos referidos (Hernández *et al*, 2014).

Área de estudio

El presente estudio investigativo se llevó a cabo en dos cuencas del Ecuador correspondientes al río Cañar y Garrapata que se delimitan a partir de estaciones hidrológicas y éstas cuentan con las siguientes coordenadas Datum WGS84 y Proyección Universidad Técnica de Manabí.

El río Cañar de la provincia de Cañar

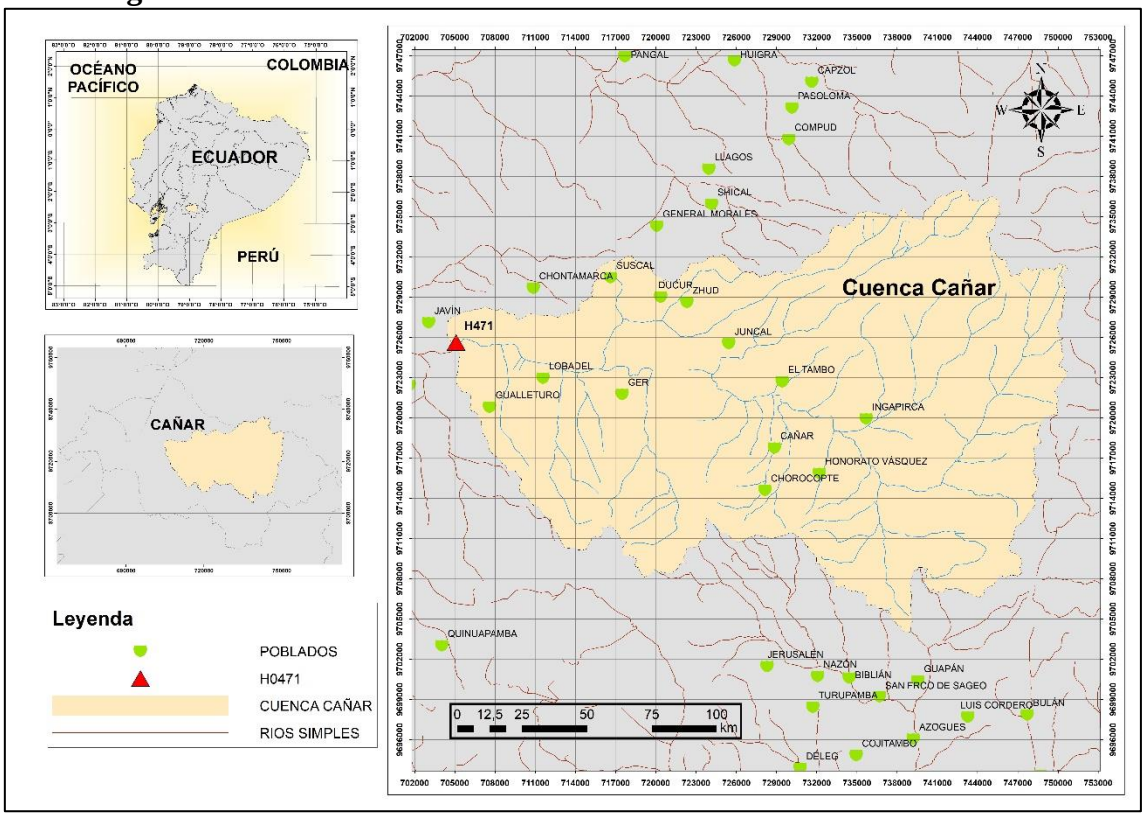
Este: 704922

Norte: 9725238

Área: 942,29 km^2

Elevación: 870m

Figura 1. Cuenca del río Cañar



Elaboración: Propia de la autora.

El río Garrapata del cantón Chone de la provincia de Manabí

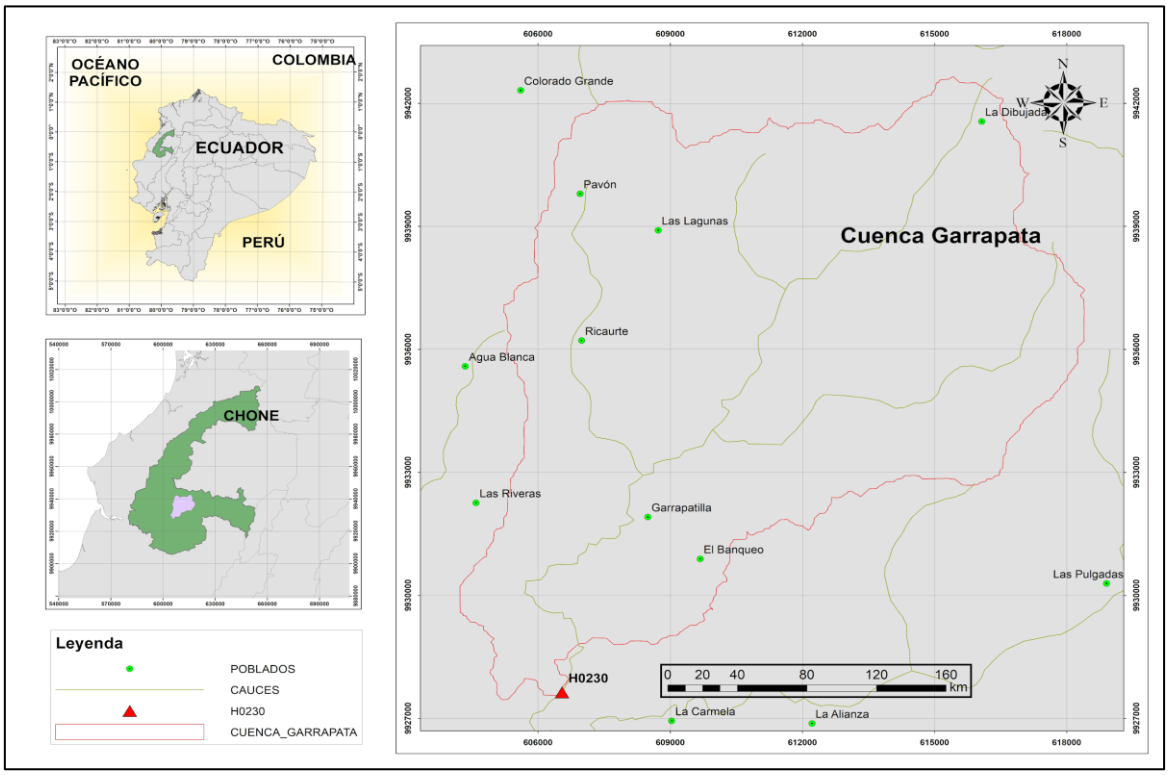
Este: 606544

Norte: 9927637

Área: 128,38 km^2

Elevación: 50m

Figura 2. Cuenca del río Garrapata



Elaboración: Propia de la autora.

La delimitación de las cuencas del río Cañar y del río Garrapata se generan aguas arribas de las estaciones hidrológicas H0471 y H0230 respectivamente por medio del software ArcGIS 10.5 que corresponde a uno de los sistemas de información geográfica (SIG) (Peña, 2012), además se hizo uso de cartas topográficas descargadas en línea en la agencia cartográfica del Ecuador (IGM), de este modo se cargaron en el software dando la información necesaria para su precisa demarcación.

Para lograr el cumplimiento de los objetivos ya planteados se llevaron a cabo los siguientes pasos:

Obtención de información del uso de la tierra para varios años en las cuencas seleccionadas

Las imágenes satelitales fueron obtenidas del conjunto de datos de cobertura terrestre de la Agencia Espacial Europea (ESA CCI LC) ya que es un producto de cobertura terrestre global continuo con 23 años consecutivos desde 1992 al 2015 a una resolución de cuadricula de 300m. El producto está disponible en línea desde 2017 y fue

desarrollado durante nueve años por el programa Iniciativa de Cambio Climático (CCI) de la ESA. Uno de los principales propósitos de ESA CCI LC fue crear un producto de cobertura terrestre que cumpla con los requisitos de la comunidad de modelos climáticos. El Sistema de referencia de coordenadas utilizado para la base de datos de cobertura terrestre mundial es un sistema de coordenadas geográficas (GCS) basado en la referencia del Sistema geodésico mundial 84 (WGS84) elipsoide (Land Cover CCI, 2017). El cual es adecuado para el desarrollo de la investigación, los pasos de como descargar las imágenes satelitales se pueden observar en el anexo 1.

Cuantificación multitemporal de los cambios en la coberturas vegetales y uso del suelo en las cuencas seleccionadas.

La realización de la cuantificación multitemporal de los cambios en las coberturas vegetales y usos del suelo se empleó utilizando el software ArcGIS 10.5. El procedimiento se encuentra detallado en el anexo 2, pasos que se realizaron con la inclusión de las siguientes fórmulas:

ÁREA = "COUNT" * (multiplicación de x,y) / 10000

PORCENTAJE = "ÁREA" * 100 / (sumatoria de áreas)

Es importante recalcar que la herramienta ArcGIS 10.5 es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. También los permite la interpretación de los patrones y las relaciones que muestran, el análisis espacial va un paso más allá y aplica operaciones geográficas, estadísticas y matemáticas a los datos representados en el mapa (Peña, 2012). Esta herramienta fue de gran ayuda para el desarrollo del proyecto de investigación.

Estimación de las implicaciones que los cambios en el uso de la tierra pueden tener para la escorrentía y la infiltración en las cuencas.

Según Galicia (2014), las modificaciones en los usos de suelo tienen relación directa con factores estructurales de varios ecosistemas tales como la vegetación y el suelo alterando así los procesos del ciclo del agua y disminuyendo su accesibilidad de manera

significativa, ya que, al eliminar la vegetación, las lluvias sellan el suelo reduciendo su índice de infiltración, frecuencia e intensidad de la escorrentía correspondiente.

Por ejemplo, un cambio importante de la cobertura vegetal son los árboles lo que produce que en las copas de los mismo se intercepta la lluvia reduciendo la cantidad de agua que cae en el suelo actuando como barrera que reducirá la escorrentía y así mismo como mejoradora de la tierra aumentando la capacidad de infiltración y retención de agua (Ríos et al, 2006).

El ejemplo ayudó para la determinación de la escorrentía e infiltración los cuales los seguiremos realizando en el software ArcGIS 10.5 donde realizaremos una división entre ambos ráster para poder visualizar mejor la influencia que tuvieron estos cambios en la hidrología (Ver anexo 3).

Según el estudio de Hough de 1984 citado por Henríquez et al (2006), si se reduce la cobertura de árboles y vegetación en las áreas urbanas, la tasa de escorrentía aumentará del 10% al 30% y la permeabilidad subterránea disminuirá del 50% al 32%. Estas condiciones previas nos llevaron a confirmar que uno de los impactos ambientales más significativos de la sustitución de revestimientos naturales por revestimientos impermeables es el aumento de la escorrentía superficial.

RESULTADOS

Después de finalizar la investigación se pudieron evidenciar los resultados, mismos que se proceden a detallar a continuación.

Se pudo obtener las imágenes satelitales del conjunto de datos de cobertura terrestre de la Agencia Espacial Europea (ESA CCI LC) del área de estudio de los años 1992 y 2015.

Luego se precedió a calcular el porcentaje de cada una de las coberturas vegetales y usos del suelo en las cuencas seleccionadas demostrándolo gráficamente donde se puede comprobar con mayor facilidad los cambios de un año a otro.

Figura 3. Cambios en la cuenca del río Cañar durante 1992 a 2015.

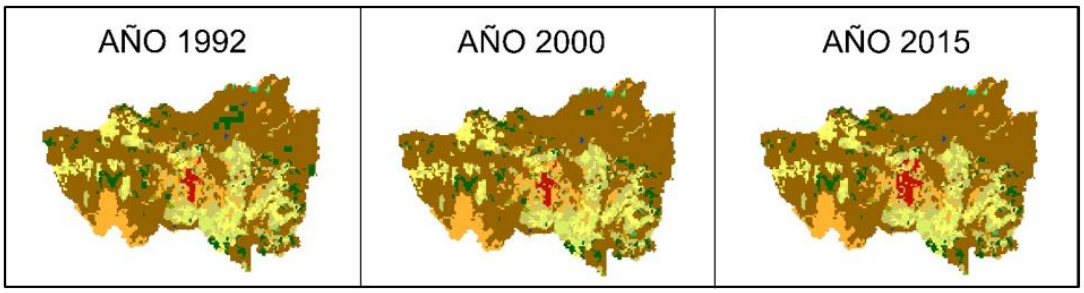
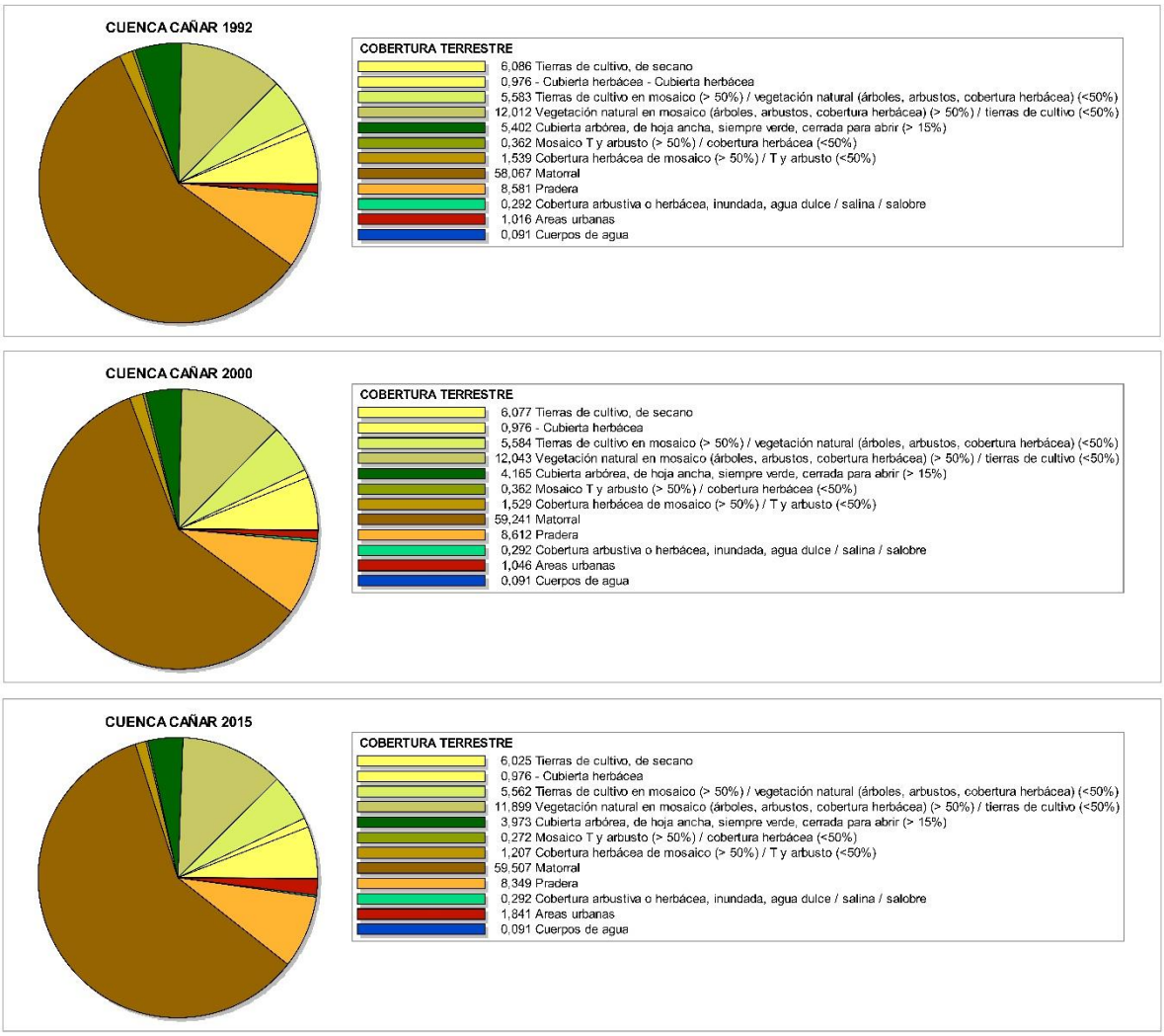


Figura 4. Porcentajes del uso del suelo en la cuenca del río Cañar

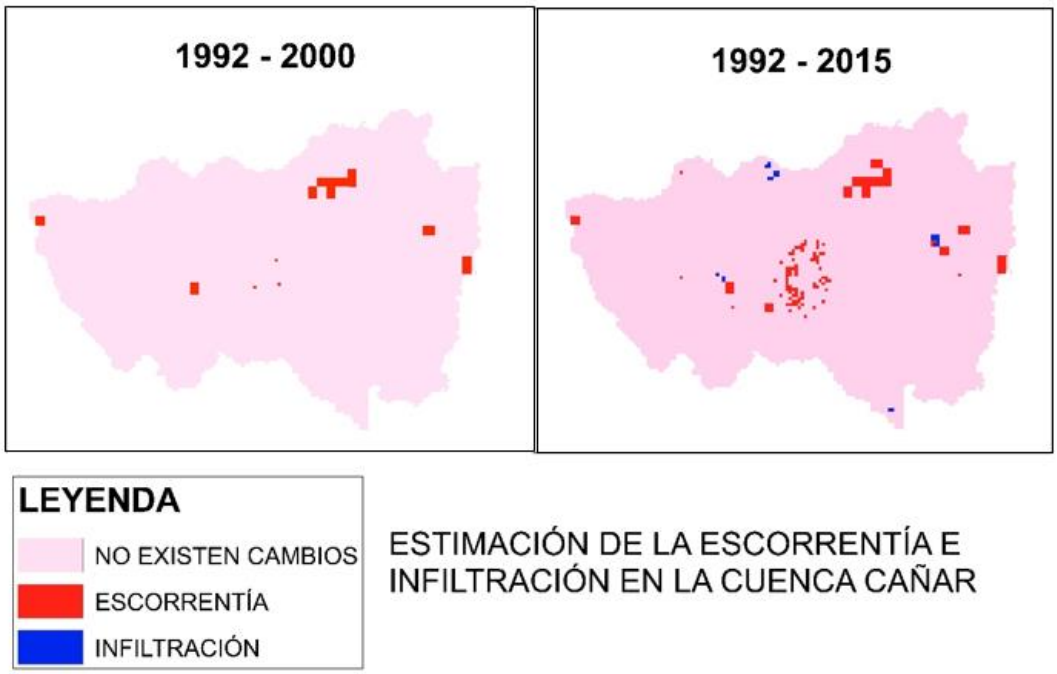


Podemos demostrar por medio de los gráficos estadísticos los cambios que ha presentado el uso de tierra en la cuenca Cañar han sido pocos, el más significativo fue la disminución de Cubierta arbórea, de hoja ancha, siempre verde, cerrada para abrir (> 15%) ya que en el año 1992 se obtuvo el 5.402% de cobertura, para el año 2000 el 4.165% y para el año 2015 de 3.973% teniendo una diferencia de 1.43% desde el año

1992 al 2015 llevándolo a Matorral que es la cobertura terrestre que predomina en la cuenca con un 59.507%, cabe destacar que la Vegetación natural en mosaico tuvo un aumento en el año 2000 y luego un descenso en el año 2015.

Realizado lo anterior se continuó a reclasificar para estimar los alcances de los cambios significativos en el uso de la tierra en la cuenca Cañar que pueden tener para la escorrentía y la infiltración.

Figura 5. Implicaciones de los cambios en el uso del suelo en la cuenca Cañar



Se obtuvo que entre los años 1992 al 2000 predomina la escorrentía ya que en los cambios realizados hubo una disminución de Cubierta arbórea, de hoja ancha, siempre verde, cerrada para abrir (> 15%) a coberturas que favorecen la escorrentía. Para los años 1992 al 2015 se presenta la infiltración por lo que en algunas áreas hubo cambios de Matorral a Cubierta arbórea, de hoja ancha, siempre verde, cerrada para abrir (> 15%), a pesar de ello también predomina la escorrentía.

Figura 6. Mapa de cambios en cuenca del río Garrapata durante 1992 a 2015

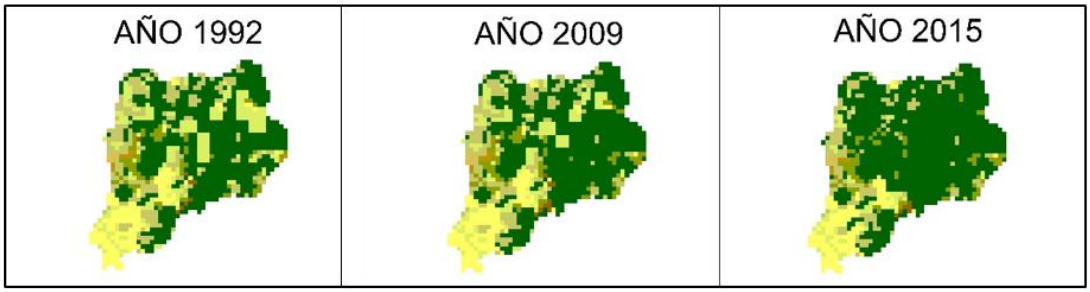
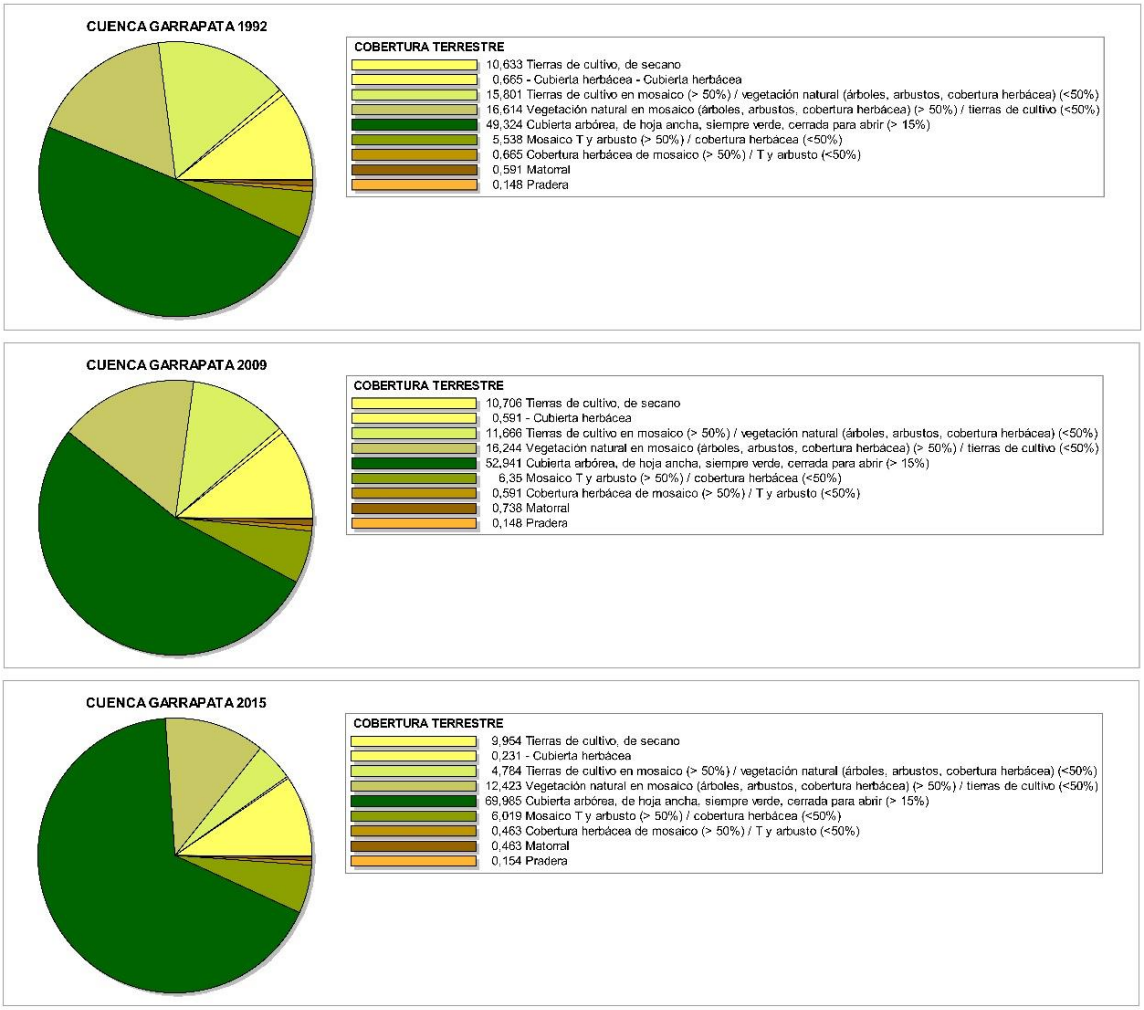


Figura 7. Porcentajes del uso del suelo en la cuenca del río Garrapata

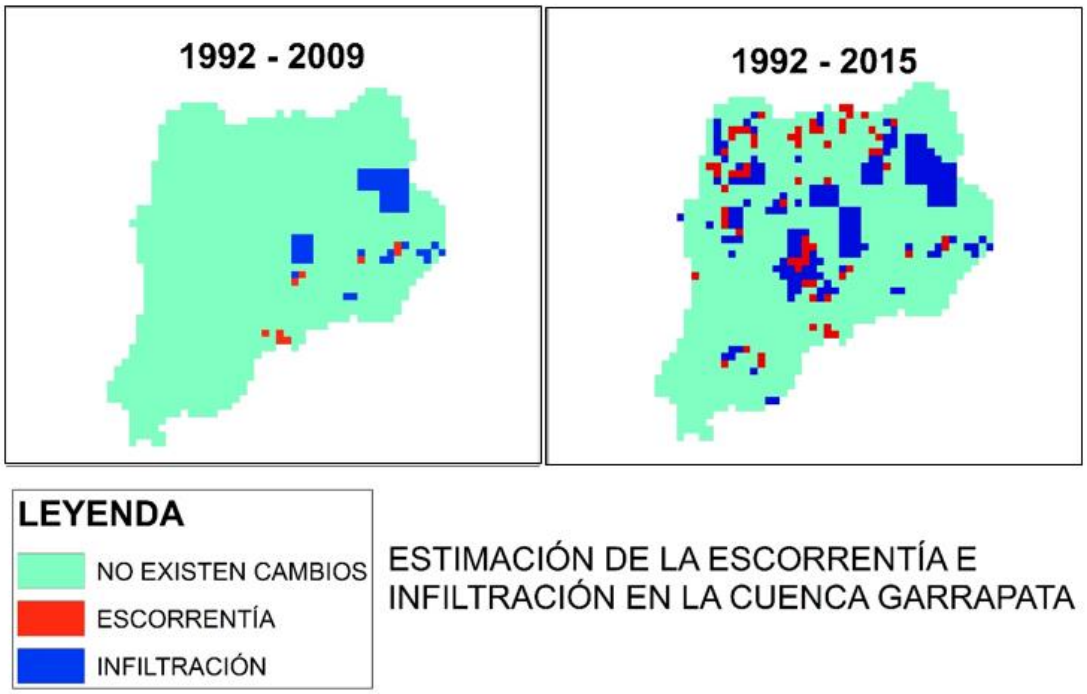


En la Cuenca Garrapata se pudieron observar cambios en el uso de la tierra más relevantes como fue el gran porcentaje de Cubierta arbórea, de hoja ancha, siempre verde, cerrada para abrir (> 15%) en el año 1992 el 49.324%, en el año 2009 el 52.941% y en el año 2015 el 69.985 teniendo un aumento significativo de 20.66% desde el año

1992 al año 2015 conllevando una disminución en la cobertura de Tierras de cultivo en mosaico (> 50%) / vegetación natural (árboles, arbustos, cobertura herbácea) (<50%).

Analizados los cambios se continuó a estimar las implicaciones que estos tienen en la hidrología especialmente en la escorrentía y la infiltración en la cuenca del río Garrapata.

Figura 8. Implicaciones de los cambios en el uso del suelo en la cuenca Garrapata



Bajo los resultados hallados se determinó que la variabilidad en la cobertura de la cuenca del río Garrapata presentaron que en los años 1992 al 2009 la infiltración influye más por la razón que hubo un incremento de Cubierta arbórea, de hoja ancha, siempre verde, cerrada para abrir (> 15%), desplazando a la Tierra de cultivo en mosaico y al Matorral, así mismo prevalece en los años 1992 y 2015 teniendo el 56% a favor de la infiltración.

DISCUSIÓN

De acuerdo a lo indicado por Kuentz *et al.*, (2017), la separación predominante en relación a cuencas hidrográficas a nivel intercontinental, se encuentra entre aquellas limitadas por la energía y la humedad; al mismo tiempo, se pueden mostrar diferencias notables en las variables explicativas al momento de efectuar los respectivos análisis en cuencas de la misma clase. En otras latitudes se han encontrado picos amortiguados, se determinó que esto se debe a la presencia de grandes masas de agua en algunos tipos de cuencas hidrográficas; así mismo, el pico se amortigua en algunas llanuras o zonas llanas indicando captaciones de la misma clase. Concluyendo así, que la hidrología comparativa juega un factor clave para la comprensión de los cambios hidrológicos, sin embargo, ésta es limitada debido a las acciones antrópicas desconocidas.

En la interpretación realizada mediante el conjunto de imágenes satelitales de la ESA-CCI-LC de 1992 y 2015, fue posible observar que en la cuenca del río Cañar, se encuentra cubierta principalmente por matorrales, implicando aproximadamente un 59.5% de cobertura y sigue aumentando; no obstante, la cubierta arbórea ha disminuido representando tan solo el 3.97% de cobertura. En cuanto a la cuenca del río Garrapata, se pudo observar un notorio aumento de la cubierta arbórea, representando un 69.99% de cobertura y en constante aumento, de acuerdo a lo informado en un reporte periodístico. La Hora (2006), afirma que en el año 2000 se inició un plan de reforestación nombrado “Profesor Ovidio Hidalgo” que hasta el año 2006 ha logrado reforestar 10000 hectáreas mediante el apoyo de varios alumnos de los quintos cursos de los colegios secundarios de Chone. El proyecto tenía la proyección de continuar, lo que se ha visto evidenciado en la cuenca al analizar los mapas, siendo un indicio de la reforestación en el área.

Igualmente, es importante acotar que en base al criterio de Chapin *et al*. (2005), los ciclos biogeoquímicos de una cuenca hidrográfica pueden o no funcionar adecuadamente a causa del ciclo hidrológico, entendiendo aquel punto, los autores Maass y Cotler (2008), aclaran que además de ser el factor base, permite el manejo integrado de todo el ecosistema interviniente, que así mismo pueden alterarse al modificar el uso y cobertura del suelo. Por otra parte, Ramírez *et al.* (2008), logró determinar que dentro de la cuenca media del río Reventado de Costa Rica, el 25% de las fincas presentó un nivel de uso del suelo del 39%, indicando que estaba sobre

utilizada ligeramente, mientras que el 36% del área se encontraba severamente sobre utilizada.

Además, Hernández (2010), alude que en la cuenca del río Nosara ubicado en Costa Rica, el uso del suelo ha ido cambiando de manera muy frecuente durante las últimas tres décadas. Según expresa, ha existido sobreposición de la cobertura, por tanto, el 80% del lugar se encuentra en una situación óptima; además, en los años 2004, 2005 y 2006 abarcó el 34% de la superficie de la cuenca. Así mismo, establece que la zona boscosa ha sufrido la mayor parte de transformaciones debido a los últimos usos, aquello se asemeja a los resultados obtenidos en la cuenca del río Garrapata, en los que se obtuvo que en el periodo de 1992 a 2015, más del 50% de áreas arbóreas fueron transformadas gráficamente, la comparación en base a las consecuencias es significativa.

A su vez, de acuerdo al estudio de Nené *et al*. (2017), durante los últimos años los humedales de Jalisco en México, han sufrido cambios en sus cuencas, estableciendo que los usos agropecuarios han incrementado en un 55% y 175% respectivamente. El principal factor de cambio es el desarrollo turístico en la CAS, ya que abrió paso a la modificación del entorno. Dentro de los principales procesos está la deforestación y la transición forestal; del cual, únicamente se pudo recuperar el 30% de las superficies de bosques tropicales.

A nivel de América del sur, dentro de la cuenca del Aconcagua se ha dado una explotación de la superficie debido a los procesos de modernización e intensificación del uso del suelo. La incorporación de nuevos terrenos ha sobrepasado los límites del valle, orientándose hacia tierras en la pendiente, incidiendo en los métodos de transferencia de masa desde la cuenca hacia la desembocadura, cambio que resulta muy abrupto en la zona (Soto *et al.*, 2011). En comparación, los cambios el uso del suelo y cobertura de las cuencas del río Cañar y Garrapata presentan cambios significativos en los años 1990 y 2002 respectivamente (ver anexo 6 y 7). En este sentido, la cuenca del río Garrapata en el año 1990 presentó diversidad en cobertura y uso del suelo como: bosque húmedo, pasto bosque, pasto natural, café cacao, entre otros; mientras que en el año 2002 únicamente se muestra una cobertura con uso agropecuario. Por otro lado, los cambios de la cuenca del río Cañar denotan que en el año 1990 los dos usos de suelo más destacados fueron cultivos de altura y vegetación de páramo; mientras que en el

año 2002 se destacaron las zonas agropecuarias y vegetación arbustiva/herbácea (MAGAP, 2015).

En relación a lo anterior, se encuentra el estudio de Sepúlveda *et al.* (2019), que analiza la dinámica de cambio de uso y cobertura de suelo en la región de La Araucanía - Chile, durante el periodo 1994 a 2007. Los autores pudieron identificar que un 79.5% de la zona de cambio se encontraba cubierta por cultivos-praderas naturales y plantaciones forestales, habiendo ganado terreno las plantas exóticas de uso forestal con una tasa de 432 ha año-1 en deterioro de suelos de uso agropecuario. Corroborando así la necesidad de estudiar la evolución del suelo previo a las actividades productivas realizadas en el sitio.

De igual manera para Espinoza (2021) quien evaluó las cuencas de los ríos Quinindé, Chimbo y Toachi y encontró diferencias que predominan la cubierta arbórea con el 43% siendo un porcentaje similar a los resultados obtenidos en esta investigación en la figura 3 donde se puede observar que existe un porcentaje superior al 50% superando el abastecimiento de matorrales, lo que denota una crecida en la zona y beneficios en la cuenca con el paso de los años, y por ende aumenta la escorrentía en el área. Asimismo, en la figura 4 se puede identificar que existen cambios durante el periodo de 1992 a 2015 figurando un aumento de las zonas arbóreas con el 59,24% comparados con el trabajo del autor antes mencionado que tiene un total de 64% y un ligero aumento de áreas urbanas que ha ayudado a la reforestación del lugar.

No obstante, Camarasa (2018), menciona en su trabajo sobre las transformaciones de los usos de suelo y su relación con la escorrentía en un torrente mediterráneo, que en términos de producción de escorrentía se determinó que disminuyó un 40% de la superficie y aumentó la escorrentía de tipo superficial, generando un efecto en la cima de bosques y en las cuencas medias y bajas por el incremento del suelo artificial. Contrarrestando este estudio, los resultados denotan un aumento en la infiltración del suelo dada la cantidad de cubierta arbórea en la cuenca del río Garrapata.

Por el contrario, Crespo, *et al.* (2014), en un artículo sobre los cambios constantes del uso de suelo en relación hidrológica con páramos húmedos de origen andino, asegura que los ecosistemas andinos en el sur del Ecuador utilizan microcuencas pareadas donde los impactos hidrológicos revelan el movimiento de las áreas urbanas y

ganaderas, que con cultivos afectan los caudales, flujos, bases y su capacidad amortiguadora, esto como consecuencia del aumento de la evapotranspiración, sin embargo, la presente investigación presentó hallazgos diferenciados en relación al páramo andino en la cuenca del río Cañar, dado que su cubierta arbórea ha disminuido considerablemente a causa del incremento de matorral en el periodo de estudio y por ende resulta en el aumento de la escorrentía superficial.

Para finalizar el presente capítulo, en concordancia con lo indicado por Guzha *et al.* (2015), los cambios en las cuencas hidrográficas responden a la modificación y variación del clima. En contextos de la región amazónica, estos autores evaluaron una de las cuencas correspondientes a un pastizal que fue despojado de toda la vegetación natural a principios de la década de 1980, y una cuenca correspondiente a un bosque tropical primario con pequeños signos de perturbación. Sus resultados indicaron que el índice de caudal base fue relativamente alto en la cuenca forestal (0,76) en comparación con la cuenca de pastos (0,63). Es posible que la conversión de bosques en pastos pueda provocar cambios importantes en los procesos de generación de escorrentía y en el almacenamiento de agua en estas cabeceras.

CONCLUSIONES

- Las imágenes satelitales de la ESA-CCI-LC permitieron realizar con éxito el respectivo análisis multitemporal en las transformaciones del uso de la tierra que existieron a través del tiempo en las cuencas seleccionadas.

- Se realizó una comparación multitemporal de los cambios en la coberturas vegetales y uso del suelo en las cuencas seleccionadas por medio de gráficos estadísticos. Lo que evidenció que en la cuenca Cañar los cambios fueron pocos a comparación de la cuenca Garrapata que tuvo hasta el 21% de cambios de cobertura.

- Los resultados obtenidos por medio del uso de las herramientas de sistema de información geográfica como lo es ArcGIS 10.5, ayudaron a estimar los alcances o implicaciones relacionadas a las modificaciones de uso de tierra destacando los procesos de escorrentía y la infiltración dentro de una cuenca.

BIBLIOGRAFÍA

Aguiar S, Texeira, M, Paruelo J y Román M. (2016). *Conflictos por la tenencia de la tierra en la provincia de Santiago del Estero.* Su relación con los cambios en el uso de la tierra. Universidad de Buenos Aires.

Camarasa, A.; Caballero, M. & Iranzo, E. (2018). *Cambios de uso del suelo, producción de escorrentía y pérdida de suelo.* Sinergias y compensanciones en una rambla mediterránea. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, 78, 127–153.

Chapin, M.; Lamb, Z. & Threlkeld, B. (2005). *Mapping Indigenous Lands.* Annual Review of Anthropology.

Cortés, M. y Iglesias, M. (2004). *Generalidades sobre Metodología de la Investigación.* Universidad Autónoma del Carmen. http://www.unacar.mx/contenido/gaceta/ediciones/metodologia_investigacion.pdf

Crespo, P et al., (2014). *Impactos del cambio de uso de la tierra sobre la hidrología de los páramos húmedos andinos*. Editores. Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos, CONDESAN.

Cure, L. (2012). *Determinación de la influencia del cambio climático de uso de suelo en la calidad ambiental de la cuenca del río Déleg.* Cuenca-Ecuador.

Espinoza, J. (2021). *Evaluación de cambios en cobertura del suelo en cuencas de las cordilleras occidental y costera.* Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Falconí, L. y Zambrano, M. (2017). *Influencia del cambio de uso de suelo en la tasa de deforestación de la cuenca del río Chone, en los años 2008 y 2015.* Escuela superior politécnica agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Galicia, L. (2014). *El cambio del uso del suelo: Consecuencias en el ciclo hidrológico y la disponibilidad del agua.* Revista de Educación y Cultura en México.

Gaspari y Senisterra (s.f.). *Valoración de servicios ambientales para el ordenamiento agro hidrológico en cuencas hidrográficas.* Facultad de ciencias agrarias y forestales.

Guzha, A.; Nobrega, R.; Kovacs, K.; Rebola, J.; Amorim, R. and Gerold, G. (2015). *Characterizing rainfall-runoff signatures from microcatchments with contrasting land cover characteristics in southern Amazonia.* Hydrological Processes.

Henríquez, C., Azócar G. y Aguayo M. (2006). *Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile.* Revista de geografía Norte Grande, (36), 61-74.

Hernández, A. (2010). *Capacidad del uso de la tierra y los cambios en la cuenca del río Nosara, Guanacaste, 1979 – 2006.* Tecnología en Marcha Vol. 23, N.º 3.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. Interamericana editores, S.A. https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf

Instituto Geográfico Militar. (2016). *GeoPortal*. Gestión de Tecnología.

Kuentz, A.; Arheimer, B.; Hundecha, Y. and Wagener, T. (2017). *Understanding hydrologic variability across Europe through catchment classification.* Hydrology and Earth System Sciences.

Lambin, E. y Meyfroidt, P. (2011*). Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(9), 3465–3472. https://doi.org/10.1073/pnas.1100480108

Land Cover CCI. (2017). *Product user guide.* UCL-Geomatics. http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download/ESACCI-LC-Ph2-PUGv2_2.0.pdf

López, A., García, .J., Camarasa Belmonte, M., Mateu Belles, 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, I (44), 69-94.

Maass, J. y Cotler, H. (2008). *Protocolo para el manejo de ecosistemas en cuencas hidrográficas. El manejo integral de cuencas en México: estudios y reflexiones*

para orientar la política ambiental. México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Segunda Edición.

MAGAP. (2015). *Levantamiento de cartografía temática escala 1:25.000, lote 2: Cobertura y uso de la tierra sistemas productivos zonas homogéneas de cultivo.* http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/Memoria_tecnica_Coberturas_CA%C3%91AR_20150415.pdf

Mendoza, M; Bocco, G., López, E. & Bravo, M. (2002). *Implicaciones hidrológicas del cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: una propuesta de análisis espacial a nivel regional en la cuenca cerrada del lago de Cuitzeo, Michoacán.* Investigaciones geográficas, (49), 92-117.

Najéra, O., Bojórquez, J., Cifuentes, J. y Marceleño S. (2010). *Cambio de cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Mololoa, Nayarit.* Revista Biociencias, 1(1), 19-29.

Nené, A., González, G., Mendoza, M. y Silva, F. (2017). *Cambio de cobertura y uso de suelo en cuencas tropicales costeras del Pacífico central mexicano.* Volumen 2017, Issue 94.

Nené, L., Alvarado, A., Pujol, R., y Brenes, L. (2017). *Caracterización física de la cuenca media del río reventado, Cartago, Costa Rica.* Agronomía Costarricense 32(2): 73-92. ISSN:0377-9424

Peña, X. (2012). *Sistema de Información Geográfica aplicado al Catastro Predial del Cantón Paute, Ecuador.* Universidad San Francisco de Quito. [Tesis]. http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/2011/1/105964.pdf

Ríos, N., Cárdenas, A., Andrade, H., Ibrahim, M, Jiménez F., Sancho, F., Ramírez E., Reyes B. y Woo, A. (2006). *Escorrentía superficial e infiltración en sistemas ganaderos convencionales y silvopastoriles en el trópico subhúmedo de Nicaragua y Costa Rica.* Agroforestería en las Américas. (45), 66-71. http://www.sidalc.net/repdoc/A6009e/A6009e.pdf

Rodríguez, F. (2006). *Cuencas Hidrográficas, Descentralización y Desarrollo Regional Participativo.* Inter Sedes. Vol. VII. (12-2006) 113-125. ISSN: 1409-4746

Salazar, J. (2015). *Factores del cambio de uso de suelo (1986-2010) en la cooperativa pío Jaramillo Alvarado, cantón Nangaritza, provincia de Zamora Chinchipe: aportes para la gestión ambiental en regiones de alta biodiversidad.* Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Secretaría de la Convención de Ramsar (2010). *Manejo de cuencas hidrográficas: Integración de la conservación y del uso racional de los humedales en el manejo de las cuencas hidrográficas.* Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales, 4ª edición, vol. 9. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza).

Sepúlveda-Varas, Alejandra, Saavedra-Briones, Pablo, & Esse, Carlos. (2019). *Análisis de cambio de cobertura y uso de suelo en una subcuenca preandina chilena. Herramienta para la sustentabilidad productiva de un territorio.* Revista de geografía Norte Grande.

Soto, M., González, J., Castro, C., Maerker, M., y Rodolfi, G. (2011). *Relación entre el cambio de uso del suelo en la cuenca del Aconcagua y su litoral arenoso correlativo.* Chile centra. Revista ScieLO. ISSN 0718-3402.

Tapia, Lorena. (2015). *Cambios climáticos y uso de la tierra: una guía para la acción ciudadana.* Ministerio del Ambiente.

ANEXOS

Anexo 1.: Pasos para la descarga de imágenes satelitales en ESA CCI LC

- Para la descarga de los datos globales se procede a dirigir al visor de LC de ESA CCI que lo encontramos con el siguiente link: maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/index.php
- Estando en la página web podemos visualizar el mapa y de esta manera hacer zoom a nuestras áreas de interés, notar la leyenda respectiva y cambiar el año de nuestra conveniencia.
- Después de lo sugerido en la parte superior derecha le damos clic a "Download Data", lo que llevo a una nueva página donde llenaremos los datos personales en "Data Access" para poder continuar con la descarga.
- En la página que se redirecciona luego de hacer el paso anterior buscamos el apartado que dice Legend y descargaremos "Symbology for ArcGis (.lyr)" ya que ese es el software en el que ejecutaremos nuestro proyecto.
- En la misma página donde dice "LC maps full 1992-2015 serie" daremos clic en "by year: 24 tif files, 1 band - approx. 300Mo/tif" lo que llevo a una nueva página donde se descargó dando clic en la opción "ESACCI-LC-L4-LCCS-Map-300m-P1Y-1992-v2.0.7.tif" o del año que necesitemos para la comparación.
- Se recomienda crear una carpeta donde se guardó toda la información descargada.

Anexo 2: Pasos para la cuantificación multitemporal de los cambios en las coberturas vegetales

Para agregar la cobertura vegetal antes descargada se debe hacer clic en la opción "Add data" donde se debe añadir el ráster, seleccionarlo y esperar el procesamiento de los colores descargados en la página de ESA-CCI-LC dando clic derecho en el ráster – Properties – Symbology – Unique Values, y luego se debe añadir la leyenda para visualizar detalladamente el mapa.

Luego cortaremos el ráster con nuestra área de interés, primero añadimos los shapefiles de las cuencas dando clic en "Add data" y lo seleccionamos, después en la caja de herramienta damos clic en Data Management Tools – Raster – Raster Processing – Clip y seleccionamos el ráster y la cuenca que vamos a cortar de este modo se creó un nuevo layer que guardaremos en la carpeta que usaremos para todo el proyecto.

A continuación, para hacer un gráfico estadístico con los porcentajes que tiene cada cobertura de la tierra haremos clic derecho en el nuevo ráster y entramos a la tabla de atributos, observamos que hay creada una fila nombrada "count" la cual ayudó a realizar los siguientes puntos, en la sección izquiera y superior datos clic en table options – add fields, le pondremos de nombre "ÁREA" y en tipo pondremos "Double".

Antes de seguir con los siguientes pasos se dirigirá a las propiedades del ráster en el apartado "source" observaremos los valores de "Cell size (x, y)" y lo multiplicaremos ese resultado ayudo para lo siguiente.

Creada la nueva columna "ÁREA" en la tabla de atributos daremos clic derecho sobre ella e iremos a la opción "Field Calculator…" donde pondremos la siguiente ecuación:

"COUNT" * (multiplicación de x,y) / 10000

Luego daremos clic en OK, para el porcentaje de dichos valores crearemos una nueva columna en nuestra tabla de atributos la cual tendrá el nombre de "PORCENTAJES" en ella también se dirigió a la opción "Field Calculator…" donde se colocó lo siguiente:

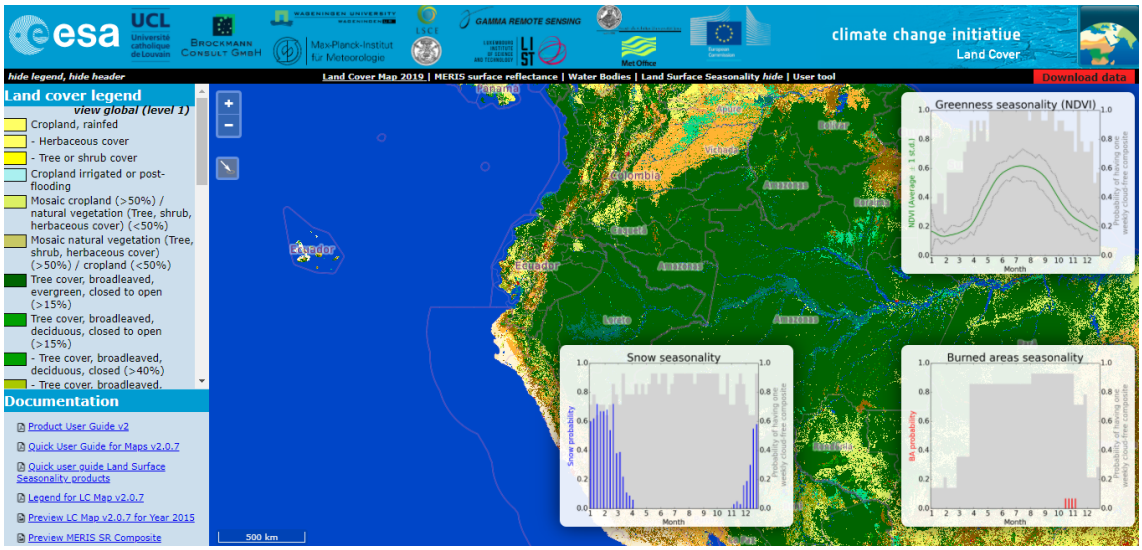
"ÁREA" * 100 / (sumatoria de áreas)

Teniendo los resultados de porcentaje podemos proceder a crear el gráfico, nuevamente en “Table Options” daremos clic en “Create Graph…”, escogeremos el tipo de gráfico que mejor parezca y en “Value field” seleccionamos “PORCENTAJE”, luego siguiente y finalizamos lo que generó el gráfico lo mismo haremos con todos los años que queremos evaluar.

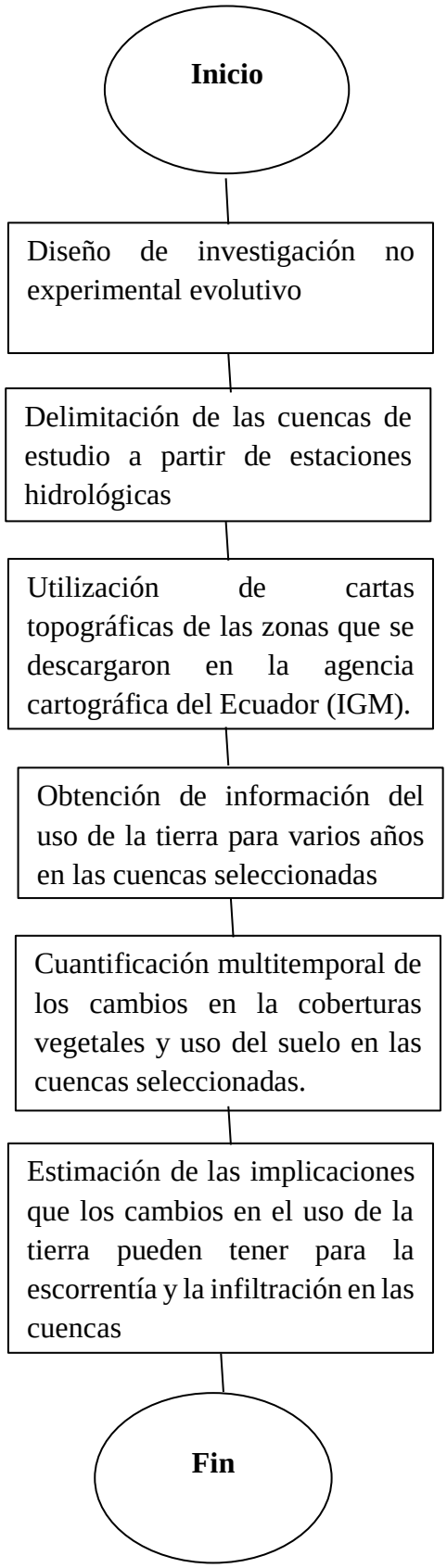
Anexo 3: Descarga y proceso de las imágenes

- Primero en la caja de herramientas se debe buscar las opciones de “Spatial Analyst Tools”.
- Clic en “Map Algebra” lo que abrir paso a “Ráster Calculator”.
- Seleccionar ambos ráster a dividir.
- Realizar una comparación matemática de los cambios que ha tenido entre esos años dividiendo entre una cobertura a otra lo cual permite hacer condiciones para los resultados de escorrentía e infiltración.
- Nuevamente en la caja de herramientas en el apartado de “Spatial Analyst Tools” clic en “Reclass” y luego en “Reclassify”, en la cual nos permitirá cambiar los valores anteriores con la nueva condición que calculamos escogiendo una para escorrentía y para infiltración de esta forma nos arrojará un nuevo mapa donde veremos claramente los resultados que ha habido al paso del tiempo.

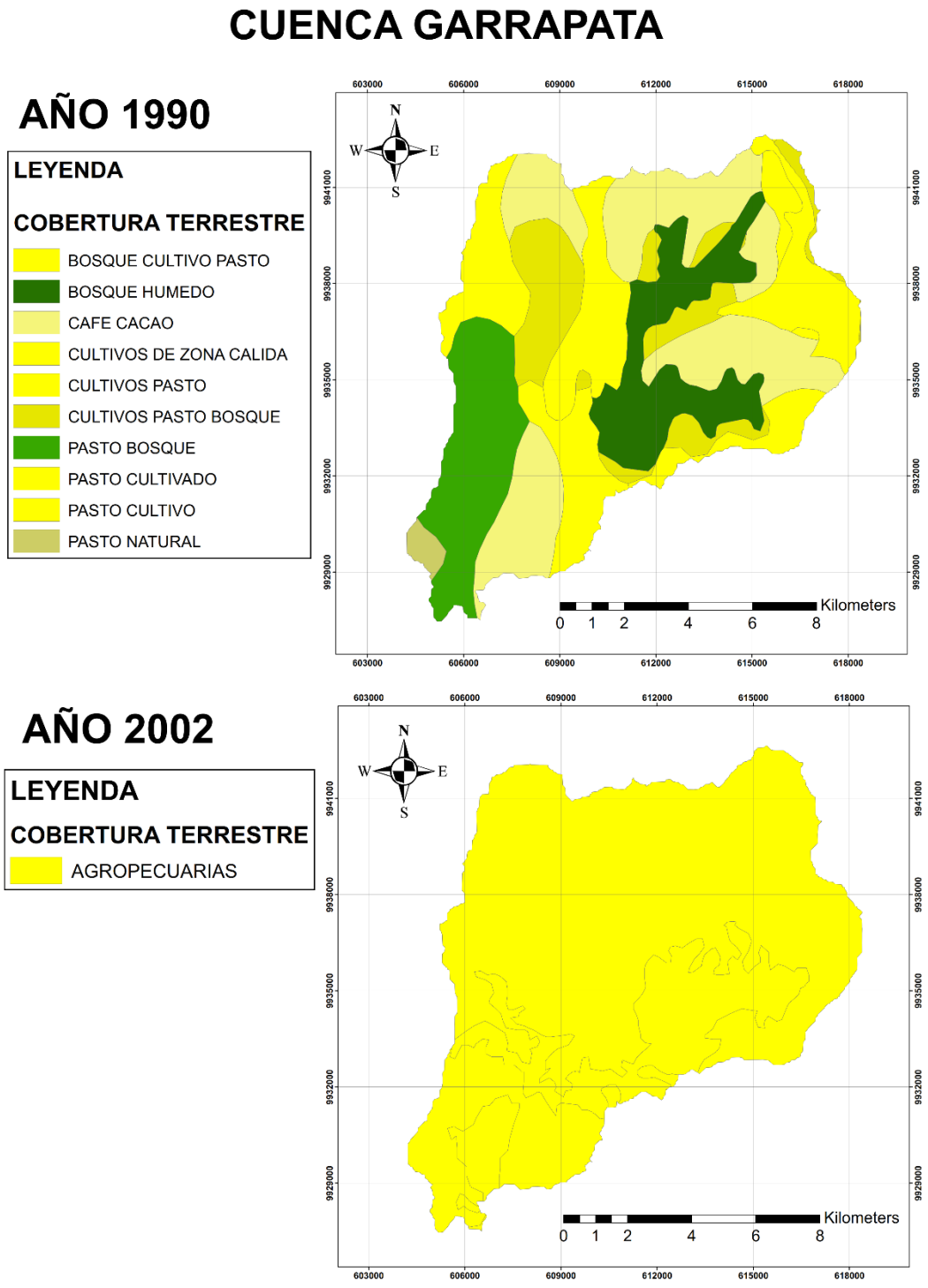
Anexo 4.: Página oficial de la Agencia Espacial Europea (ESA/CCI/LC)



Anexo 5.: Flujograma de la metodología

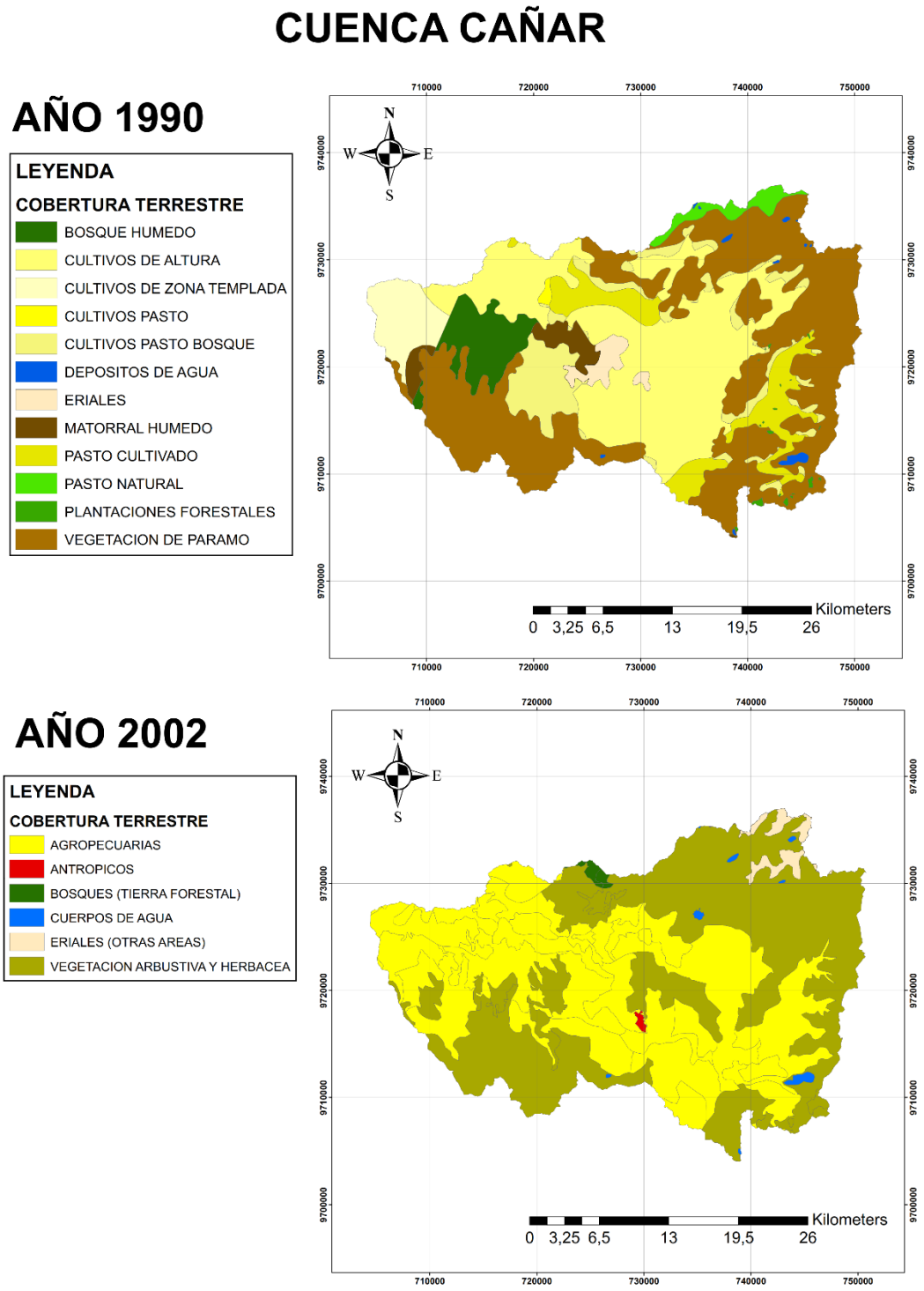


Anexo 6.: Mapa de cobertura y uso de suelos en la cuenca del río Garrapata (1990-2002)



Nota: Este mapa fue creado en base a la extracción de un archivo shapefile perteneciente al Ministerio de Agricultura y Ganadería en conjunto con el Ministerio de Agua y Ambiente sobre la cobertura y uso de suelo a nivel nacional en los años 1990 y 2002.

Anexo 7.: Mapa de cobertura y uso de suelos en la cuenca del río Cañar (1990-2002)



Nota: Este mapa fue creado en base a la extracción de un archivo shapefile perteneciente al Ministerio de Agricultura y Ganadería en conjunto con el Ministerio de Agua y Ambiente sobre la cobertura y uso de suelo a nivel nacional en los años 1990 y 2002.