Pontificia Universidad Católica del Ecuador | SEDE ESMERALDAS

CARRERA DE GESTIÓN AMBIENTAL

TESIS DE GRADO

CAMBIO DE LOS USOS DEL SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO ESMERALDAS

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL

AUTOR

JOSÉ MIGUEL VERA RÓMULO

ASESOR

PhD. JON MOLINERO ORTIZ

Esmeraldas – Junio 2019

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Trabajo de tesis aprobado luego de haber dado el cumplimiento a los requisitos exigidos por el reglamento de grado de la PUCE-SE previo a la obtención del título de INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL.

Presidente Tribunal de Graduación

Lector 1
Mgt. Felipe Carrera Villacrés

Lector 2
Mgt. Eduardo Rebolledo Monsalve

Mgt. Karla Solís Charcopa
Coordinadora de la Carrera de Gestión Ambiental

PhD. Jon Molinero Ortíz
Director de Tesis

Esmeraldas,……. de……. de 2019

AUTORÍA

Yo, José Miguel Vera Rómulo, declaro que la presente investigación enmarcada en el actual trabajo de tesis es absolutamente original, auténtica y personal.

En virtud que el contenido de esta investigación es de exclusiva responsabilidad legal y académica de la autora y de la PUCE-ESMERALDAS

_____

José Miguel Vera Rómulo
C.I.085024396-5

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todas aquellas personas que me han apoyado y colaborado de forma gentil para culminar esta etapa de mi vida.

Lo dedico especialmente a mis padres por todo el amor, cariño y confianza que me tienen, y por ser quienes me han impulsado a nunca rendirme.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas aquellas personas que me han apoyado a lo largo de mi carrera profesional, a mi familia por apoyarme incondicionalmente en todo cuanto pudiera estar a su alcance, especialmente a mis padres que siempre han estado allí cuando más lo necesité.

A mi asesor por las tutorías que encaminaron correctamente este estudio gracias a sus conocimientos impartidos a lo largo de este trayecto.

A mis amigos María Moreno, Susana Montero, Kenner Clevel, por todo el apoyo que me han brindado y a todos los que se involucraron en este estudio, con aportes y sugerencias. Especialmente por la grata colaboración que me han brindado.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AUTORÍA ..... **iii**
DEDICATORIA ..... **iv**
AGRADECIMIENTO ..... **v**
ABSTRACT ..... **xi**
INTRODUCCIÓN **12**
Presentación de la investigación 12
Planteamiento del problema. 14
Justificación del problema 16
Delimitación de objetivos. 17
Objetivo general. 17
Objetivos específicos. 17
CAPITULO I: MARCO TEÓRICO **18**
Bases teórico-científicas 18
Antecedentes. 20
Marco legal. 21
CAPITULO II: MATERIALES Y MÉTODOS **24**
Área de estudio. 24
Análisis hidrológico y delimitación de cuencas 26
Modelación hidrológica. 28
Análisis espacial. 31
Análisis estadístico. 31
CAPITULO III: RESULTADOS **32**
Cuencas del río Esmeraldas. 32
Usos del suelo 33
Elevaciones de la cuenca 33
Comparación de los usos del suelo en la cuenca y en el buffer. 36
Comparación de los usos del suelo en la cuenca según la elevación 44
Comparación de los usos del suelo en las zonas riparias según la elevación. 51
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN **58**
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES **61**
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES **62**
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS **63**
ANEXOS **69**

ABREVIATURAS

DEM: Modelo Digital del Terreno

SIG: Sistemas de Información Geográfico

NASA: National Aeronautics and Space Administration

MAE: Ministerio del Ambiente

MAGAP: Ministerio de Ganadería y Agricultura

SRTM: Shuttle Radar Topography Mission

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Delimitación de la cuenca del río Esmeraldas 25
Figura 2 Indicador de las zonas naturales de la cuenca del río Esmeralda 30
Figura 3 Mapa de los usos del suelo de la cuenca del río Esmeraldas 34
Figura 4 Mapa de elevaciones de la cuenca del río Esmeraldas. 35
Figura 5 Usos del suelo en la cuenca de orden 1. La abscisa de las x corresponde al % de área impactada 40
Figura 6 Usos del suelo en la cuenca de orden 2. La abscisa de las x corresponde al % de área impactada 41
Figura 7 Usos del suelo en la cuenca de orden 3. La abscisa de las x corresponde al % de área impactada 42
Figura 8 Usos del suelo en la cuenca de orden 4. La abscisa de las x corresponde al % de área impactada 43
Figura 9 Usos del suelo en la cuenca de orden 1 por elevación. La abscisa de las x corresponde al % de área impactada 48
Figura 10 Usos del suelo en la cuenca de orden 2 por elevación. La abscisa de las x corresponde al % de área impactada 49
Figura 11 Usos del suelo en la cuenca de orden 3 por elevación. La abscisa de las x corresponde al % de área impactada 50
Figura 12 Usos del suelo en el buffer de orden 1 por elevación. La abscisa de las x corresponde al % de área impactada. 55
Figura 13 Usos del suelo en el buffer de orden 2 por elevación. La abscisa de las x corresponde al % de área impactada. 56
Figura 14 Usos del suelo en el buffer de orden 3 por elevación. La abscisa de las x corresponde al % de área impactada. 57

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Sumario de los indicadores ambientales que se utilizarán en este estudio. 27
Tabla 2 Cuencas del río Esmeraldas estudiadas. 32
Tabla 3 ANOVAS de los usos del suelo respecto al buffer y la cuenca. 69
Tabla 4 ANOVAS de los usos del suelo en la cuenca respecto a la elevación. 70
Tabla 5 ANOVAS de los usos del suelo en la zona riparia respecto a la elevación. 71

RESUMEN

En este estudio se analizó la cuenca del río Esmeraldas de aproximadamente 22.000 Km^2, observando como los usos del suelo han deteriorado los recursos naturales de la cuenca, como lo es la vegetación potencial y la fuente hídrica de la zona estudiada. Para efecto de su realización, se utilizaron datos espaciales de la cuenca del río Esmeraldas obtenidos de la NASA (Shuttle Radar Topography Mission), el cual tenía información de las elevaciones, pendientes y áreas de la zona estudiada, una vez obtenido el modelo digital del terreno de la cuenca, se creó un indicador natural, este fue construido a partir de los datos propuestos por el Ministerio del Ambiente. El indicador natural fue analizado con las capas de cuencas y buffers obtenidos del DEM utilizando Quantum Gis y con la herramienta "r.stats" dando diferentes análisis de los usos del suelo respecto a las áreas de las cuencas y sus elevaciones. Los resultados obtenidos mostraron como cambia el bosque respecto al impacto que presentan tanto en la zona riparia como en la cuenca en general, también se dividió por región a los diferentes usos del suelo, teniendo a la costa, sierra y región andina en los análisis de la cuenca en general y de la zona riparia, se puede apreciar que indicadores como el bosque y el páramo están siendo fuertemente cambiados por cultivos o pastizales lo cual es una problemática significativa puesto que los recursos naturales de la cuenca se van perdiendo poco a poco. El presente trabajo comunica los cambios de los usos del suelo en la cuenca del Esmeraldas y observar el grado de alteración que esta cuenca ha sufrido.

Palabras claves: Zona riparia, cuencas, modelo digital del terreno, vegetación potencial.

ABSTRACT

In this study was analyzed the Esmeraldas river basin of approximately 22,000 km^2, it was intended to respond to how land uses have deteriorated the natural resources of the basin, such as the potential vegetation and water source of the area studied. For the purpose of its realization, spatial data from the Esmeraldas river basin obtained from NASA were used, which had information on the elevations and slopes of the studied area, once the digital model of the watershed terrain was obtained, it was created a natural indicator, and this was built from the data proposed by the Ministry of environment. The natural indicator was analyzed with the layers of basins and buffers obtained from the DEM using Quantum Gis and with the tool "r.stats" that offers different analyzes of the land uses with respect to the areas of the basins and their elevations. The results obtained showed how the forest changes with respect to the impact that they have both in the riparian zone and in the basin in general, it was also divided by region to the different uses of the land, having the coast, highlands and Andean region in the analysis of the basin in general and the riparian zone, it can be observed that the indicators such as the forest and the moorland are being strongly changed by crops or pastures, which is a significant problem since the natural resources of the basin have been lost little by little. The objective of this work is to study the changes in the use of land in the Esmeraldas basin and observe the degree of alteration it has suffered.

Keywords: riparian zone, watersheds, digital terrain model, potential vegetation.

INTRODUCCIÓN

Presentación de la investigación

No hay precedentes en la historia de la humanidad sobre la dimensión y la rapidez con la que las actividades antropogénicas han deteriorado la tierra. La mitad de ésta ha sido transformada por actividades de los humanos, como la deforestación, los usos agropecuarios y asentamientos rurales y urbanos, que han causado una pérdida de casi 11 millones de km^2 de bosque en los últimos tres siglos a nivel mundial.(1)

Los estudios ambientales que se centran en la cobertura y uso del suelo tratan de reconocer los impactos que los cambios en los usos del suelo puedan causar a nivel local y regional en los ecosistemas.(2) Estos impactos contribuyen considerablemente al cambio climático, modificando los ecosistemas, dejando de satisfacer las necesidades de los humanos y afectando la biodiversidad de los mismos. Se espera que los cambios en los usos del suelo sean los mayores responsables de la disminución de la biodiversidad en el año 2100.(1)

En América latina, la degradación del suelo se debe especialmente a la intensificación agrícola, al sobrepastoreo, a los incendios ocasionales y la deforestación. Cada año, cinco millones de hectáreas son deforestadas, de los cuales tres millones de hectáreas son de zonas tropicales y dos millones de hectáreas de otros bosques de zonas subhúmedas.(3) Las actividades agropecuarias han causado un 70 % de la deforestación de los bosques y se han expandido tanto porque que generan ingresos económicos suficientes para satisfacer las necesidades básicas de muchas de sus comunidades.(4) Ecuador es considerado un país con altísima biodiversidad a pesar de ser un territorio pequeño. Su región costera posee aproximadamente 2,18 millones de hectáreas de bosque natural en donde se desarrollan varias actividades agropecuarias, su región amazónica posee 7,81 millones de hectáreas amenazadas por la expansión agrícola y su región de la sierra tiene 2,82 millones de hectáreas de bosque natural y 1,26 millones de hectáreas de paramo que también se ven afectados por la ganadería y agricultura. (5)

En el bosque, las tasas altas de infiltración y una cobertura eficaz del suelo regulan la escorrentía superficial, por ende, un descenso de la cobertura vegetal significaría un incremento en la escorrentía superficial, con efectos negativos en los cuerpos hídricos. (6) Los recursos hídricos y sus procesos hidrológicos se ven afectados porque están vinculados con la escorrentía superficial en donde las actividades antropogénicas generan

varios compuestos químicos (pesticidas, herbicidas, insecticidas, fungicidas) además de desechos orgánicos e inorgánicos, que van a parar al cauce y que cambian la composición química del agua, alterando la biodiversidad de la misma. [7]

Las fuentes de contaminación en una cuenca hidrográfica pueden ser puntuales o difusas. Las fuentes puntuales son aquellas que son fáciles de localizar por tener una entidad fija que, por ejemplo, en una cuenca hidrográfica, puede ser una industria y continuamente está drenando químicos o aguas residuales a los afluentes de la cuenca. Por el contrario, una fuente difusa es generada por aportes de varios individuos y de sitios diferentes, que aportan de manera imperceptible pequeñas descargas cuyo acceso al afluente se da por filtración a través de los suelos, siendo la ganadería y la agricultura las fuentes más comunes. [8]

Las actividades agropecuarias causan daños en una cuenca hidrográfica por el pisoteo del ganado, provocando que el espacio poroso del suelo se compacte y disminuya su capacidad de infiltración, dificultando el flujo de agua y la toma de nutrientes de la vegetación.[9] En la agricultura, se utilizan varios compuestos químicos como fertilizantes, insecticidas, herbicidas, entre otros, que por escorrentía llegan al cuerpo hídrico, estos compuestos contienen fosfatos, sulfatos, nitritos o nitratos, los cuales generan una proliferación exacerbada de algas, disminuyendo la cantidad de oxígeno disuelto en el agua e impidiendo que la luz penetre en el cuerpo de agua y generando pérdidas de biodiversidad.[10]

Por lo tanto, es importante mantener en buen estado las zonas de ribera por su alta biodiversidad y por su papel ecológico como zonas "buffer" o filtros que sirven para minimizar las repercusiones de las actividades humanas en los cauces fluviales. [7] La vegetación de ribera es un componente esencial para mantener la integridad ecológica de los cuerpos hídricos, pues se encarga de proveer de alimentación a microorganismos y a invertebrados que habitan en los cauces fluviales, evita la erosión del suelo, suministra elementos como troncos o ramas que favorecen la detención de sedimentos, regula el clima del río, y asegura la estabilidad de las orillas. [11] La escasez de la vegetación de ribera provoca que haya mayores sedimentos en suspensión, mayor turbidez en el caudal, y una degradación de la calidad de agua en los cauces. [7]

La cuenca del río Esmeraldas comprende cinco provincias: Manabí, Esmeraldas, Santo Domingo, Pichincha e Imbabura. La provincia de Esmeraldas tiene 1,6 millones de ha y

se observa un fuerte impacto en sus recursos naturales debido a que las actividades agropecuarias ocupan el 44,8% del suelo, casi la mitad de su territorio. [12] Las actividades agrícolas ocupan casi 520.000 ha y muchas se encuentran cerca de los cuerpos de agua alterando la integridad ecológica de los diferentes ecosistemas acuáticos y terrestres de la zona. [13] En la provincia de Pichincha, las actividades agrícolas también se encuentran próximas a los cuerpos de agua y estas ocupan casi la tercera parte de su territorio, cubriendo aproximadamente 270.000 hectáreas. [14] Cerca de los afluentes de la provincia de Imbabura, la agricultura se realiza de manera artesanal y tiene aproximadamente 18.000 hectáreas dedicadas al uso agrícola.[15] La provincia de Santo Domingo presenta precipitaciones de gran intensidad, formando así uno de los sistemas hidrográficos en la cuenca del rio Esmeraldas y la subcuenca del Río Blanco, y en esta provincia la agricultura es una de las actividades que más resalta, debido a que se le dedican 90.000 hectáreas destinadas a la agricultura. [16] Manabí posee el Río Cojimíes ubicado al noreste de la provincia, dividiendo a la provincia de Esmeraldas, es una de las provincias con mayor labor agrícola por poseer aproximadamente 1,2 millones de hectáreas dedicadas a esta actividad.[17] La provincia de Pichincha es la que más habitantes tiene en comparación a las cinco descritas anteriormente ya que tiene más de 2,5 millones de habitantes, según censos del 2010, [18] formándose el Río Guayllabamba, en el distrito metropolitano de Quito, el cual concentra 27.000 hectáreas para las actividades agrícolas.[14]

En el presente trabajo se estudió como cambian los usos del suelo en la cuenca del río Esmeraldas, analizando la cobertura vegetal como indicador natural, siendo la pérdida de éste como la base que mostraría cuan intervenida está la cuenca de acuerdo a cada uno de sus órdenes.

Planteamiento del problema.

Los importantes recursos forestales de Ecuador se están agotando rápidamente y la elevada tasa de deforestación es preocupante, siendo una de las mayores en América latina, tomando en cuenta el tamaño que ocupa el país en comparación a otros países del entorno.[19] Ecuador tiene una tasa de deforestación de 70.000 ha/año, Perú de 150.000

ha/año, México de 600.000 ha/año, Colombia de 140.000 ha/año y Brasil de más de 500.000 ha/año. [20]

La costa ecuatoriana ha sido talada en un 95% para actividades agropecuarias, y sus cauces y cuencas hidrográficas se están degradando, debido a las malas prácticas.[19] Esmeraldas posee amplias zonas forestadas que desde hace mucho tiempo han constituido una de las principales reservas de madera del país. Sin embargo, las actividades agropecuarias, la urbanización en zonas cercanas a los cuerpos hídricos y las industrias están acabando con la vegetación rápidamente. [21] Aproximadamente 12.000 hectáreas de bosque se están talando cada año, por la tala ilegal, las actividades agropecuarias y las empresas madereras. [20] El río Blanco, que se forma en el volcán de Pichincha, y termina en la provincia de Esmeraldas presenta estrés hídrico debido a las plantaciones forestales, los cultivos y las superficies edificadas. [22] En la provincia de Pichincha, 69.000 ha son deforestadas, en la provincia de Santo Domingo 31.000 ha y en Manabí, 230.000 ha cada año. [23] Por su parte, en el Valle del Chota, ubicado en la provincia de Imbabura, existe una baja fertilidad en el suelo por el excesivo uso de químicos en sus actividades agrícolas,[24] y en la provincia se deforestan anualmente 37.200 hectáreas. [23]

Los impactos que se observan al deforestar zonas riparias tienen lugar en la zona del cauce, ya que se produce ausencia de sombra y de hojas que caen al agua, de manera que los organismos acuáticos se ven afectados por el aumento de temperatura y la falta de nutrientes, además sus orillas se ven más erosionadas y la sedimentación aumenta aumentando la turbidez del cuerpo hídrico. [25]

Por estas razones nace la interrogante de cómo han afectado los cambios del uso a la cuenca del río Esmeraldas. Dentro de la cual se forman 3 preguntas más:

- ¿Cuál es el nivel de alteración que ha sufrido la vegetación de la cuenca del río Esmeraldas?
- ¿Cómo han afectado estos cambios a las zonas de ribera?
- ¿Cuál es el daño potencial que han sufrido los cauces fluviales y otros cuerpos de agua?

Justificación del problema

Es necesario entender cuáles son las consecuencias de los cambios de uso de suelo por los grandes impactos que estos producen. A gran escala, la fragmentación y destrucción de la vegetación a largo plazo generan problemas en los procesos hidrológicos, porque existiría una mayor sedimentación, y en la integridad del suelo, porque habría mayor erosión y una menor regulación de escorrentía. [26]

Se sabe que la vegetación de ribera interviene en la dinámica fluvial de los ríos, funciona como filtro verde de la contaminación difusa y la falta de ésta favorece el aporte de nitratos lo que provoca eutrofización en los ríos. [27] Los ríos son una fuente vital para todos los organismos vivos, aun así, la degradación de estos es cada vez mayor y su ausencia cada vez más preocupante. Por eso surge la necesidad de estudiar los cambios de los usos del suelo en la cuenca de Esmeraldas debido a que su vegetación ha disminuido considerablemente en el transcurso del tiempo por las actividades productivas de agricultura y extracción forestal,[13] constituyendo uno de los principales problemas de la provincia. Los mapas de los usos del suelo generados a través de los sistemas de información geográfica y los modelos digitales de elevación podrían servir como línea base para planes de manejo ambiental de la cuenca del río Esmeraldas.

Delimitación de objetivos.

Objetivo general.

Estudiar los cambios de los usos del suelo con parámetros biofísicos mediante los sistemas de información geográfica para determinar su grado de alteración.

Objetivos específicos.

- Analizar cómo cambian los usos del suelo de las subcuencas del río Esmeraldas en función de su tamaño.
- Analizar cómo cambian los usos del suelo en las zonas riparias de las subcuencas definidas.
- Utilizar un indicador de cambio de uso del suelo como sustituto de la variable tiempo para analizar los cambios temporales en los usos del suelo de las cuencas.

CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

Bases teórico-científicas

Los sistemas de información geográfica (SIG) han aportado notablemente a los estudios del medio físico, porque permite estudiar los elementos ambientales y sus interacciones, generando información en forma de mapas para analizarlos. [28] Aplicar las bondades de los SIG en Ecuador podría fortalecer las estrategias de conservación y de manejo de cuencas hidrográficas y el suelo. También optimizaría los recursos, salvaguardándolos para las futuras generaciones. [29] Además, también se podría llevar un mejor manejo de las zonas de ribera.

Teledetección.

Es una técnica para obtener información acerca de un objeto o un área a través de imágenes que se consiguen con un equipo que no está en contacto directo con el área u objeto que se está analizando. La información se obtiene de ondas electromagnéticas que emite el objeto y su cantidad y tipo de onda dependerá de su temperatura, aunque el equipo o sensor puede también emitir radiación contra el objeto siempre y cuando se incorpore dentro de su sistema funcional un emisor de radiación. [30]

Sistema de información geográfico. (SIG)

Los SIG son un conjunto de herramientas que pueden almacenar, analizar y recuperar fichas espaciales del mundo real, y permiten generar mapas, modificarlos, y leerlos para comprender de manera integrada los elementos que interactúan en una zona determinada. El objetivo de estas herramientas radica en poder manejar grandes cantidades de información organizadamente. [31]

Modelos digitales del terreno en hidrología.

Los modelos digitales del terreno se han definido como una agrupación de datos numéricos que describe las características de un territorio a través de su distribución espacial, por su naturaleza digital permiten realizar fácilmente procesos de simulación

dinámica. [32] Estos modelos contienen información para definir las propiedades de la red de drenaje de una cuenca hidrológica, para ello se utiliza el trazado de línea de flujo la cual desde un punto inicial seguiría la trayectoria de la escorrentía superficial sobre el terreno. [33]

Zonas ribereñas.

Las zonas de riberas son ecosistemas que dependen en gran medida de los cuerpos de agua inmersos en la cuenca hidrográfica, en términos ecológicos proveen de varios bienes y servicios que son aprovechados por los humanos y por la biota de la zona. De manera general estos ecosistemas mejoran la calidad del agua, regulan la luz y temperatura, y procesan mayores cantidades de materia orgánica, son dinámicos porque existen múltiples interacciones entre los ecosistemas terrestres y dulceacuícolas, y son complejos porque dentro de estos ecosistemas ocurren varios procesos (ciclo hidrológico, flujo de energía, ciclo de nutrientes) que mantienen su funcionamiento. [34]

Vegetación de ribera y vegetación potencial.

La vegetación de ribera es un componente esencial de una cuenca hidrográfica porque posee múltiples funciones vitales para el funcionamiento de los ecosistemas fluviales, como regular los flujos de materia tanto en la parte terrestre como en la acuática, ser una fuente de alimentación para varias especies, evitar que lleguen contaminantes por escorrentía debido a su capacidad de retención de agua, impidiendo que los cuerpos de agua se contaminen.[11]

La vegetación potencial es el conjunto de comunidades vegetales que crecen en una zona determinada a lo largo del tiempo sin intervención humana. Sin embargo, los conceptos de vegetación potencial presentan problemas metodológicos por los muestreos subjetivos de vegetación actual, además de que se infravaloran los efectos las actividades antrópicas.[35]

Sustitución espacio por tiempo.

La sustitución espacio por tiempo se utiliza en la modelización de la biodiversidad para deducir trayectorias futuras o pasadas de los ecosistemas con patrones espaciales de la época actual.[36] El enfoque espacio por tiempo estudia al tiempo al comparar hábitats de diferentes épocas en un corto periodo, puede utilizarse para examinar rápidamente cualquier reacción a los cambios ambientales en dichos periodos.[37]

Antecedentes.

Entre los estudios de los cambios de usos del suelo, está uno realizado en Chile por Aguayo [1] específicamente en las zonas de transición o ecotonos ubicados en el centro sur del país, en donde su área de trabajo estaba fuertemente influenciada por plantaciones forestales exóticas de rápido crecimiento, actividades agropecuarias e industriales cercanas a los ríos de la zona. Comparó imágenes de la cobertura del suelo de los años 1979 y 2000 utilizando el método de clasificación supervisada que consiste en seleccionar áreas representativas de la cubertura del suelo para obtener su valor espectral. Finalmente, se determinó que a lo largo del tiempo las actividades agrícolas han aumentado 8 veces más de lo que lo que había en 1979, debido a que el área urbana creció el doble y se dedicaban a este tipo de actividades.

Al sur de Bogotá, se realizó un estudio de los cambios de usos del suelo asociados a la expansión urbana. Hernandez & Rojas [38] determinaron que el sector analizado, conocido como el corregimiento de Pasquilla, tenía un importante recurso hídrico representado por un par de embalses y un par de lagunas y además era un lugar influenciado por las actividades agrícolas. En este estudio se tomaron datos de un periodo de 15 años, el análisis multitemporal se realizó a partir de tres momentos entre 1995 y 2009, donde se observó que el sector agrícola iba presentando una expansión cada vez mayor hacia el páramo, transformando las zonas de amortiguación y fragmentando la vegetación de la zona.

Bonfilio et al.[39] realizaron un análisis de cambios en los usos del suelo en el Estado de México en el periodo 1993-2002 y conjeturaron que la principal utilidad de los recursos forestales que existen allá no radica en la producción de materia prima y bienes económicos, sino en los importantes servicios ecosistémicos que estos ofrecen para el funcionamiento natural de la zona. Para esto se obtuvieron mapas digitales del uso de

suelo y la vegetación y se utilizaron varios modelos de regresión lineal que señalaban que los factores demográficos influían en la pérdida de vegetación, siendo estos los que más inciden y así mismo zonas con una alta fragilidad ecológica son las que más susceptibles a ser deforestadas.

Los recursos hídricos también se ven afectados en cierta medida por los cambios de los usos del suelo y así lo demuestran varios estudios. Candela et al.[40] realizó un artículo sobre los efectos que causan los cambios de usos del suelo en los recursos hídricos de la cuenca del río Tordera en Barcelona, España. Se dividió la cuenca en 9 subcuencas, las cuales presentaban similitud en la cobertura vegetal, uso y tipo de suelo. Se utilizó una de las herramientas de los SIG y a través de un de modelo digital de elevación se elaboraron los cauces principales, la subdivisión de la cuenca y las pendientes. Por último, se analizaron los diferentes usos del suelo determinando que no hay un impacto apreciable en los recursos hídricos.

En Ecuador, Valencia et al.[22] estudiaron las consecuencias de los usos del suelo en la oferta hídrica del río Blanco. Se trabajó en el periodo de 1975-2013 y la información de la cobertura del suelo fue obtenida del Instituto Geográfico Militar del Ecuador (IGM). Posteriormente se evaluaron las implicaciones hidrológicas y se estimaron los coeficientes de escorrentía. Los resultados demuestran que a lo largo del tiempo los usos del suelo han aumentado notablemente. Sin embargo, a pesar de los diferentes usos del suelo que se evidencian en la zona, los recursos hídricos apenas han disminuido el 2% del volumen total del agua que se mostraba en 1975 El estudio afirma que aun así el cambio de los usos del suelo incide en la reducción de esta oferta, porque al alterar la vegetación se produce una reducción del caudal y por ende una deficiencia en términos de cantidad de los recursos hídricos.

Marco legal.

Ley orgánica de ordenamiento territorial, uso y gestión de suelo.

Título III: Planeamiento del uso y gestión del suelo.

Capitulo II: Planeamiento.

En este apartado el artículo 27 detalla que los Gobiernos Autónomos Descentralizados municipales y metropolitanos deberán tener un plan de uso y gestión de suelo constituido

a largo plazo respondiendo a los objetivos de desarrollo que tengan establecidos, asegurando un desarrollo sostenible y sustentable.

Título IV: Gestión del suelo.

Capítulo I: Conceptos generales.

El artículo 44 menciona que la gestión y uso del suelo es la acción de administrarlo de acuerdo a los planes de gestión, con el fin de aprovechar las potencialidades del suelo de manera sostenible y sustentable, conforme al principio de distribución equitativa.

El artículo 67 de este mismo título, declara que las afectaciones son limitaciones para los usos de suelo, urbanización, parcelación y construcciones. Se podrán determinar afectaciones mediante el plan de uso y gestión de suelo que lo desarrollen.

Ley forestal y de conservación de áreas naturales y vida silvestre.

Título I: De los recursos forestales.

Capitulo II: Atribuciones y funciones del ministerio de ambiente.

El artículo 5 dice que el Ministerio del Ambiente deberá:

Organizar y delimitar las áreas naturales y forestales, de la misma manera en la que debe conservar y llevar un aprovechamiento justo y racional de los mismos. Además de que deberán promover investigaciones acerca de los recursos forestales, con el propósito de darle el mejor uso.

El artículo 6 detalla que se consideran bosques protectores a aquellos que estén situados en áreas que permitan mitigar fenómenos pluviales o aquellos que regulen las condiciones de las cuencas hidrográficas, en especial donde hay escasas precipitaciones.

Capitulo IX: De las industrias forestales.

El artículo 64 determina que las industrias o establecimientos que produzcan materia prima a través de los recursos forestales, solo podrán llevarlo a cabo si se les adjudica la autorización. El Ministerio del Ambiente podrá exigirles registros de las actividades que ellos realicen, para llevar un control de los recursos forestales.

Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua.

Título II: De los recursos hídricos.

Capítulo I: Definición, infraestructura, y clasificación de los recursos hídricos.

El artículo 12 declara los Gobiernos Autónomos Descentralizados, pueblos, comunas y los propietarios de predios donde se encuentren recursos hídricos, deberán realizar un manejo sustentable e integrado de dichos recursos, velando siempre por su conservación y buen uso.

En el artículo 35 mencionan una serie de principios para el manejo y gestión de los recursos hídricos. Estos principios establecen que la cuenca hidrográfica será la unidad base para la planificación y uso de los recursos hídricos y debe ser integrada en los planes de ordenamiento territorial.

Título III: Derechos, Garantías y obligaciones.

Capitulo III: Derechos de la naturaleza

En este apartado el artículo 64, dice que la conservación del agua es un derecho de la Pacha Mama, deben protegerse sus zonas de captación, regulación y carga, también sus cauces naturales de agua principalmente humedales, nevados y manglares. Tiene derecho a que sus cuencas hidrográficas sean protegidas de todo tipo de contaminación.

CAPITULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio.

La cuenca del río Esmeraldas tiene 21.669 $km^{2,}$ y se ubica al norte del Ecuador comprendiendo las provincias de Esmeraldas, Imbabura, Santo Domingo, Pichincha y Cotopaxi. [41] La cuenca de Esmeraldas tiene dos tipos de climas, uno tropical monzón con 21°C de temperatura y otro tropical húmedo con 25°C en sus cuencas. Se caracteriza por tener un elevado nivel de humedad, teniendo una pluviosidad anual que fluctúa entre 500 mm – 700 mm en épocas secas y en épocas húmedas oscila entre 2000 mm – 7000 mm. También tiene distintos tipos de suelo, los mismos que pueden definirse en 4 grupos: suelos aluviales, suelos con caolinita, suelos sobre proyecciones volcánicas y suelos con montmorillonita.[13]

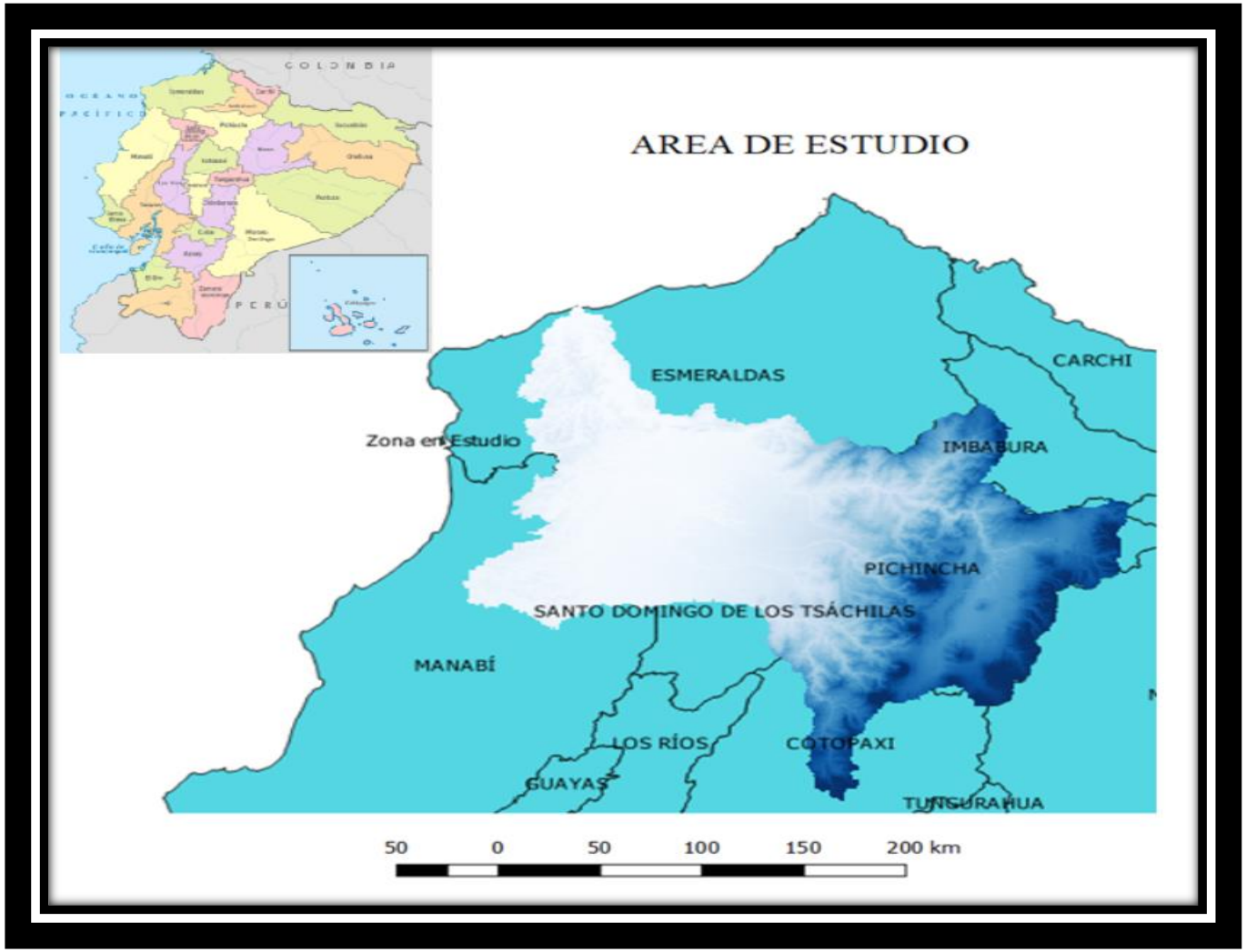


Figura 1 Delimitación de la cuenca del río Esmeraldas

Análisis hidrológico y delimitación de cuencas

Se utilizó un modelo digital de elevación del terreno, ya que a partir de este se puede caracterizar y delimitar la superficie de una cuenca hidrográfica,[41] el cual se obtuvo de la NASA de la plataforma Shuttle Radar Topography Mission.

Pendiente media.

El modelo digital de elevación sirvió para calcular la pendiente media de la cuenca, utilizando el comando "r.slope" del software Qgis, la cual estuvo dada en porcentajes.[42] La pendiente media se define como el ángulo entre la vertical de un punto y su vector normal de la superficie del mismo punto, para su estimación se pueden utilizar diferentes métodos, uno de ellos es el de la pendiente media de las celdillas centrales, con relación a los valores de los puntos cercanos de cada uno.[43]

Área de la cuenca.

Es la superficie interior de la cuenca que se limita por la divisoria de aguas y se pudo medir a través del software Qgis, empleando el comando "r.stats"[44]

Orden.

El orden se refiere al grado de ramificación del río principal. La clasificación de las subcuencas se realizó dependiendo del porcentaje de cobertura vegetal riparia a 100m de su orden.

Coberturas del suelo.

La cobertura del suelo en Esmeraldas está representada por 6 categorías principales: bosques, cuerpos de agua, tierra agropecuaria, zona antrópica, vegetación arbustiva y herbácea. [12]

Usos del suelo.

El Ministerio del Ambiente[19] categoriza dentro de los bosques a los nativos y a las plantaciones forestales, en los cuerpos de agua coloca a los naturales y artificiales, en las tierras agropecuarias a pastizales, cultivos permanentes y semipermanentes, dentro de la vegetación arbustiva y herbácea se encuentra el páramo, dentro de la zona antrópica consideran el área poblada y por último en otros colocan glaciares y áreas sin cobertura vegetal. Todas estas categorías pertenecen a un segundo nivel, las cuales fueron categorizadas de esta forma por el MAE y el MAGAP.

Tabla 1Sumario de los indicadores ambientales que se utilizarán en este estudio.

Escala	Nombre	Abreviatura	Descripción	Fuentes
Indicadores descriptores.	Área de la cuenca.	AREA	Determinación del área de estudio.	SRMT V3 de la NASA. [45]
	Elevación media de la cuenca.	ELEVA	Determinación de la elevación media de la cuenca	
	Pendiente media de la cuenca.	PEND	Determinación de la pendiente media de la cuenta.	
	Orden.		Clasificación de la cuenca de acuerdo a su orden.	
Indicadores riparios	Bosque nativo	BBOSQ	Porcentaje de bosque nativo en la zona riparia.	Mapa de usos del suelo del Ecuador. [46]
	Tierras agropecuarias	BCULT	Porcentaje de bosque nativo en la zona riparia.	
	Vegetación arbustiva.	BARHE	Porcentaje de vegetación arbustiva y herbáceaen la zona riparia.	
	Paramo.	BPARA	Porcentaje de paramo en la	
	Cuerpos de agua.	BAGUA	Porcentaje de agua en las zonas riparias	
	Zonas urbanizadas.	BARUR	Porcentaje de asentamientos humanos en la zona riparia	
	Otros.	BOTROS	Porcentaje de glaciares o ausencia de cobertura vegetal en la zona riparia.	
Indicadores de la cuenca.	Bosque nativo	BOSQ	Porcentaje de bosque nativo en la cuenca	Mapa de usos del suelo del Ecuador. [46]
		CULT		

Tierras agropecuarias	ARHE	Porcentaje de bosque nativo en la cuenca
Vegetación arbustiva.	PARA	Porcentaje de vegetación arbustiva y herbácea en la cuenca
Paramo.	AGUA	Porcentaje de paramo en la cuenca
Cuerpos de agua.		Porcentaje de agua en la cuenca.
Zonas urbanizadas.	ARUR	Porcentaje de asentamientos humanos en la cuenca
Otros.	OTROS	Porcentaje de glaciares o ausencia de cobertura vegetal en la cuenca.

GRASS GIS

Grass GIS 7.4.0 fue el programa utilizado para la construcción de la modelación hidrológica de la cuenca de Esmeraldas, es un programa que soporta información ráster y vectorial.

Modelación hidrológica.

Se utilizó el DEM (modelo digital del terreno) de Esmeraldas proporcionado por la NASA, luego se cargó en el programa y se utilizó el comando "r.fill.dir" para obtener el "Flow direction". A partir del "Flow direction" se crearon las cuencas del río Esmeraldas, se obtuvieron los ríos de la cuenca, y a estos se los denominó "Stream raster", para efecto de esto se utilizó el comando "r.stream.extract". Luego utilizando el Flow direction y el Stream raster se calcularon los órdenes de los ríos, el comando utilizado para esto fue "r.stream.order", se utilizó la calculadora raster del programa para poder dividir el orden de cada río de la cuenca, formando los "outlets".

Una vez que se crearon los “outlets” se procedió a utilizar el comando “r.stream.basins” para calcular la cuenca hidrográfica de cada río clasificado por su orden. Para tener todos los órdenes en el mismo código se utilizó la calculadora raster en cada una de las redes de drenaje. A través de los causes se crearon los “Buffers” para ello se utilizó el comando “r.buffer” y se empleó una distancia de 150 metros.

Indicador de la cuenca en QGIS

Para la obtención del indicador natural se empleó los archivos ráster de los usos del suelo obtenidos del Ministerio del Ambiente, se utilizó la calculadora ráster para separar bosques, herbazales, cuerpos de agua, glaciares y páramo, y luego sumarlas con la misma calculadora para obtener un mapa del indicador natural. La figura 2 muestra las zonas naturales y los diferentes usos del suelo que pueden modificar la cuenca.

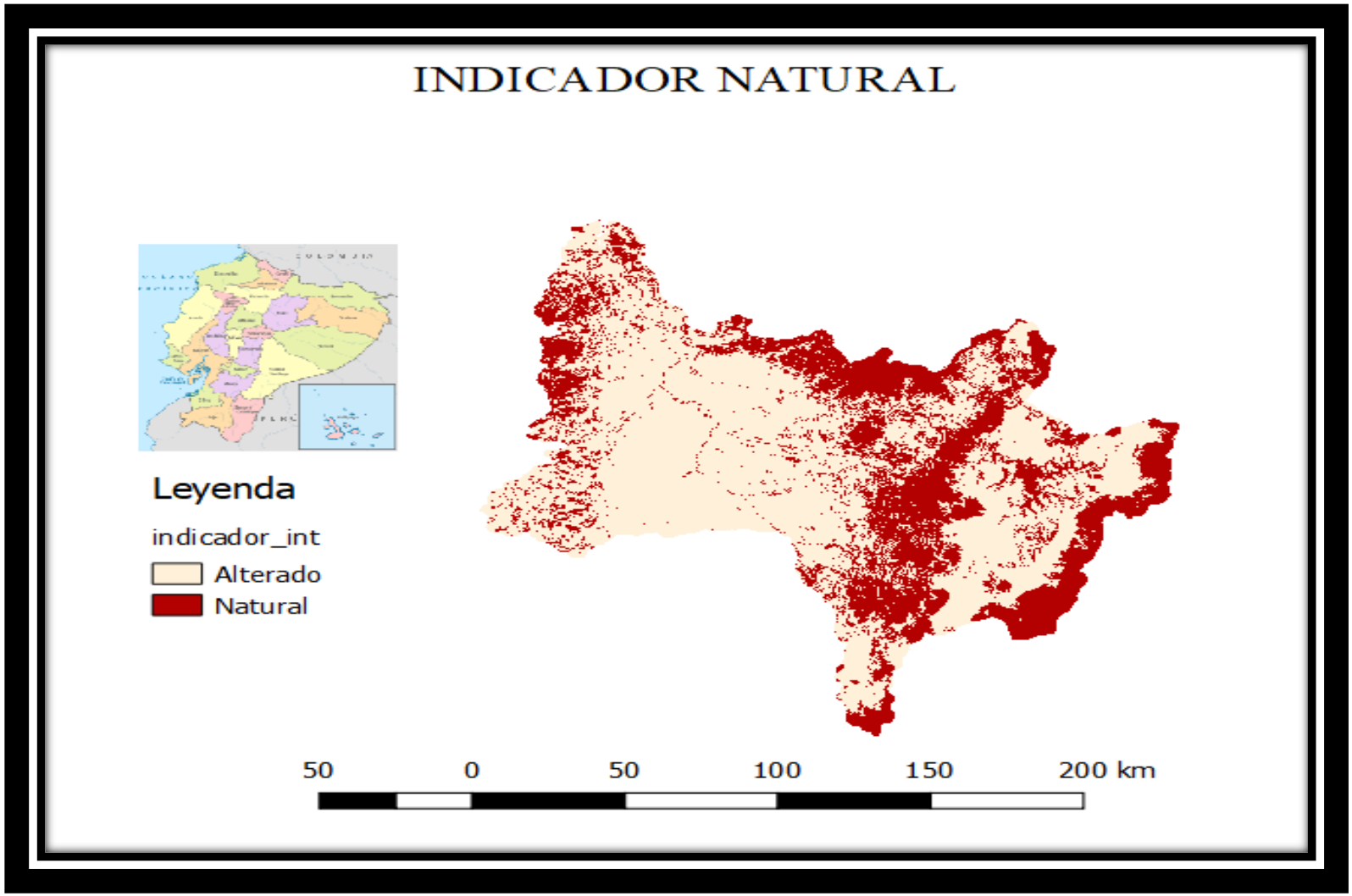


Figura 2 Indicador de las zonas naturales de la cuenca del río Esmeralda

Análisis espacial.

Se utilizó Quantum GIS (QGIS) para el cálculo de descriptores de las cuencas e indicadores de los cambios de uso del suelo en la cuenca y el porcentaje de vegetación en la zona riparia. Para comparar cuantitativamente los cambios en la cobertura del suelo, se reagruparán en celdas de 30 x 30 m, en el caso de que presenten distintas resoluciones (Tabla 1).

Para los análisis espaciales primero se utilizaron los rásters de las cuencas uno hasta las cuencas ocho, para calcular sus áreas se utilizó el comando "r.stats". Posteriormente se utilizó el mapa de usos de suelo del Ministerio del Ambiente (2014) y con los rásters de las cuencas y los buffers igualmente se utilizó el comando "r.stats" para tener la información respecto a que usos hay en cada cuenca. Luego se empleó el indicador natural, y así mismo junto a los rásters de las cuencas y buffers, se procedió a emplear el comando "r.stats" el cual creó un archivo txt que contenía información sobre las cuencas y el área alterada o natural de cada una. Finalmente, se calculó la elevación y la pendiente media con el comando "Slope, aspect, curvature" con ayuda de los rasters de las cuencas, con el que se hizo las comparaciones de los diferentes las cuencas dependiendo de su zona costa, sierra o andina.

Análisis estadístico.

Para el análisis estadístico se empleó el programa "R Statistics i386 3.5.1", cargando todos los archivos txt. creados y ordenados en file's de acuerdo a cada uno de sus órdenes, para posteriormente crear los scripts con información respecto a las áreas, las zonas y los impactos de cada orden. Estos nos proporcionaron las figuras, hechas en boxplot's con las que iniciamos las ANOVAS de los diferentes usos del suelo, respecto a los factores, orden, zona e impacto, para de esa manera obtener las comparaciones entre esos factores, y también se empleó el test de Tukey HSD para observar las diferencias significativas que se puedan encontrar en las diferentes comparaciones realizadas.

CAPITULO III: RESULTADOS

Cuencas del río Esmeraldas.

En total se presentaron 14287 cuencas en el área de estudio, de las cuáles se trabajó con aquellas que tenían áreas mayores a 1 km^2, obteniendo así las siguientes cuencas a estudiar.

Tabla 2 Cuencas del río Esmeraldas estudiadas.

Cuencas – orden	Número de cuencas
1	4957
2	1339
3	312
4	74
5	20
6	5
7	2
8	1

Usos del suelo

En el mapa de la figura 3 se pueden observar los diferentes usos del suelo, se muestra que la cuenca del río Esmeraldas tiene mayoritariamente usos agrícolas y pastizales, por lo que estos representan gran parte del terreno estudiado.

Elevaciones de la cuenca

En la figura 4 se observan las diferentes regiones de acuerdo a sus alturas, en donde se consideró a la región costa a las zonas con elevaciones menores a 1300 metros, a la región sierra con 1300 metros e iguales a 3000 metros de atura, y se consideró a la región andina con alturas mayores a 3000 metros.

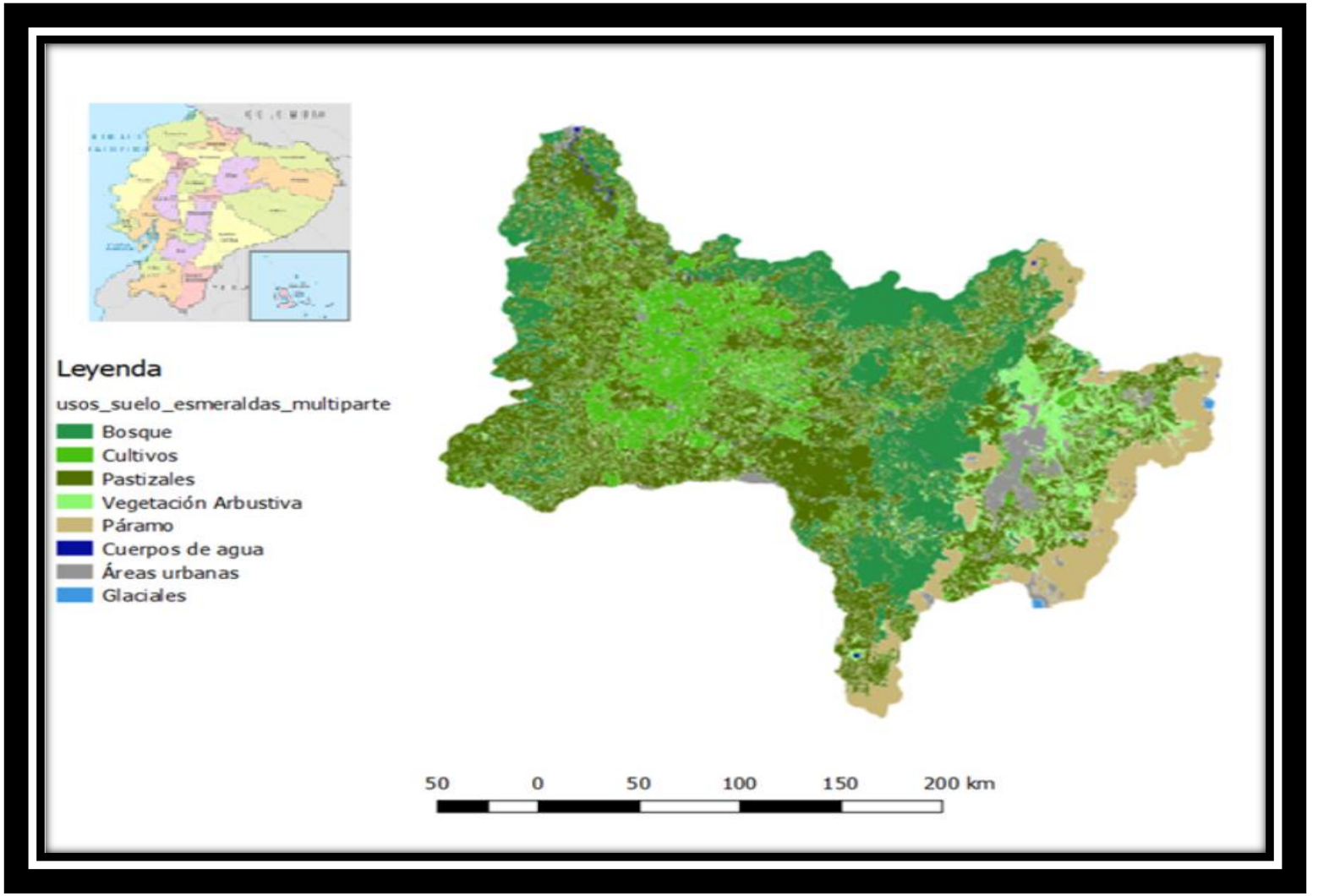


Figura 3 Mapa de los usos del suelo de la cuenca del río Esmeraldas

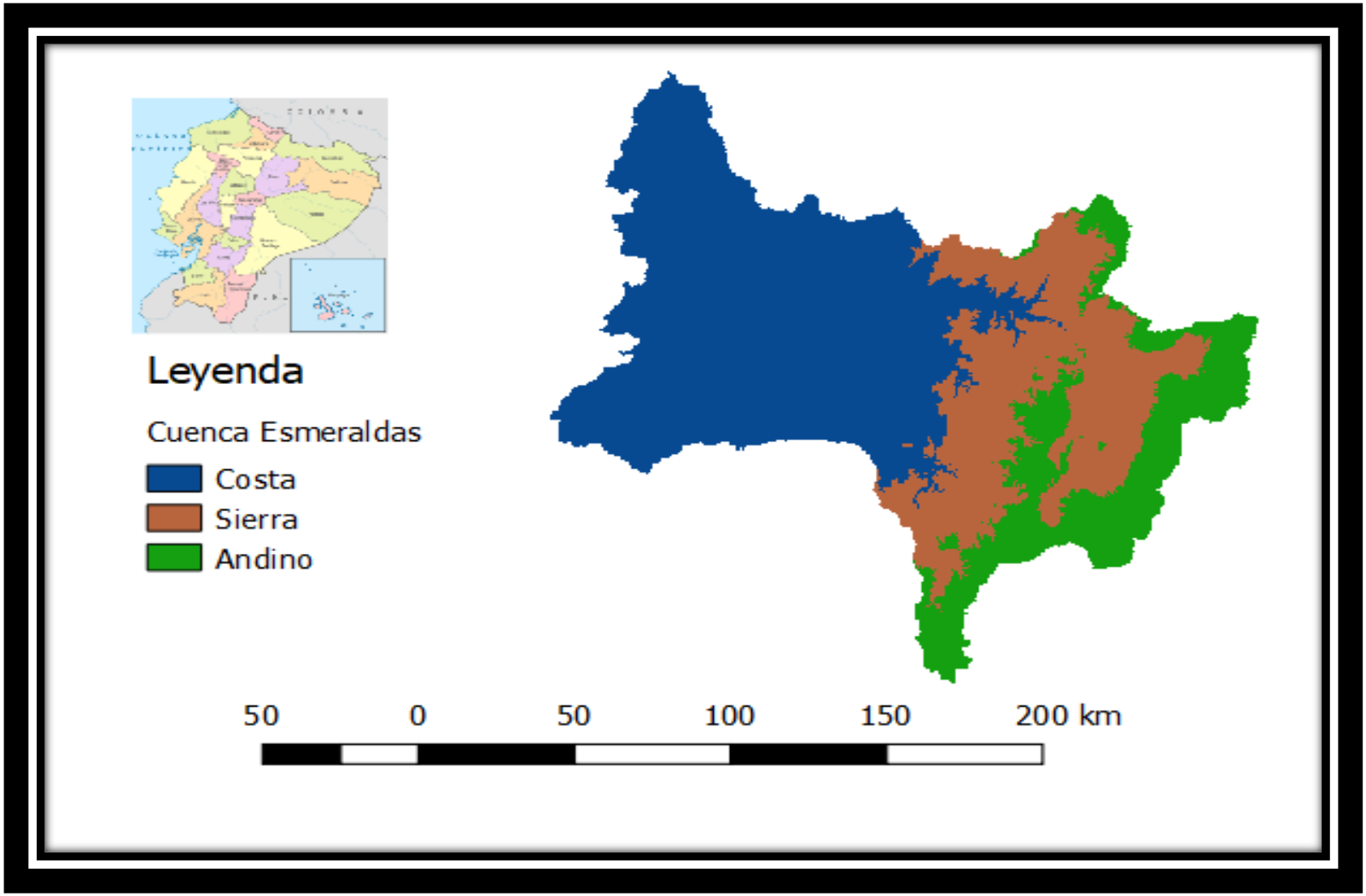


Figura 4 Mapa de elevaciones de la cuenca del río Esmeraldas.

Comparación de los usos del suelo en la cuenca y en el buffer.

Se observaron diferencias significativas en el porcentaje de bosque respecto al orden (ANOVA de tres vías, $F_{3,13360} = 6.80$, $p < 0.001$). Estas diferencias aparecieron solamente entre el orden 1 y el orden 3, en donde el porcentaje de bosque fue mayor en el orden 1 y menor en el orden 3, en cuanto a los órdenes 2 y 4 presentaban porcentajes de bosque intermedios respecto a los órdenes 1 y 3 (Tukey HSD, $p < 0.05$). También hubo diferencias significativas en el porcentaje de bosque respecto al impacto ($F_{4,13356} = 3189$, $p < 0.001$). Estas diferencias fueron significativas entre todos los rangos, ya que a medida que aumenta el impacto en la cuenca se van perdiendo áreas de bosque (Tukey HSD, $p < 0.05$). Por otro lado, el factor zona, también tuvo diferencias significativas ($F_{1,13355} = 24.73$, $p < 0.001$) entre la zona riparia y la cuenca, en donde se observa mayor porcentaje de bosque en la cuenca y menor porcentaje en el buffer. En cuanto a la interacción de impacto y zona no hubo diferencias significativas. En las cuencas de orden 1 (figura 4), se puede observar que el bosque en la zona riparia se ha deteriorado más rápido que en la cuenca porque cuando las cuencas alcanzaron el 20-40% de área impactada, se puede apreciar cerca del 70% de bosque en la cuenca, mientras que en la zona riparia sólo un 40% de bosque. En las cuencas de orden 2 (figura 5) se puede apreciar un comportamiento similar al de las cuencas de orden 1, puesto que la zona riparia se pierde más rápido a partir del rango 20-40% de impacto. Por otro lado, en las cuencas de orden 3 (figura 6) se empieza a notar las diferencias a partir del 40-60% del área impactada, puesto que en ese rango la zona riparia posee cerca del 20% de bosque, mientras que en la cuenca se puede observar un poco más del 40% de bosque. Mientras que en las cuencas de orden 4 (figura 7) se puede observar que cuando hay un impacto del 20-40% la media de las áreas cubiertas de bosques es de 0%.

A medida que se pierde el bosque otros usos empiezan a ocupar su espacio, los cultivos son uno de ellos, se pudo observar que este uso solo tiene diferencias significativas respecto al impacto (ANOVA de tres vías, $F_{4,13356} = 992$, $p < 0.001$), estas diferencias fueron significativas entre los rangos 0-20% y 80-100% de impacto, mientras que en los rangos restantes (20-40%, 40-60%, 60-80 de impacto) hay similitudes con los de mayor diferencias (0-20% - 80-100%), y de esta forma mientras aumenta el impacto en la cuenca los cultivos van creciendo. En las cuencas de orden 1 (figura 4) a pesar de que la media

de áreas de cultivos es 0% cuando hay 80-100% de impacto, se observa que algunas cuencas en la zona riparia ocupan el 100% de cubertura por cultivos, por otro lado en la cuenca de este mismo orden ya se aprecia una media de áreas de cultivos del 10%, a partir del orden 2 (figura 5), la zona riparia ya presenta una media de áreas de cultivos cerca del 10% cuando la cuenca está impactada en el rango 80-100%, y la cuenca en general se mantiene de la misma forma que la zona riparia. Las cuencas de orden 3 (figura 6) presentan las mismas condiciones que la cuenca de orden 2 y 1, con la diferencia de que el máximo de áreas por cultivos que se puede apreciar es del 80% cuando hay un impacto del 80-100%, mientras que en la cuenca de orden 4 (figura 7) se puede observar una media del 20% de cultivos cuando la cuenca está impactada entre el rango 80-100% tanto en la cuenca como en la zona riparia.

Otro de los usos que empiezan a crecer son los pastizales, se pudo observar que este uso posee diferencias significativas (ANOVA de tres vías, $F_{3,13360} = 6.80$, $p < 0.001$), respecto al orden 3 y 4, con mayor porcentaje de pastizales en el orden 4 y con menor porcentaje el orden 3, referente a los órdenes 1 y 2 presentaron porcentajes similares a los órdenes de mayor y menor porcentaje (Tukey HSD, $p < 0.05$). También hubo diferencias significativas en el porcentaje de pastizales respecto al impacto ($F_{4,13356} = 3189$, $p < 0.001$), estas diferencias fueron significativas entre todos los impactos, creciendo de forma proporcional a medida que aumenta el impacto (Tukey HSD, $p < 0.05$). También hubo diferencias significativas respecto a la zona ($F_{1,13355} = 24.73$, $p < 0.001$), en donde el porcentaje de pastizales era mayor en la zona riparia y menor en la cuenca (Tukey HSD, $p < 0.05$). De acuerdo a la interacción impacto y zona no hubo una diferencia significativa. En la cuenca de orden 1 (figura 4) se puede ver que los pastizales empiezan a crecer a partir del rango 20-40% de impacto tanto en la cuenca como en la zona riparia, con aproximadamente 20% de áreas cubiertas por pastizales, hasta alcanzar una media cerca del 80% de pastizales cuando el impacto es de 80-100% referente a la cuenca, mientras que en el buffer se empieza a estabilizar y su crecimiento es igual al rango 60-80% de impacto con el 60% de áreas cubiertas por pastizales, las cuencas de orden 2 (figura 5) actúan de la misma forma que las cuencas de orden 1, mientras que en las cuencas de orden 3 (figura 6) cuando la cuenca alcanza el rango de 80-100% de impacto en la cuenca se estabiliza el crecimiento de los pastizales, y en la zona riparia empieza a disminuir en ese rango de impacto. En la cuenca 4 ya se ven diferencias en cuanto a la aparición de los

pastizales, puesto que cuando la cuenca está impactada en el rango 0-20% se observa un 10% de áreas cubiertas por pastizales.

Se observaron diferencias significativas en el porcentaje de la vegetación herbácea respecto al impacto (ANOVA de tres vías $F_{4,13356} = 57.84$, $p < 0.001$), en donde las diferencias se mostraron en los rangos 0-20%, 20-40%, 60-80% y 80-100%, el rango 40-60% presentó porcentajes intermedios entre los de 20-40% y 60-80%, el rango con mayor porcentaje de vegetación herbácea fue el de 60-80% y el menor el de 0-20%, siendo así que mientas se va impactando el área hay menos cantidad de vegetación herbácea (Tukey HSD, $p < 0.05$). De acuerdo a los análisis realizados respecto a la zona, se observaron diferencias significativas ($F_{1,13355} = 43.14$, $p < 0.001$), teniendo menor porcentaje de pastizales en la cuenca y mayor en la zona riparia (Tukey HSD, $p < 0.05$). No hubo una interacción significativa referente a la zona y al impacto. De acuerdo al orden 1 (figura 4) en la zona riparia no hay zonas con vegetación herbácea y en la cuenca a pesar de tener una media del 0% en todos los rangos de impacto, se observan algunas cuencas cubiertas por vegetación herbácea, mientras tanto en el orden 2 (figura 5) ya se observan algunas cuencas con vegetación herbácea en la zona riparia, aunque la media de todos los rangos sigue siendo del 0% de vegetación herbácea, las cuencas de orden 3 (figura 6) son muy similares a las de orden 2. Finalmente, las cuencas de orden 4 (figura 7) se empieza a ver que en los rangos del 20-40% de impacto, la vegetación herbácea empieza a cubrir cerca del 15% en la zona riparia y cerca del 10% de la cuenca en general, y luego empieza a disminuir.

Se observaron diferencias significativas en el porcentaje de páramo respecto al impacto (ANOVA de tres vías, $F_{4,13356} = 576$, $p < 0.001$), observándose diferencias entre todos los rangos a excepción del rango 80-60% que es idéntico al rango 80-100%, dado que el rango 80-100% es el de menor porcentaje de páramo y el rango 0-20% es el mayor, se puede ver como se pierde el páramo a medida que avanza el impacto en las cuencas (Tukey HSD, $p < 0.05$). De acuerdo a la zona también se observaron diferencias significativas ($F_{1,13355} = 70.59$, $p < 0.001$) de manera que la zona riparia tiene menor porcentaje de páramo y la cuenca en general tiene mayor porcentaje. Se observó que en las interacciones de impacto y orden hay diferencias significativas ($F_{12,13343} = 3.04$, $p < 0.001$) y de la misma manera entre el impacto y la zona hubo diferencias significativas

($F_{4,13336} = 11.49$, $p < 0.001$), lo que sugiere que el páramo cambia de forma distinta en la zona riparia y en la cuenca en general, perdiéndose más rápido en la zona riparia. En la cuenca de orden 1 (figura 4) tanto en la cuenca como en la zona riparia hay medias del 0% de áreas cubiertas por páramos, sin embargo, se logran apreciar algunas cuencas con páramos cuando el rango de impacto está desde el 0-20% en ambas zonas, las cuencas de orden 2 (figura 5) son similares a las de orden 1, con la diferencia de que en estas hay zonas con paramos hasta los rangos 20-40% y 40-60% de impacto en la cuenca, y hasta el 20-40% de impacto en la zona riparia. De la misma forma en las cuencas de orden 3 (figura 6) se observa una media del 0% de porcentajes de páramo, pero en este caso se evidencian algunas cuencas con páramo hasta cuando existe un 60-80% de impacto tanto en la zona riparia como en las cuencas en general.

En las zonas cubiertas por áreas urbanas se observaron diferencias significativas en su porcentaje respecto al orden (ANOVA de tres vías, $F_{3,13357} = 5.79$, $p < 0.001$), los cuales se mostraron entre el orden 1 y 3, mientras que en el orden 2 y 4 presentaron porcentajes intermedios entre el 1 y 3, siendo el orden 1 el de menor porcentaje y el 3 con mayor porcentaje (Tukey HSD, $p < 0.05$). Se observaron diferencias significativas en los porcentajes de las zonas urbanas respecto a los rangos de impacto ($F_{4,13353} = 166$, $p < 0.001$), mostrando que el menor se encuentra en el rango 0-20% y el mayor en el rango 80-10%, mientras que los rangos restantes, eran similares al rango 0-20%, de tal manera que mientras aumenta el impacto en las cuencas, aumentan las áreas de zonas urbanas. No se mostraron diferencias significativas respecto al impacto y la zona. En las cuencas de orden 1 (figura 4) no se mostraron zonas cubiertas por áreas urbanas, ni en la cuenca en general ni en la zona riparia, por otro lado, en las cuencas de orden 2 (figura 5) a pesar de que tampoco se mostraron zonas con áreas urbanas, se observó que hay cuencas con 1% de áreas urbanas, cuando la cuenca en general se encuentra impactada en el rango 80-100%, sin embargo, aun así la media de áreas urbanas es del 0%. La cuenca de orden 3 (figura 6) presenta una media del 0% entre los rangos 60-80% y 80-100% de impacto, tanto en la cuenca en general como en la zona riparia, aunque existen algunas cuencas que alcanzan hasta el 5% de áreas urbanas en la zona riparia, estas son muy parecidas a las cuencas de orden 4 (figura 7) con la diferencia de que se empieza a observar cuencas con áreas urbanas a partir del rango 40-60% en la zona riparia y en la cuenca en general.

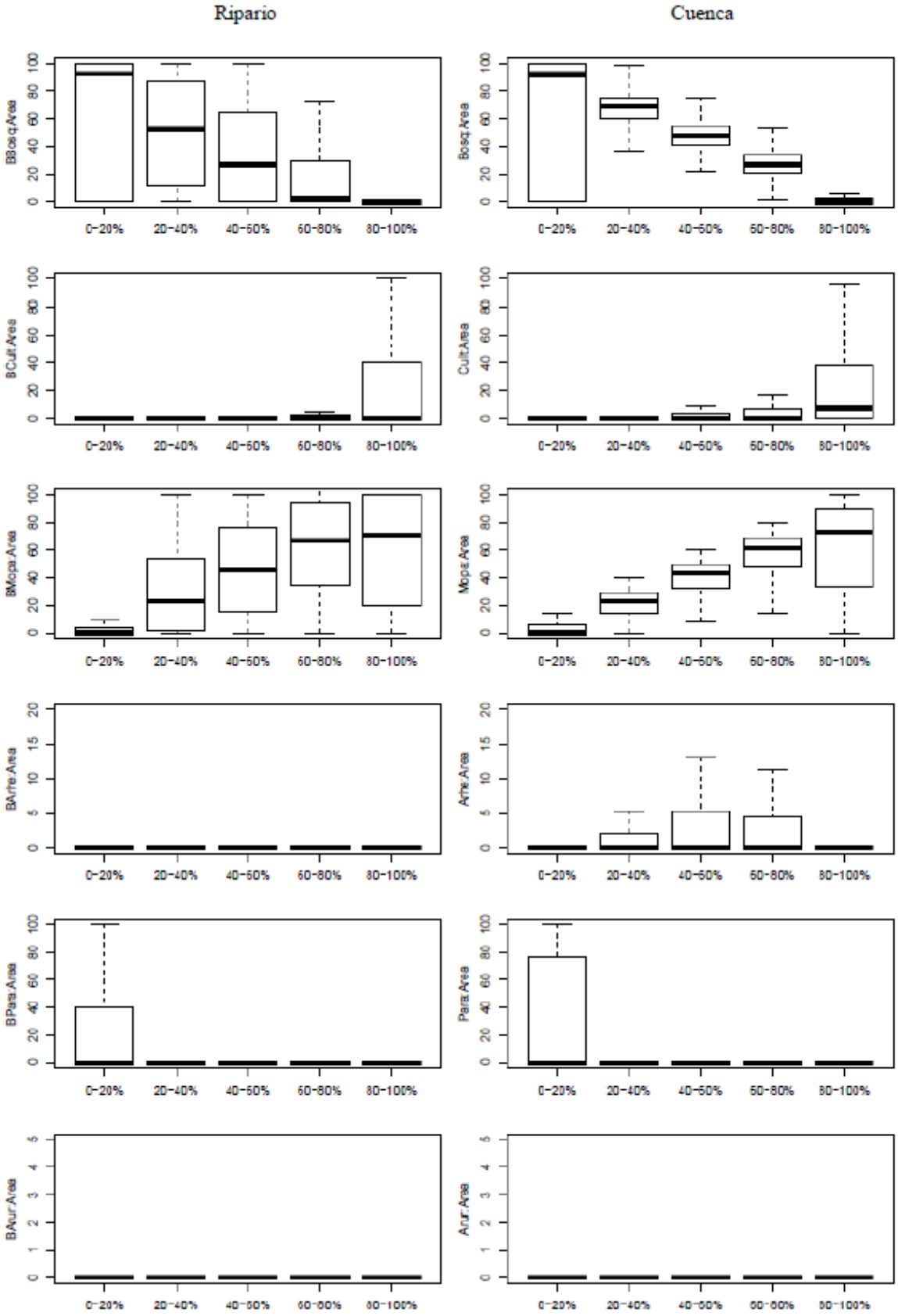


Figura 5 Usos del suelo en la cuenca de orden 1. La abscisa de las x corresponde al % de área impactada

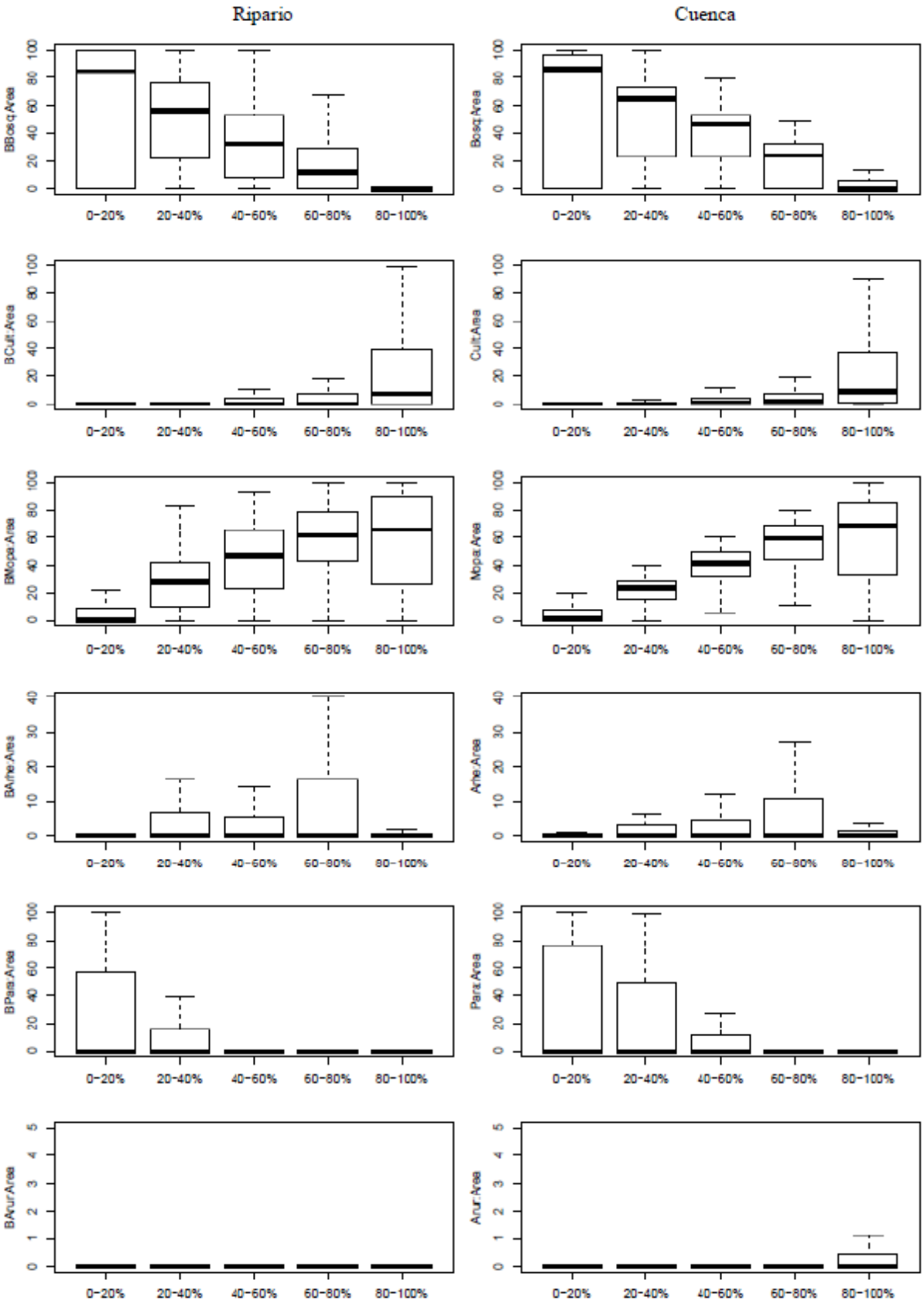


Figura 6 Usos del suelo en la cuenca de orden 2. La abscisa de las x corresponde al % de área impactada

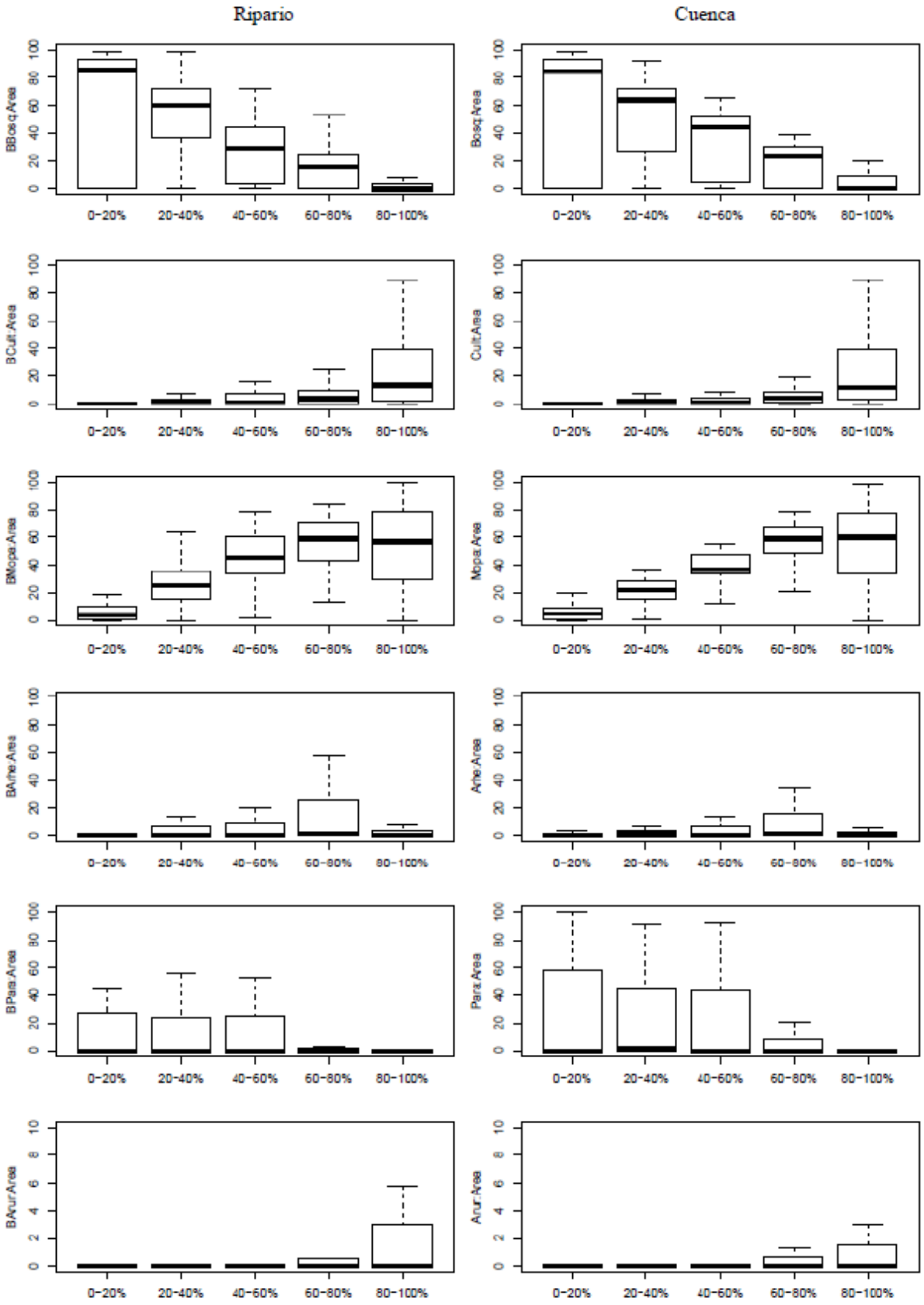


Figura 7 Usos del suelo en la cuenca de orden 3. La abscisa de las x corresponde al % de área impactada

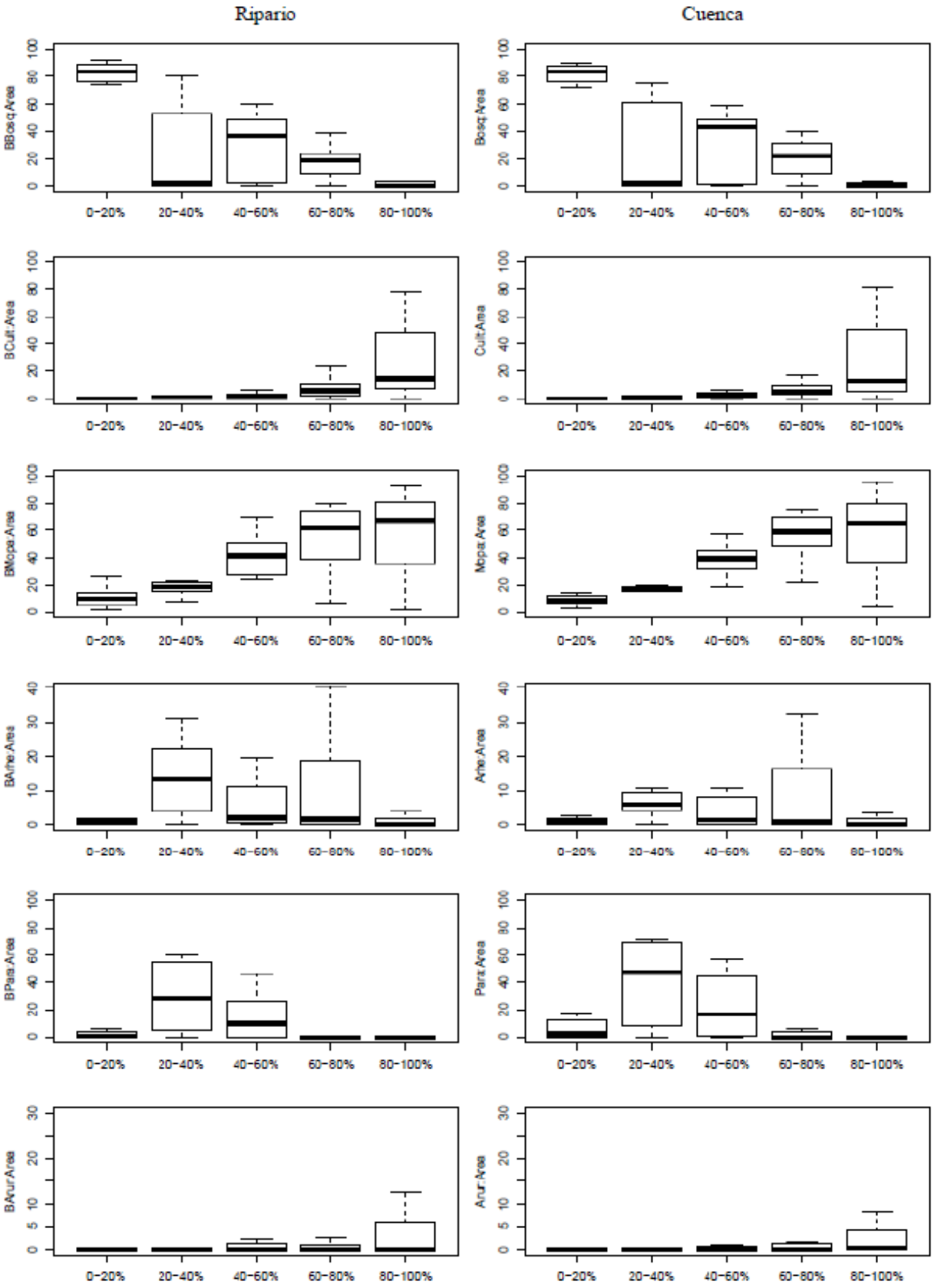


Figura 8 Usos del suelo en la cuenca de orden 4. La abscisa de las x corresponde al % de área impactada

Comparación de los usos del suelo en la cuenca según la elevación

El porcentaje de bosque en la cuenca mostró diferencias según el orden (ANOVA de tres vías, $F_{2,6605} = 8.87$, $p < 0.001$). Estas diferencias se observaron entre el orden 1 y 3, siendo mayor el orden 1 y menor el orden 3, mientras que el orden 2 presentaba porcentajes intermedios (Tukey HSD, $p < 0.05$). Hubo diferencias significativas respecto al impacto ($F_{4,6601} = 2869$, $p < 0.001$) las cuales aparecieron entre todos los rangos de impacto, teniendo mayor porcentaje de bosque el rango 80-100% y el menor 0-20% (Tukey HSD, $p < 0.05$). Respecto a la elevación, se observaron diferencias significativas ($F_{2,6599} = 1865$, $p < 0.001$) y las comparaciones múltiples mostraron diferencias entre la región andina, costa y sierra, en donde la andina presentó los menores porcentajes de bosque mientras que la sierra tenía los mayores, en cuanto a la costa presentó porcentajes intermedios en cuanto a las otras regiones (Tukey HSD, $p < 0.05$). Finalmente, se observaron diferencias en la interacción entre impacto y elevación ($F_{8,6579} = 150$, $p < 0.001$), esto que el bosque cambia de distinta forma en las diferentes regiones, deteriorándose más rápido en la región andina, seguido de la sierra y por último en la costa. En las cuencas de orden 1 (figura 8), el porcentaje de bosque en la cuenca se redujo de la misma manera en la costa y en la sierra. Sin embargo, se observó que el porcentaje de bosque en la cuenca en la zona andina aumentó a partir del rango 20-40 % de impacto en la cuenca, aunque no llegó a superar el 20% del área de la cuenca. Por otro lado, en las cuencas de orden 2 no se evidencia bosque en ningún rango excepto en el 40-60% de impacto con aproximadamente 5% de área boscosa en la zona andina, e igualmente en las cuencas de orden 3 (figura 9) en el mismo rango de impacto (40-60%) se observó el 2 % de bosque.

Los cultivos mostraron diferencias en los porcentajes de la cuenca respecto a los rangos de impacto (ANOVA de tres vías, $F_{4,6601} = 748$, $p > 0.001$). Estas diferencias se dieron en todos los rangos, excepto cuando la cuenca está con 20-40% de impacto que comparte similitudes con los rangos 0-20% y 40-60% de impacto, de tal manera que el rango 0-20% tuvo menor porcentaje de cultivos y el rango 80-100 tuvo mayores porcentajes (Tukey HSD, $p < 0.05$). Respecto a la elevación tuvo diferencias en los porcentajes de cultivos (ANOVA de tres vías, $F_{2,6599} = 517$, $p > 0.05$), siendo la zona andina la de menor porcentaje y la región costa la que mayores porcentajes presentó, mientras que la región sierra presentaba porcentajes intermedios respecto a las otras regiones (Tukey HSD, $p < 0.05$).Finalmente, también se observaron diferencias significativas entre los rangos de

impacto y las elevaciones de acuerdo a la costa sierra y la región andina ($F_{8,6579}$ = 15.18, p > 0.001), por lo que el uso de los cultivos cambia de manera distinta en las diferentes regiones. Creciendo mayoritariamente en la costa, luego en la sierra y en menores cantidades en la región andina

Los porcentajes de pastizales tuvieron diferencias significativas respecto a los rangos de impacto (ANOVA de tres vías, $F_{4,6601}$ = 1560, p > 0.001), en donde todos los rangos mostraron diferencias exceptuando el rango 60-80% y 80-100% de impacto que presentaron similitudes, se observó que el rango con mayor porcentaje fue el de 80-100% y el que menor porcentaje de pastizales tenía era el rango 0-20% (Tukey HSD, p > 0.05). Por último, hubo diferencias respecto a las elevaciones y rangos de impacto ($F_{8,6579}$ = 22.27, p > 0.001), mostrando un mayor crecimiento de pastizales en la región costa, luego en la región sierra y andina que presenta un crecimiento de similar. En las cuencas de orden 1 (figura 8) se observa que los pastizales crecen hasta ocupar cerca del 80% de las cuencas en la costa, mientras que en la sierra y en la región andina hasta un 60%. Ocurre algo similar en las cuencas de orden 2 (figura 9), con la diferencia de que en la sierra los pastizales empiezan a decrecer cuando la cuenca está en el rango de 80-100% de impacto, pues sus áreas bajan hasta cerca del 50%, mientras que en el rango 60-80% posee 60% de pastizales. En el orden 3 (figura 10), hay una diferencia en la costa puesto que cuando la cuenca está impactada en el rango 80-100% se estabiliza con el rango de 60-80% con 60% de áreas cubiertas con pastizales, mientras que en la sierra decrece aún más que en las cuencas de orden 2, hasta cerca del 40%, la región andina mantiene su crecimiento conforme va aumentando el rango de impacto.

Los porcentajes de vegetación herbácea presentaron diferencias significativas entre los rangos de impacto (ANOVA de tres vías, $F_{4,6601}$ = 54.72, p > 0.001), principalmente entre los rangos 0-20% siendo este el menor, y 80-100% siendo este el que mayor porcentaje de vegetación herbácea tiene, los rangos 20-40%, 40-60%, 60-80% de impacto son los rangos con porcentajes intermedios a los principales (Tukey HSD, p > 0.05).Se observaron diferencias respecto a la elevación (ANOVA de tres vías, $F_{2,6599}$ = 714, p > 0.001), siendo la costa menor, con similar porcentaje al de la sierra, y la región andina representando el mayor porcentaje de vegetación herbácea (Tukey HSD, p < 0.05). Respecto a las comparaciones de impacto y elevación, se observaron diferencias en los porcentajes de vegetación herbácea ($F_{8,6579}$ = 3.74, p > 0.001), lo que señala que entre las regiones este uso cambia de forma diferente en cada una de ellas, pues en la costa y en la

sierra se observa poco, mientras que en la zona andina tiene un mayor crecimiento. La vegetación herbácea en las cuencas de orden 1 (figura 8), referente a la costa no se evidencia, en la región sierra, aunque la media del porcentaje de este uso es del 0% se observa que algunas cuencas, llegan a tener hasta un 20% de este uso, lo mismo sucede en la región andina, las cuencas muestran una del 0% de este uso en los diferentes rangos de impacto. Mientras que en las cuencas de orden 2 (figura 9), a pesar de que la costa se mantiene sin porcentajes de este uso, en la sierra ya se evidencia porcentajes de este uso a partir del rango 60-80% de impacto, y en la región andina se evidencia 2% de esta vegetación en los rangos 20-40%, y llega hasta el 10% como máximo cuando la cuenca está impactada en el rango 80-100%. La cuenca de orden 3 (figura 10) muestra más áreas cubiertas por vegetación herbácea, pero la costa se sigue manteniendo sin este uso, aún así la sierra muestra hasta el 10% de vegetación herbácea cuando el rango de impacto está en 80-100%, mientras que la región andina muestra un máximo de cerca del 20% de este uso cuando la cuenca está impactada al 60-80%.

El porcentaje de páramo tuvo diferencias significativas en cuanto al impacto (ANOVA de tres vías, $F_{4,3298} = 364$, $p > 0.001$), mostrando que el rango 80-100% de impacto fue el que menor porcentaje tenía y 0-20% tenían los mayores porcentajes de páramo, en cuanto a los rangos restantes, tienen porcentajes intermedios respecto al rango mayor y menor (Tukey HSD, $p > 0.05$). Se observaron diferencias en los porcentajes de páramo respecto a las elevaciones ($F_{2,3297} = 5281$, $p > 0.001$), siendo menores en la sierra y mayores en la región andina (Tukey HSD, $p > 0.05$). El porcentaje de páramo tuvo diferencias respecto a la elevación y los órdenes de la cuenca ($F_{4,3287} = 6.69$, $p > 0.001$) y también se observaron diferencias respecto al impacto y la elevación ($F_{8,3283} = 7.16$, $p > 0.001$), puesto que en la sierra casi no se evidencia páramo su deterioro se vería más rápido, y en la región andina se vería un deterioro más lento. Los porcentajes de páramo en la cuenca de orden 1 (figura 8) muestran cómo se pierde este uso a medida que avanza el impacto en la cuenca, se pierde este uso, las cuencas de orden 2(figura 9) son similares a las cuencas de orden 1, aunque poseen menos porcentaje de páramo, por último las cuencas de orden 3 (figura 10) se observa una similitud a las otras cuencas, en cuanto a cómo se deterioran mientras avanza el impacto en las cuencas, sin embargo estas posee aún menos porcentajes de páramo en las cuencas, que en los otros órdenes.

El porcentaje de áreas urbanas tuvo diferencias significativas respecto a sus órdenes (ANOVA de tres vías, $F_{2,6605} = 5.60$, $p > 0.001$), estás diferencias se mostraron en el orden

1 y 3 siendo, mayor el orden 3, y menor el orden 1, mientras que el orden 2 presentaba porcentajes intermedios respecto a los otros ordenes (Tukey HSD, $p > 0.05$). Respecto a los porcentajes de impacto, las áreas urbanas también mostraron diferencias significativas ($F_{4,6601} = 128$, $p > 0.001$), únicamente en los rangos 0-20% y 80-100% de impacto, en dónde el rango 0-20 % presentaba los porcentajes menores de áreas urbanas y el rango 80-100% los mayores. En cuanto a los porcentajes de áreas urbanas respecto a la elevación, se observaron diferencias significativas ($F_{2,6599} = 494$, $p > 0.001$), mostrando diferencias entre la costa y la región andina, siendo la costa la que menor porcentajes tiene, y la región andina la que mayores porcentajes presenta, a su vez la región sierra posee porcentajes intermedios respecto a las otras regiones (Tukey HSD, $p > 0.05$). Finalmente los porcentajes de este uso fueron diferentes respecto a las elevaciones y los órdenes ($F_{4,6587} = 4.63$, $p > 0.001$), puesto que los porcentajes de áreas urbanas cambian de distinta forma en cada orden dependiendo de su región, se evidencia un crecimiento mayor en la zona andina en las cuencas 2 y 3, pero en la cuenca 1 hay un mayor crecimiento en la región sierra. Las cuencas de orden 1 (figura 8) mostraron que a pesar de que la media del porcentaje de áreas urbanas es de 0% para todas las regiones, únicamente en la sierra se evidencian algunas cuencas con cerca del 70% de áreas urbanas, mientras que en las cuencas de orden 2 (figura 9) ya se empieza a ver un crecimiento de áreas pobladas en la zona andina, con un porcentaje próximo al 10% cuando la cuenca está impactada al 80-100%, por último se observa un cambio en las cuencas de orden 3 (figura 10) respecto a la región andina, pues aunque la media sigue siendo del 0% hay ciertas cuencas que cuando están impactadas en el rango 8-100% tienen hasta un 80% de áreas pobladas.

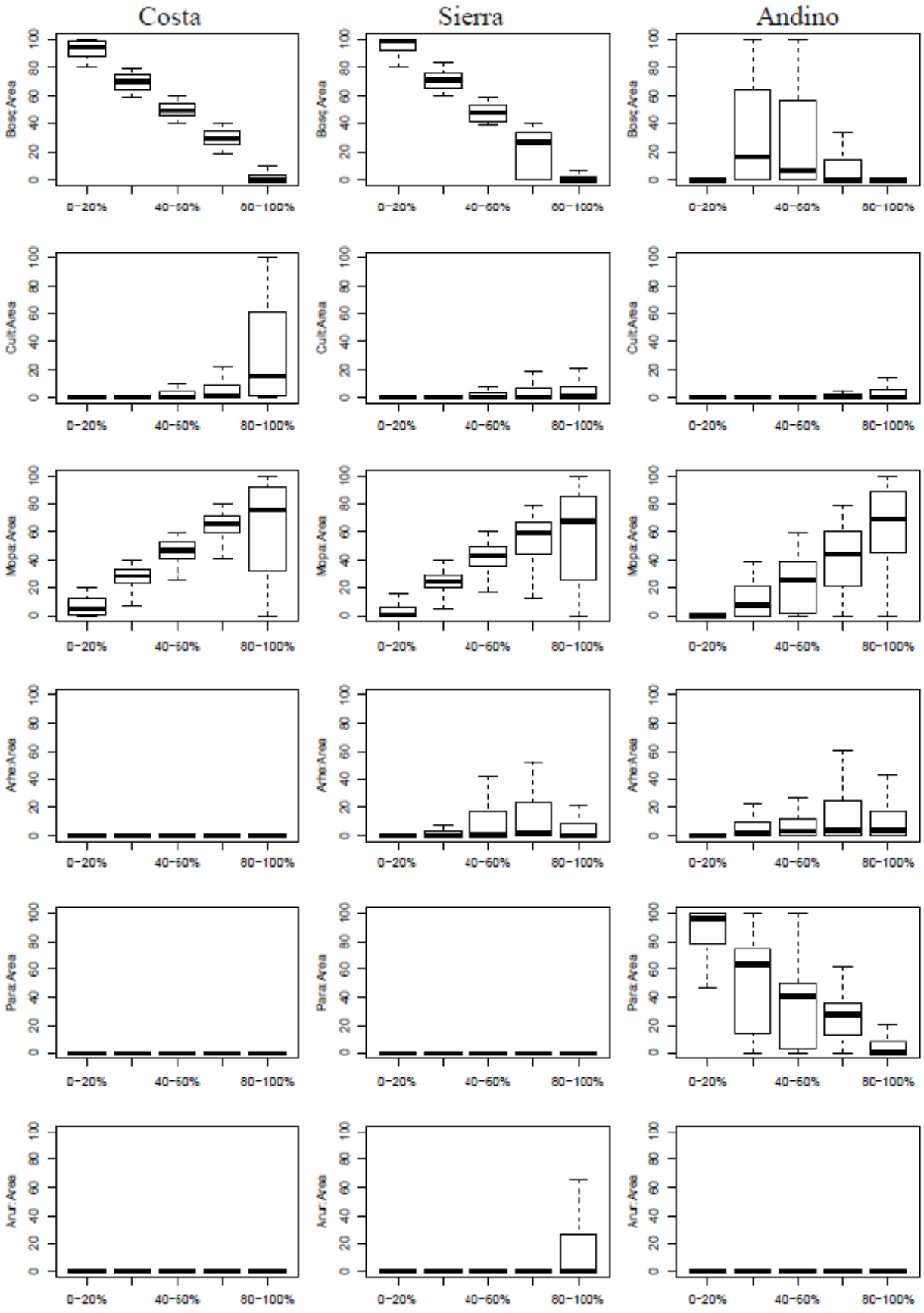


Figura 9 Usos del suelo en la cuenca de orden 1 por elevación. La abscisa de las x corresponde al % de área impactada

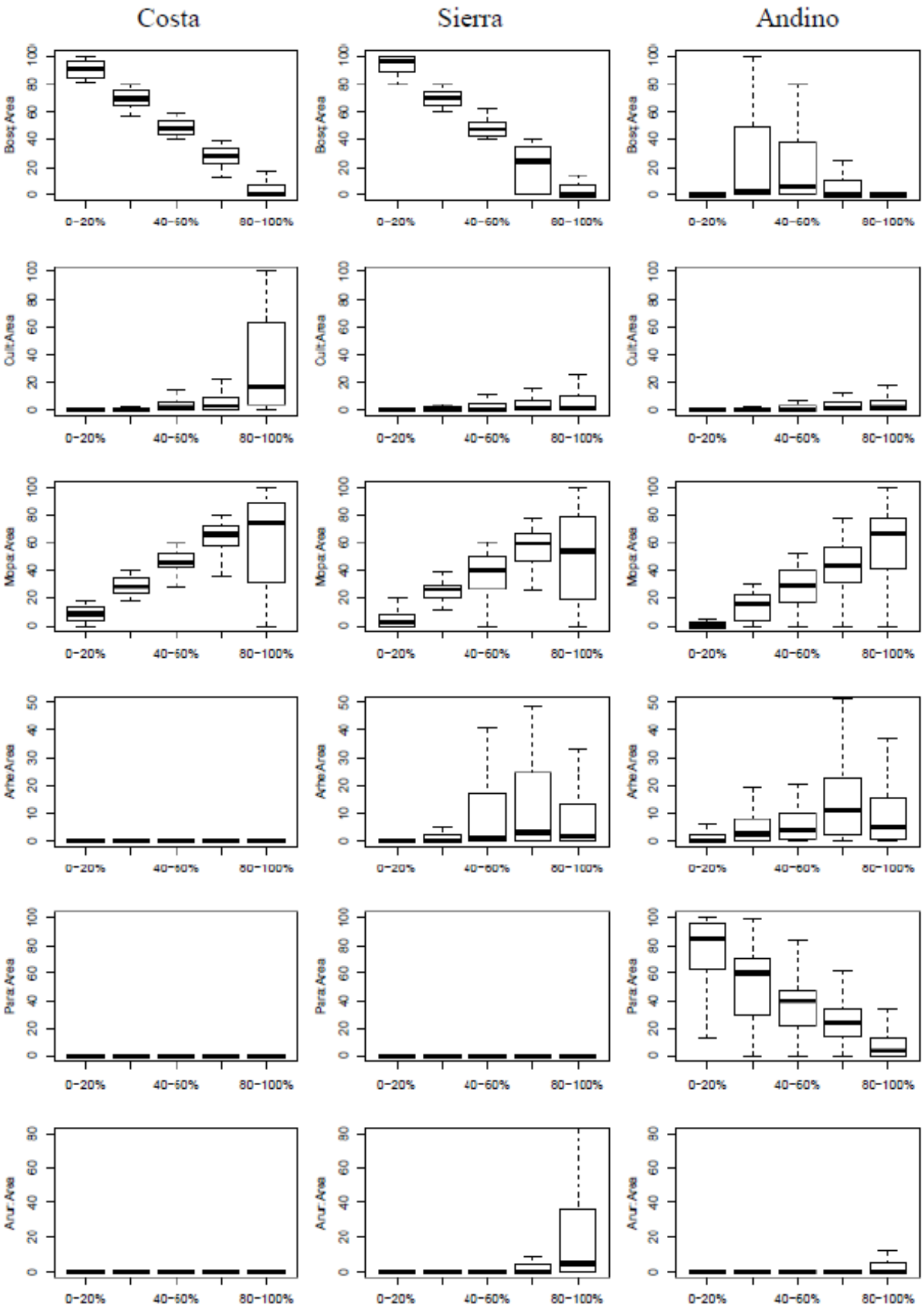


Figura 10 Usos del suelo en la cuenca de orden 2 por elevación. La abscisa de las x corresponde al % de área impactada

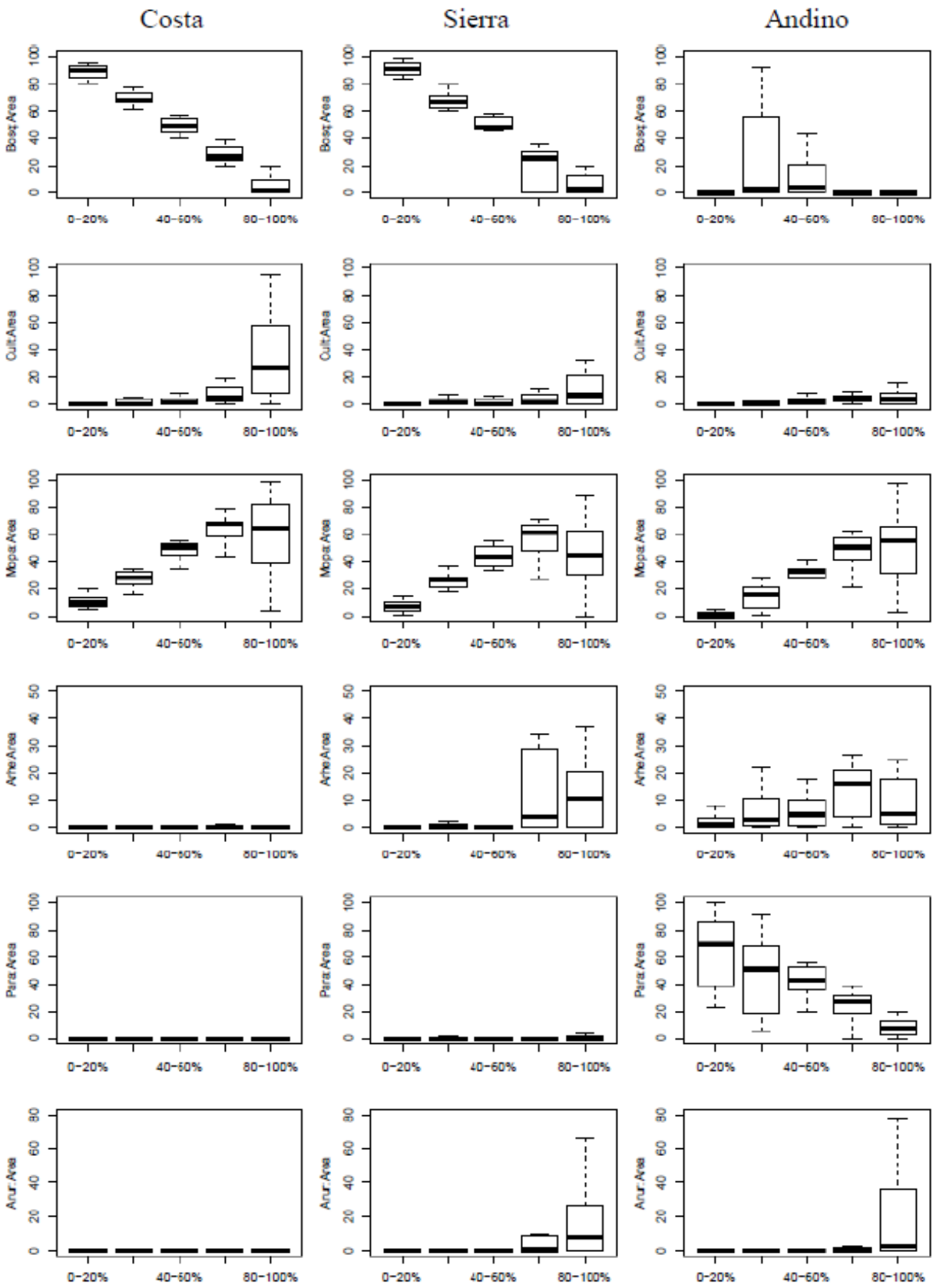


Figura 11 Usos del suelo en la cuenca de orden 3 por elevación. La abscisa de las x corresponde al % de área impactada

Comparación de los usos del suelo en las zonas riparias según la elevación.

El porcentaje de bosque en la zona riparia presentó diferencias significativas respecto al impacto (ANOVA de tres vías, $F_{4,6601} = 1387$, $p > 0.001$), en donde todos los rangos tuvieron diferencias en sus porcentajes de bosque, siendo el 80-100% de impacto el menor y el 0-20% mayor, en cuanto a los demás rangos eran intermedios respecto a los otros dos rangos (Tukey HSD, $p > 0.05$). Respecto a los porcentajes de bosque de acuerdo a la elevación, también mostró diferencias significativas ($F_{2,6599} = 585$, $p > 0.001$), estas se mostraron entre las 3 regiones, de manera que en la región andina tuvo el menor porcentaje de bosque y la región costa tuvo el mayor, en cuanto a la sierra quedó intermedio respecto a las otras regiones (Tukey HSD, *p* 0.05). Se observaron diferencias entre las comparaciones de impacto y elevación ($F_{8,6579} = 84.69$, $p > 0.001$), Mostrando que la cantidad de bosque cambia en cada región, cuanto mayor es el impacto menos bosque se observa, perdiéndose mucho más rápido en la región andina, seguido de la costa y finalmente la sierra en cuanto a la zona riparia. La región andina presenta cerca del 30 % de bosque cuando las cuencas de orden 1 (figura11) está impactada en el rango 40-60%, mientras que en la región costa se aprecia más del 40% de bosque en el mismo rango, y en la sierra se aprecia cerca del 80% en el mismo grado de impacto. Por otro lado, los buffers de orden 2 (figura 12), muestran una menor cantidad de bosque en las zonas andina, costa y sierra, pero siguiendo el mismo patrón que los buffers de orden 1, el orden 3 (figura 13) es similar al orden 2, sin embargo, la región andina presenta menos porcentajes de bosque que los otros órdenes.

El porcentaje de cultivos presentó diferencias significativas respecto al impacto en la zona riparia (ANOVA de tres vías, $F_{4,6601} = 448$, $p > 0.001$), las cuales fueron diferentes en todos los rangos exceptuando los rangos 20-40% y 40-60% que eran similares, en cuanto al rango 0-20% fue el que menor porcentaje de cultivos presentó y el rango 80-100% el que mayor cantidad de cultivos tuvo, los demás rangos eran intermedios respecto al rango mayor y menor (Tukey HSD, $p > 0.05$). Respecto a las elevaciones, se observaron diferencias en los porcentajes de cultivos de las regiones ($F_{2,6599} = 409$, $p > 0.001$), siendo la costa la que mayores porcentajes de cultivos presenta, y la zona andina la que menos tiene, dejando a la región sierra con porcentajes intermedios (Tukey HSD, $p > 0.05$). Y respecto a las comparaciones entre elevaciones e impactos en la zona riparia, se mostraron diferencias significativas en sus porcentajes de cultivos ($F_{8,6579} = 6.67$, $p > 0.001$),

mostrando un mayor crecimiento de este uso en la costa, seguido de la sierra y por último en la región andina donde no se evidencian muchos cultivos. Los cultivos en la región costa de los buffers de orden 1 (figura 11), muestran un crecimiento a partir del rango 40-60% de impacto, mientras que en la región sierra empiezan a crecer, en muy pocas cantidades cuando la cuenca está impactada al 60-80%, la región andina no presenta porcentaje alguno de cultivos. Los buffers de orden 2 (figura 12) sigue el mismo patrón que los buffers de orden 1, con la diferencia de que en la zona andina se empieza a evidenciar cultivos en el rango de impacto 40-60%, en los buffers de orden 3 (figura 13) ya se ve un crecimiento mayor respecto a los otros órdenes, pues los cultivos en la costa empiezan a crecer aún más y lo mismo en la sierra, sin embargo, en la región andina se mantiene en menos porcentaje que los otros órdenes.

Los porcentajes de pastizales fueron significativos respecto al impacto en la zona riparia (ANOVA de tres vías, $F_{4,6599} = 689$, $p > 0.001$), mostrando diferencias entre todos excepto en los rangos 20-40% y 40-60% de impacto que presentaron similitudes, mientras que el rango con mayor porcetaje de pastizales fue el de 60-80% y el menor fue el rango de 0-20% de impacto, dejando a los demás rangos de impacto con porcentajes intermedios de pastizales en los buffers (Tukey HSD, $p > 0.05$). Respecto a las elevaciones, se mostraron diferencias significativas en los porcentajes de pastizales ($F_{2,6589} = 86.70$, $p > 0.001$), estas fueron diferentes en todas las regiones, siendo la costa la que mayor porcentaje posee, y la región andina la que menos tiene, dejando a la sierra con porcentajes intermedios de pastizales (Tukey HSD, $p > 0.05$). Por último, se observaron diferencias significativas, entre las comparaciones respecto a las elevaciones e impactos en los porcentajes de pastizales de los buffers ($F_{8,6561} = 10.94$, $p > 0.001$), en donde se muestran diferencias en los porcentajes de pastizales, dependiendo de las regiones, siendo la costa la que mayores porcentajes de pastizales posee, seguido de la región andina, y por último en la sierra. Los buffers de orden 1 (figura 11) muestran que los pastizales crecen en mayor porcentaje en la región de la costa, de igual forma en los buffers de orden 2 (figura 12) se evidencia el mismo patrón, sin embargo, hay una diferencia con la región sierra de los buffers de orden 1, puesto que el porcentaje de pastizales aumenta conforme aumenta el impacto, mientras que en los buffers de orden 2 empieza a disminuir en el rango de impacto final. Los buffers del orden 3 (figura 13) empiezan a cambiar en la costa, pues ya no se mantiene aumentando en el último rango de impacto empiezan a disminuir.

Los porcentajes de vegetación herbácea en la zona riparia, presentaron diferencias significativas respecto al impacto (ANOVA de tres vías, $F_{4,6601} = 35.53$, $p > 0.001$), presentando diferencias únicamente en los rangos 0-20% y 80-100% de impacto siendo, menor el de 0-20% y mayor el rango de 60-80% de impacto, los demás rangos presentaron porcentajes similares al rango mayor y menor (Tukey HSD, $p > 0.05$). También hubo diferencias de los porcentajes de vegetación respecto a la elevación ($F_{2,6599} = 555$, $p > 0.001$), en donde la región costa presentó los menores porcentajes y la región andina los mayores, quedando la región sierra con porcentajes intermedios respecto a las otras regiones (Tukey HSD, $p > 0.001$). La vegetación herbácea en los buffers del orden 1 (figura 11), en todos los rangos y en todas las regiones presenta una media del 0% de pastizales, aun así, en la sierra y en la región andina se observan ciertas zonas riparias con más del 50% de pastizales. En los buffers del orden 2 se observa un mayor crecimiento de vegetación herbácea, en la zona andina se observa más del 15% cuando el buffer está impactado al 60-80%, por último, en los buffers de orden 3 (figura 13), en la zona andina crece cerca del 35% en el mismo rango de impacto que los buffers de orden 2.

Los porcentajes de páramo tuvieron diferencias significas significativas en la zona riparia respecto al impacto (ANOVA de tres vías, $F_{4,6601} = 1346$, $p > 0.001$), estás diferencias se mostraron solamente entre el rango 0-20% y 80-100% de impacto, siendo el rango 0-20% el que mayor porcentaje de páramo posee, y el rango 80-100% de impacto el menor, los demás rangos de impacto comparten similitudes entre el rango mayor y menor (Tukey HSD, $p > 0.05$). Por otro lado, se vieron diferencias significativas respecto a las elevaciones ($F_{2,6599} = 4232$, $p > 0.001$), en donde la costa tiene los menores porcentajes de páramo y la región andina los mayores, dejando la región sierra en porcentajes intermedios a las otras regiones (Tukey HSD, $p > 0.05$). Finalmente, se observaron diferencias en lo que respecta a las comparaciones entre los órdenes del buffer y los rangos de impacto ($F_{8,6591} = 11.12$, $p > 0.001$), mostrando como cambian los porcentajes de páramo en los diferentes órdenes, decreciendo de distinta manera en cada orden analizado. La región andina de los buffers de orden 1 (figura 11) presenta porcentajes de páramo únicamente cuando la cuenca está en el rango 0-20% de impacto, con una media del 100% de áreas cubiertas por este uso, en los demás rangos se observa una media del 0%, mientras que los buffers de orden 2 (figura 12) se evidencia cerca del 80% de páramo en el rango 0-20% y gradualmente va decreciendo, a diferencia de los buffers de orden 1, este si posee porcentajes de paramo conforme va aumentando el grado de impacto, de la

misma forma se compartan los buffers de orden 1, sin embargo este posee 40% de páramo cuando la cuenca está impactada al 0-20%.

Los porcentajes de áreas urbanas en las zonas riparias mostraron diferencias significativas respecto al orden (ANOVA de tres vías, $F_{2,6602} = 6.12$, $p > 0.001$), siendo todos distintos, el orden 1 presentó los menores porcentajes, mientras que el orden 3 los mayores, el orden 2 tuvo porcentajes intermedio respecto a los otros (Tukey HSD, $p > 0.05$). Se observaron diferencias en los porcentajes respecto al impacto en los buffers ($F_{4,6698} = 102.66$, $p > 0.001$), en donde el rango 0-20% fue el que menor porcentaje de áreas urbanas presentó, y el rango 80-100% de impacto, tiene los mayores porcentajes, los demás rangos comparten similitudes entre el rango mayor y menor (Tukey HSD, $p > 0.05$). Respecto a las elevaciones, se observaron diferencias en los porcentajes de las áreas cubiertas por este uso ($F_{2,6596} = 398$, $p > 0.001$), viendo que la costa presentaba los menores porcentajes, y la región andina los mayores porcentajes de áreas urbanas, mientras que la sierra compartía similitudes entre ambas regiones (Tukey HSD, $p > 0.05$). Los buffers del orden 1 (figura 11) mostraron que las áreas urbanas tienen una media del 0% en todos los impactos y en todas las regiones, sin embargo, en la región de la sierra, se puede ver que algunos buffers presentan porcentajes de áreas urbanas cuando ésta está impactada al 80-100%. En los buffers de orden 2 (figura 12) sucede algo similar, con la diferencia de que se pueden ver buffers con áreas urbanas en la región andina, y finalmente en las cuencas de orden 3 (figura 13) ya se observa un crecimiento de zonas urbanas cuando la cuenca está impactada con 60-80% en la sierra, y en la región andina un crecimiento cerca del 5% cuando los buffers están impactados al 80-100%.

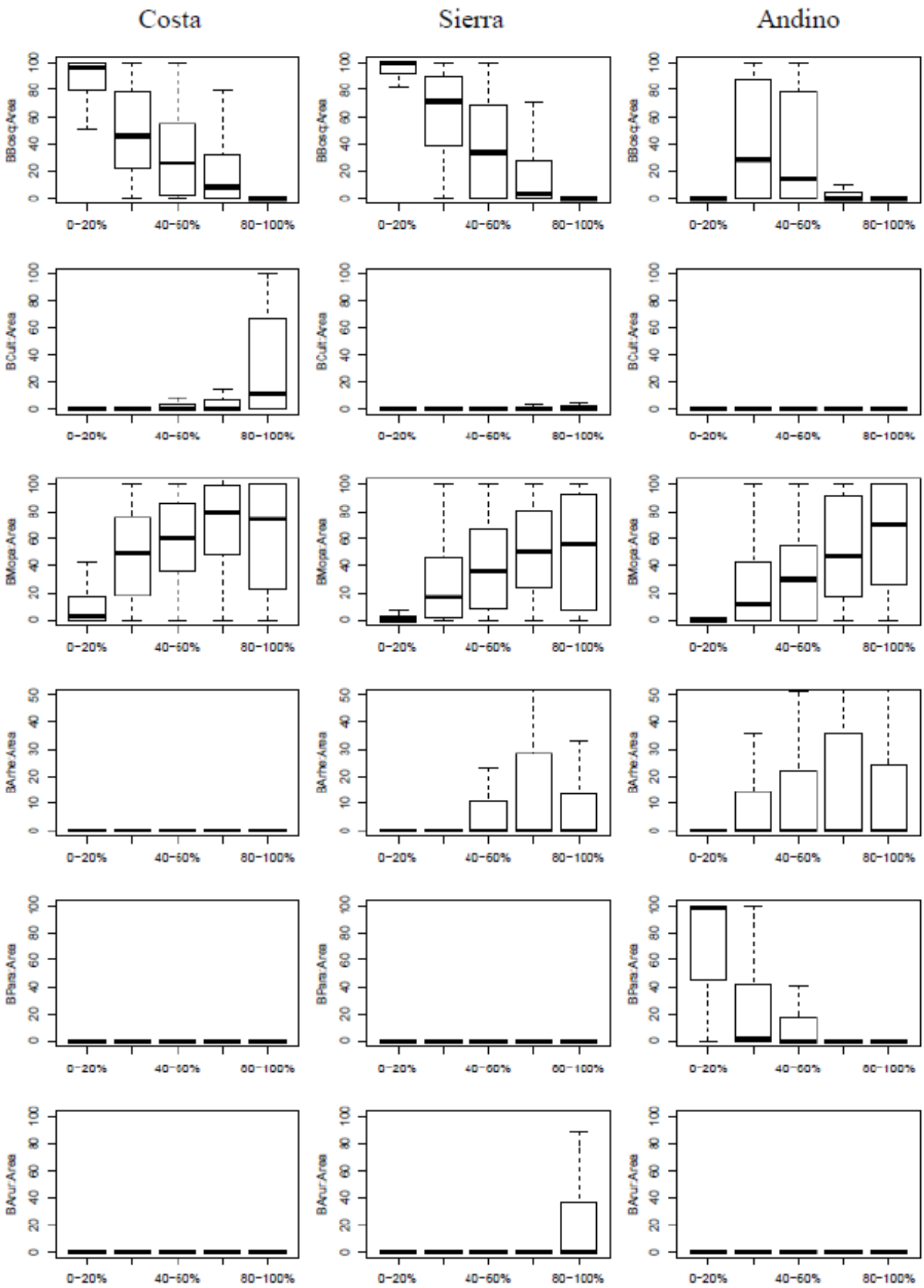


Figura 12 Usos del suelo en el buffer de orden 1 por elevación. La abscisa de las x corresponde al % de área impactada.

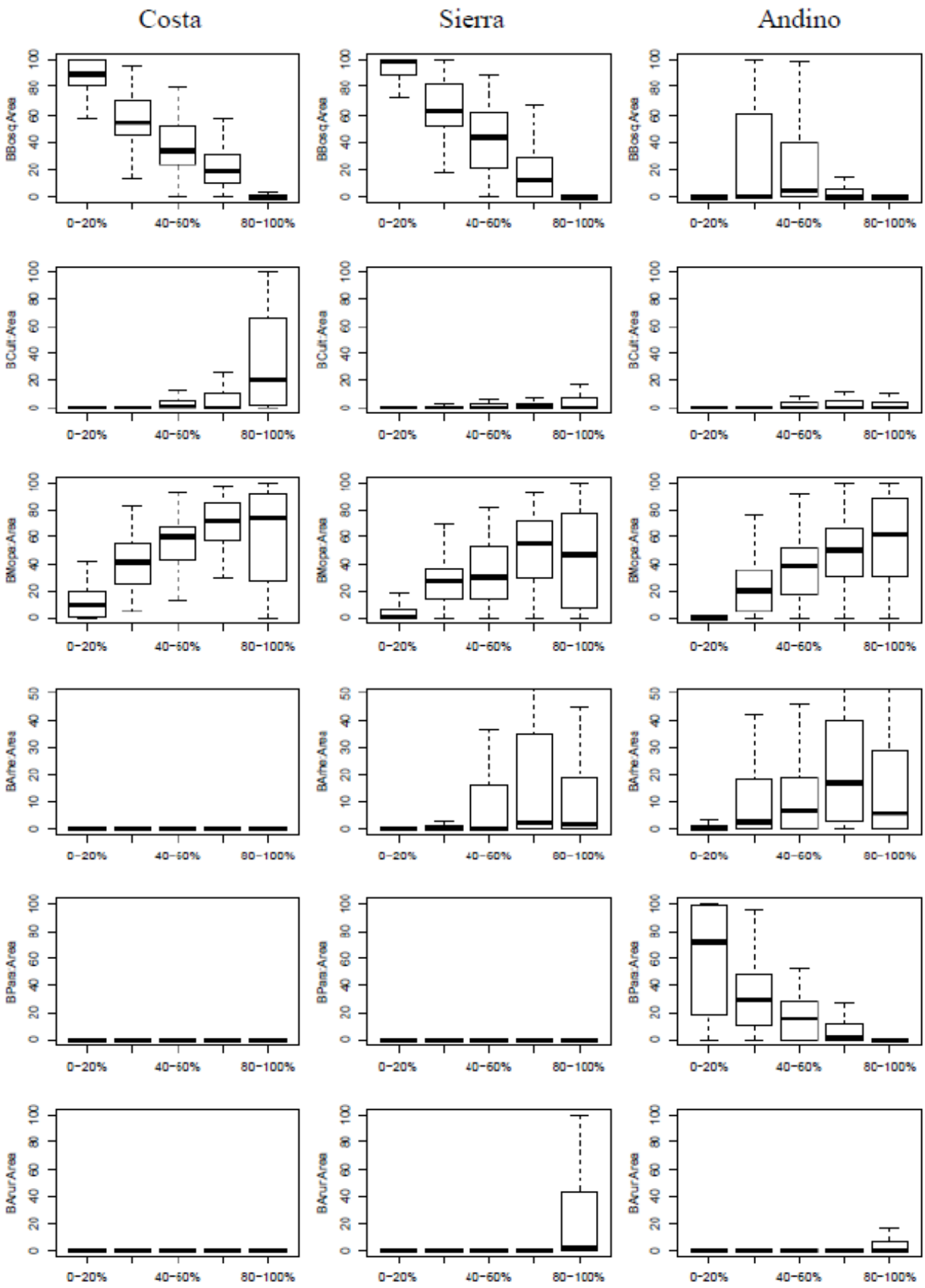


Figura 13 Usos del suelo en el buffer de orden 2 por elevación. La abscisa de las x corresponde al % de área impactada.

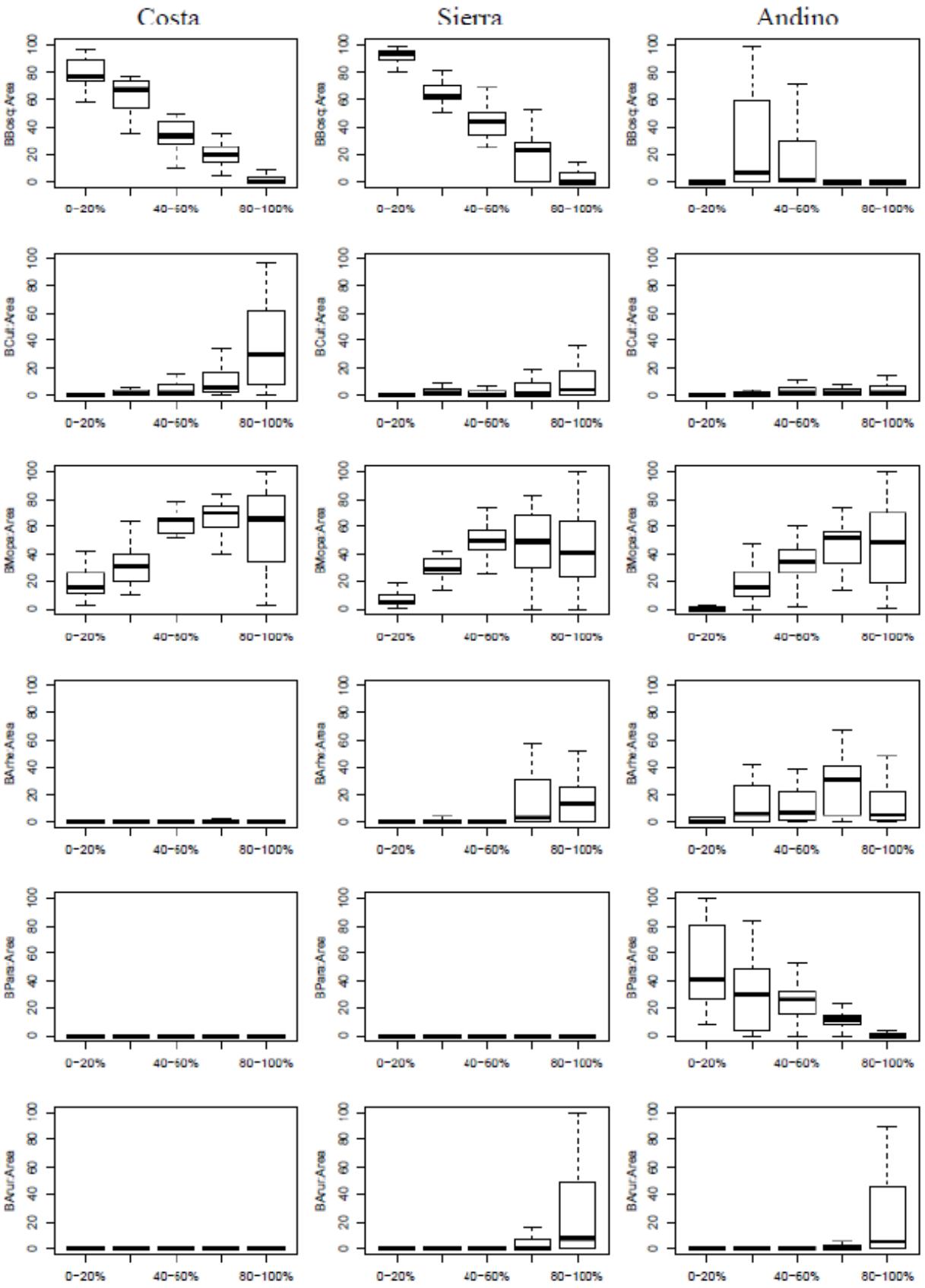


Figura 14 Usos del suelo en el buffer de orden 3 por elevación. La abscisa de las x corresponde al % de área impactada.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

Los hallazgos obtenidos permiten constatar que los diferentes usos del suelo han alterado significativamente la vegetación de la cuenca del río Esmeraldas, tanto en las zonas ribereñas como en la cuenca en general, la misma que guarda una estrecha relación en la calidad del agua de sus ríos, provocando un deterioro de los recursos hídricos. En la cuenca de Esmeraldas aproximadamente el 20% de su ecosistema boscoso aún se conserva, pues en general mientras la cuenca está impactada al 60-80% se observa el 20% de áreas cubiertas por bosques, mientras que cuando la cuenca está impactada en el rango 80-100% ya no se observan áreas boscosas en las diferentes cuencas de todos los órdenes, siendo transformadas en otros usos, dado que en este rango empiezan a aparecer, cultivos, actividades pecuarias, pastizales, y en menor proporción, las áreas urbanas. Mayoritariamente se observa un incremento significativo de los pastizales, concordando con Armenteras[47] pues según su investigación en Latinoamérica obtuvo que la mayoría de la deforestación ocurre en zonas con bajas densidades de población y con bajos manejos de propiedades, habiendo un incremento de pastizales en Ecuador y aumentando la deforestación del país en estas zonas, además la ganadería y la producción agrícola han contribuido en el aumento de los pastizales.

Las zonas de ribera se deterioran más rápido que el resto de la cuenca de drenaje, puesto que cuando hay un impacto entre el 20-40% los bosques se mantienen en un 70% respecto al área total de diferentes cuencas, mientras que en la zona riparia en el mismo rango de impacto hay 40% de bosque, y de la misma manera se reduce conforme avanza el grado de impacto, mostrando menos bosque en las zonas de ribera, conforme el bosque se va perdiendo otros usos del suelo empiezan a aparecer, los cultivos y los pastizales son uno de ellos, provocando que la calidad de los ríos cercanos a estos empiecen a deteriorarse. Meli & Carrasco[25] afirman que cuando el bosque de ribera se altera como resultado de una actividad humana, como por ejemplo la transformación del suelo en grandes extensiones agropecuarias, imposibilita la capacidad de regenerar sus recursos y sin su vegetación natural, los recursos hídricos empiezan a degradarse más rápido e incluso afectan a la fauna acuática. La razón por la que los bosques de la cuenca del río Esmeraldas disminuyen sus áreas, se debe a que la cuenca está sometida a grandes presiones de deforestación, por las actividades agrícolas o pecuarias realizadas, de tal forma que sus áreas boscosas disminuyen notoriamente puesto que Esmeraldas pierde

12.000 ha/año y Manabí 6.100 ha/año, las cuales son dos de las provincias que conforman la cuenca estudiada, siendo los pastizales la principal causa de transformación, cambiando el 65% de las áreas de los bosques del Ecuador, según Renato[48],lo cual concuerda con los hallazgos de esta investigación, ya que los pastizales fueron los que mayoritariamente aparecían conforme disminuía el porcentaje de bosque, tanto en el buffer como en la cuenca. Según la FAO[49] en los años de 1990 Ecuador poseía aproximadamente 14.7 millones de hectáreas de bosque, en ese mismo año la tierra agropecuaria tenía 6.3 millones de hectáreas, para el 2014 los bosques ya habían disminuido cerca de 2 millones de hectáreas mientras que la tierra agropecuaria subió en la misma proporción con la que los bosques bajaron. Los ecosistemas de páramo que son muy frágiles, empiezan a deteriorarse también debido a la población que habita en esas zonas, que en muchas ocasiones son pobres, y se ven obligados a utilizar los páramos para fines agropecuarios, afectando a las fuentes hídricas de aguas abajo y a las personas que utilizan esta fuente de agua, lo que indica que los sectores de paramo están siendo transformados en cultivos y zonas ganaderas según Vásconez & Hosftede[50], que se puede constatar con el presente trabajo, ya que cuando los cultivos empiezan a aparecer a partir del rango 60-80% de impacto tanto en las zonas riparias como en la cuenca en general, el páramo ya no aparece en estos rangos de impacto.

Los bosques de la cuenca de Esmeraldas empiezan a deteriorarse más rápido en la región costa y luego en la sierra lo cual concuerda con Sierra[23] puesto que determinó que hasta el 2008 se habían deforestado 14.900 hectáreas de bosque en la región sierra-andina, mientras que en la costa, hasta el mismo año fueron deforestadas 31.200 hectáreas de bosque. Los porcentajes de cultivo observados en el estudio, demuestran que tienen cambios diferentes respecto a cada región, y que el crecimiento de estos es mucho mayor en la costa, seguido de la región sierra y en menor proporción en la región andina, aunque, Pascual[51] en un estudio referente al sector agrario de Ecuador obtuvo, que la mayor producción de cultivos se encuentra en la sierra-andina, debido a que en ésta región se genera el 69% de la producción de cultivos, mientras que la costa presentaba el 64% de la producción de cultivos, sin embargo el INEC[52] establece que la región costa es la que más hectáreas de cultivos ha destinado, en cuanto a espacio se refiere, de acuerdo a sus resultados obtenidos de censos de la cantidad de hectáreas que se dedican en cada región dividida por provincia.

Los usos del suelo en zonas de ribera cambian de forma distinta a la cuenca en general, la región andina por no poseer mucho bosque empieza a desaparecer primero, pero en los buffers se empieza a deteriorar más rápido en la costa y por último en la sierra. Los resultados mostraron que mientras se va perdiendo el bosque de ribera, usos como los cultivos y ganaderos empiezan a aparecer, ocupando su lugar, y que entre ellos hay diferencias en cada región dependiendo de su grado de alteración o impacto. Lo que genera un desbalance en los recursos hídricos, volviéndolos menos aprovechables, pues la extensión agropecuaria en las zonas de ribera empeora la integridad ecológica con la que cuentan los ríos e incluso acelera los procesos de erosión de los suelos cercanos a las orillas según Carricarte, Jimenez, Pincay & Manrrique[53], que realizaron un estudio de las causas por las que la vegetación de ribera se empiezan a perder en un cauce fluvial ubicado en Cuba con el nombre de "Río Santa Cruz", obteniendo que el 100% de sus entrevistados en las zonas de ribera empezaron a expandir sus predios agrícolas para poder tener un sustento económico con el que puedan mantener a sus familiares, determinando que menos del 50% de las áreas de esta zona están cubiertas con vegetación, por tanto es evidente la fragmentación que ha ocurrido en la zona debido a las fuertes expansiones agrícolas que ha recibido este sector.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

- Los cambios de los usos del suelo han alterado gran parte de la cobertura vegetal de la cuenca del río Esmeraldas, los resultados mostraron que mientras más grado de alteración posea una cuenca de cualquier orden, se verá en mayor proporción los pastizales.
- La vegetación potencial de las zonas de ribera en la cuenca del río Esmeraldas, están disminuyendo rápidamente conforme crecen actividades agropecuarias aledañas a la zona, puesto que transforman las zonas boscosas en pastizales, lo que produce el deterioro de varios componentes ambientales como el suelo y la vegetación potencial.
- Los bosques de los buffers suelen perderse más rápido que en la cuenca, lo que significa que los cambios en los usos del suelo afectan más estas zonas, antes que a toda la cuenca en general, en cualquier orden, debido a que las actividades agropecuarias deterioran más rápido a la zona riparia.
- Las actividades agropecuarias tienden a tener un impacto distinto dependiendo de la región en donde se encuentre, de modo que en la costa se evidencia un mayor crecimiento respecto a la sierra y a la región andina, además es uno de los usos que apenas con un bajo grado de alteración en la cuenca ya se empieza a evidenciar.
- Los páramos están siendo alterados, los cultivos y la ganadería están afectando a este ecosistema, en donde varias cuencas han perdido por completo sus áreas de páramo, y la zona riparia está siendo mayormente afectada, dado que se pierde más rápido allí que en la cuenca en general, puesto que, según los resultados la cuenca en general conserva mayores porcentajes de páramo que la zona riparia.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

- Se sugiere establecer medidas de protección para las zonas de ribera, pues están deteriorándose muy rápido, estas medidas pueden ser planes de restauración ecológica, sabiendo que la vegetación y el suelo son los componentes en los que se debe enfocar dicha restauración, se podrían hacer corredores ecológicos en donde varios animales podrían dispersar semillas, además se podría colocar plantas autóctonas de la zona a restaurar la vegetación que antes había, con el fin de prevenir déficits en los procesos ecológicos vitales para mantener una buena calidad de los recursos hídricos de la cuenca del río Esmeraldas
- Se recomienda formar planes que sean una alternativa para las personas que no tienen un sustento económico sólido para mantener a sus familias, debido a la fuerte expansión que ha tenido el sector agropecuario, sería factible incentivar a las personas dedicadas a esta actividad a que se unan a un ecoturismo, por ejemplo, haciendo tours dentro de su zona de confort, mostrando las bellezas paisajísticas de la cuenca.
- Es recomendable que se realicen sistemas agroforestales en las zonas donde se realizan actividades agropecuarias, puesto que la asociación de especies leñosas en conjunto a estas actividades, ayudan a disminuir los efectos negativos la producción agropecuaria, en cuanto a la calidad del ambiente se refiere. Siendo el principal objetivo de estos sistemas, el de reciclar nutrientes y aumentar la materia orgánica el suelo.
- Es recomendable que se realicen investigaciones que puedan propiciar una mejor fuente de información para caracterizar los diferentes usos del suelo, de manera que los estudios espaciales que se realicen sean lo más confiable posible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguayo M. Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX . Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. Rev Chil Hist Nat. 2009;(82):361–74.

2. Bocco G, Mendoza M, Masera O. La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán: Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. Investig Geográficas [Internet]. 2001;44:18–36. Available from: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112001000100003&lng=es&nrm=iso

3. Bernal Gomez G. X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo LA MICROBIOLOGIA DE SUELOS EN EL ECUADOR : X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. X Congr Ecuatoriano la Cienc del Suelo. 2006;1–12.

4. FAO. El Estado de los bosques del mundo 2016. Los bosques y la agricultura: desafíos y oportunidades en relación con el uso de la tierra. 2016. 115 p.

5. Cordero Camacho D. Esquemas de pagos por servicios ambientales para la conservación de cuencas hidrográficas en el Ecuador. Investig Agrar Sist y Recur For [Internet]. 2008;17(1):54–66. Available from: http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-64749117070&partnerID=tZOtx3y1

6. Eckhardt K, Frede H. Hydrologic Response to Land Use Changes on the Catchment Scale. Phys Chem Earth. 2001;26(7):577–82.

7. Allan JD. Landscapes and Riverscapes : The Influence of Land Use on Stream Ecosystems Author (s): J . David Allan Published by : Annual Reviews Stable URL : http://www.jstor.org/stable/30034117 REFERENCES Linked references are available on JSTOR for this article . 2016;35(2004):257–84.

8. González S. Contaminación difusa de las aguas. Inia - Tierra adentro [Internet]. 2007;Noviembre(figura 2):21–5. Available from: d:%5CRICCLISA%5C2016%5CReferencias

9. Estupiñán LH, Gómez JE, Barrantes VJ, Limas LF. Las Características Del Suelo

En El Páramo El Granizo (Cundinamarca -Colombia). Rev UDCA Actual y Divulg Científica. 2009;12(2):79–89.

10. Flavio P. Contaminación y eutrofización del agua. Virtual Pro2. 2010. 37 p.

11. Blanco-Garrido, López-Albacete, Herrera-Grao, Más M, Martínez. RELACIÓN ENTRE VEGETACIÓN RIPARIA Y CAUDALES: RESULTADOS PRELIMINARES EN TRAMOS FLUVIALES DEL SUR DE ESPAÑA. Blanco-Garrido, F., * López-Albacete, I., * Herrera-Grao, A., * Magdaleno Más, F., ** Martínez, R. **. 2003;

12. GADPE. Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la provincia de Esmeraldas 2015-2025. 2015;170. Available from: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0860000160001_PDOT ACTUALIZACIÓN 2015_18-08-2015_12-32-18.pdf

13. GADPE. Plan De Desarrollo Y Ordenamiento. 2012;2025.

14. GADPP. Zonificación propuesta : Pichincha 2020. 2015;50.

15. SNI. Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la provincia de Loja. 2015;306. Available from: http://app.sni.gob.ec/visorseguimiento/DescargaGAD/data/sigadplusdiagnostico/1160000160001_Diagn?stico15052015_15-05-2015_14-16-18.pdf%5Cnhttp://app.sni.gob.ec/visorseguimiento/DescargaGAD/data/sigadplusdiagnostico/1160000160001_Diagn?stico15052015_15-05-

16. GADMST. Plan de ordenamiento territorial de Santo Domingo. 2015;245.

17. INEC. Reporte Estadístico el Sector Agropecuario. 2011;1–49. Available from: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Presentaciones/espac_2010.pdf

18. INEC. Compendio Estadistico 2014. Compend Estad 2014. 2013;53(9):1689–99.

19. MAE. Sistema Nacional De Control Forestal. 2013;(593 2):60. Available from: http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/07/CONTROL-FORESTAL.pdf

20. Americano C. América Latina lidera la tasa de deforestación a escala global.

2014;1–10.

21. Swenson, J.J, Farley, K, Palacios, W. L-S. Estudio sobre Clasificación y Uso de Suelo ; Región de Chocó , Ecuador Consolidación de la Tenencia de la Tierra United Nations Development Programme. 1998;141.

22. Valencia et.al. Cambios de uso del suelo en cuencas alto andinas y consecuencias en la oferta hídrica . Caso de estudio microcuenca del río Blanco , páramos del Nevado Cayambe ,. 2014;34(1):1–9.

23. Sierra R. Patrones y factores de deforestación en el Ecuador continental, 1990-2010. Y un acercamiento a los próximos 10 años. 2013;51. Available from: http://www.forest-trends.org/documents/files/doc_3396.pdf

24. SIISE. VENTANA REGIONAL DE LA REGION DE CHOTA MIRA. :1–13.

25. Meli P, Carrasco V. Restauración ecológica de riberas. Manual para la recuperación de la vegetación ribereña en arroyos de la selva Lacandona. 2011. 1-62 p.

26. Alaniz AJ. Análisis De Los Cambios En La Cobertura De Los Ecosistemas De La Zona Central De Chile. 2014;136.

27. Martinez T. Vegetacion de Ribera del Rio Henares en la Comunidad de Madrid. 2000. 114 p.

28. Montoya R, García J, Padilla J. Utilización de un SIG para la determinación del impacto ambiental generado por actividades agrícolas, ganaderas e industriales: el caso del valle de Zapotitlán en la Reserva de la Biósfera de Tahuacán, Cuicatlán. Boletín la AGEN. 2004;38:115–29.

29. Velásquez H. Los Sistema De Informacion Geografica Sig Como Herramientas De Apoyo Al Estudio De Los Recursos Naturales Y La Planificacion. 2015;1–5. Available from: http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/6-Los-SIG-como-herramientas-de-apoyo-Velasquez-H1.pdf

30. IGAC. Mejora De Los Sistemas De Cartografía Del Territorio Colombiano. Mejor los Sist Cartogr del Territ Colomb. 2007;43.

31. INEGI. Sistema de información geográfica. Inst Nac Estad y Geogr. 2014;60.

32. Felicísimo A. Modelos digitales del terreno: introducción y aplicaciones a las ciencias ambientales. Oviedo Univ Oviedo [Internet]. 1994;118. Available from: http://www.etsimo.uniovi.es/~feli

33. Felicísimo A. La utilización de los MDT en los estudios del medio físico. 150 aniversario la creación del Inst Tecnológico [Internet]. 1999; Available from: http://www6.uniovi.es/~feli/pdf/ITGE_150a.pdf

34. Romero F, Cozano M, Rodrigo G, Naulin P. Zonas ribereñas: protección, restauración y contexto legal en Chile. Bosque (Valdivia). 2014;35(1):1–2.

35. Arcila Garrido M, Fernández Enríquez A. El uso de los SIG para el análisis de la relación entre vegetación potencial y poblamiento histórico en la provincia de Cádiz. Rev Int Cienc y Tecnol la Inf Geográfica. 2015;16:205–30.

36. Blois JL, Williams JW, Fitzpatrick MC, Jackson ST, Ferrier S. Space can substitute for time in predicting climate-change effects on biodiversity. Proc Natl Acad Sci [Internet]. 2013;110(23):9374–9. Available from: http://www.pnas.org/lookup/doi/10.1073/pnas.1220228110

37. Kappes H, Sundermann A, Haase P. High spatial variability biases the space-for-time approach in environmental monitoring. Ecol Indic [Internet]. 2010;10(6):1202–5. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.03.012

38. Alicia H-G, Rosario R-R, Fabio Vladimir S-C. Cambios en el uso del suelo asociados a la expansión urbana y la planeación en el corregimiento de Pasquilla, zona rural de Bogotá (Colombia) / Changes in Land Use Associated with Urban Expansion and Territorial Planning in Pasquilla, A Rural Area to the. Cuad Geogr - Rev Colomb Geogr VO - 22 [Internet]. 2013;22(2):257. Available from: http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edssci&AN=edssci.S0121.215X2013000200014&lang=es&site=eds-live

39. Pineda Jaimes NB, Bosque Sendra J, Gómez Delgado M, Plata Rocha W. Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes: Una aproximación a los procesos de deforestación. Investig geográficas [Internet]. 2009;69(69):33–

52. Available from: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112009000200004&lng=es&nrm=iso&tlng=es

40. Candela L, Tamoh K, Olivares G, Gomez M, Valdes-Abellan J. Efectos del cambio climático y usos del suelo sobre los recursos hídricos de la cuenca del río Tordera (Barcelona, España). Aqua-LAC Rev del Programa Hidrológico Int para América Lat y el Caribe. 2015;7(13):1–10.

41. Rosas L. Propuesta de Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas de la Cuenca del Río Esmeraldas, Escala 1:50 000, por el Método de Pfafstetter, Mediante el Uso de Sistemas de Información Geográfica. 2011;14.

42. Romero B, Gaspari F, Rodríguez A, Carrillo F, Téllez J. Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México. 2006;14(36):39–47. Available from: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67403608

43. Sarria FA. Sistemas de Información Geográfica. Univ Murcia. 2006;239.

44. Esquivel G, Bueno P, Sánchez I, Velásquez M, Muñoz J. Delimitacion y analisis morfometrico de tres cuencas del Norte-Centro de Mexico. Agrofaz. 2015;151–61.

45. LPDAAC. The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Collection User Guide. 2015;1–17.

46. MAE-MAGAP. Protocolo metodológico para la elaboración del Mapa de cobertura y uso de la tierra del Ecuador continental 2013 – 2014, escala 1:100.000. 2015;1–49.

47. Armenteras D. DINÁMICAS Y CAUSAS DE DEFORESTACIÓN EN BOSQUES DE LATINO AMÉRICA: UNA REVISIÓN DESDE 1990 Forest deforestation dynamics and drivers in Latin America: a review since 1990. Colomb For [Internet]. 2014;17(2):233–46. Available from: http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2014.2.a07

48. Renato P. Universidad Andina Simón Bolívar Sede Ecuador Área de Estudios Sociales y Globales Programa de Maestría en Cambio Climático y Negociación Ambiental Bosques y cambio climático en Ecuador : el regente forestal como actor clave en la mitigación del cambio cl. 2017;

49. FAO. EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS FORESTALES MUNDIALES 2015 Informe nacional. 2015;

50. Vásconez PM, Hofstede R. Los páramos ecuatorianos. 2006;

51. Pascual FG. El sector agrario del Ecuador: incertidumbres (riesgos) ante la globalización. 2005;71–88.

52. INEC. Reporte estadístico del SECTOR AGROPECUARIO. 2011;

53. Rodríguez FC, González AJ, Santoyo P, Mercedes M, Pilay P, Manrique TO. actividad agropecuaria sobre la vegetación de ribera del río Santa. 2016;4(2).

ANEXOS

Tabla 3 ANOVAS de los usos del suelo respecto al buffer y la cuenca.

	Factor	F	*p*	Comparaciones múltiples
% Bosque	Orden	$F_{3,13360} = 6.80$	$p < 0.001$	3^{a} $4^{a,b}$ $2^{a,b}$ 1^{b}
	Impacto	$F_{4,13356} = 3189$	$p < 0.001$	100^{a} 80^{b} 60^{c} 40^{d} 20^{e}
	Zona	$F_{1,13355} = 24.73$	$p < 0.001$	ripario^{a} cuenca^{b}
	Orden x Impacto	$F_{12,13343} = 1.68$	*n. s.*	
	Orden x Zona	$F_{3,13340} = 0.03$	*n. s.*	
	Impacto x Zona	$F_{4,13336} = 2.27$	*n. s.*	
	Orden x Impacto x Zona	$F_{12,13324} = 0.44$	*n. s.*	
% Cultivos	Orden	$F_{3,13360} = 0.63$	*n. s.*	
	Impacto	$F_{4,13356} = 992$	$p < 0.001$	20^{a} $40^{a,b}$ $60^{a,b}$ $80^{a,b}$ 100^{d}
	Zona	$F_{1,13355} = 0.83$	*n. s.*	
	Orden x Impacto	$F_{12,13343} = 0.15$	*n. s.*	
	Orden x Zona	$F_{3,13340} = 0.01$	*n. s.*	
	Impacto x Zona	$F_{4,13336} = 1.53$	*n. s.*	
	Orden x Impacto x Zona	$F_{12,13324} = 0.07$	*n. s.*	
% Pastizal	Orden	$F_{3,13360} = 6{,}80$	$P < 0.001$	3^{a} $2^{a,b}$ 1 $^{a,b}4^{b}$
	Impacto	$F_{4,13356} = 3189$	$P < 0.001$	20^{a} 40^{b} 60^{c} 80^{d} 100^{e}
	Zona	$F_{1,13355} = 24.73$	$P < 0.001$	Cuenca^{a} ripario^{b}
	Orden x Impacto	$F_{12,13343} = 1.68$	*n. s.*	
	Orden x Zona	$F_{3,13340} = 0.03$	*n. s.*	
	Impacto x Zona	$F_{4,13336} = 2.27$	*n. s.*	
	Orden x Impacto x Zona	$F_{12,13324} = 0.44$	*n. s.*	
%V. Herbácea	Orden	$F_{3,13360} = 1{,}84$	*n.s*	
	Impacto	$F_{4,13356} = 57.84$	$P < 0.001$	20^{a} 100^{b} $40^{b,c}$ 60^{c} 80^{c}
	Zona	$F_{1,13355} = 43.14$	$P < 0.001$	Cuenca^{a} ripario^{b}
	Orden x Impacto	$F_{12,13343} = 0.74$	*n. s.*	
	Orden x Zona	$F_{3,13340} = 0.10$	*n. s.*	
	Impacto x Zona	$F_{4,13336} = 0.64$	*n. s.*	
	Orden x Impacto x Zona	$F_{12,13324} = 0.17$	*n. s.*	
%Paramo	Orden	$F_{3,13360} = 1.27$	*n. s.*	
	Impacto	$F_{4,13356} = 576$	$P < 0.001$	100^{a} 80^{b} 60^{b} 40^{c} 20^{d}
	Zona	$F_{1,13355} = 70.59$	$P < 0.001$	Ripario^{a} cuenca^{b}
	Orden x Impacto	$F_{12,13343} = 3.04$	$P < 0.001$	
	Orden x Zona	$F_{3,13340} = 0.14$	*n. s.*	
	Impacto x Zona	$F_{4,13336} = 11.49$	$P < 0.001$	
	Orden x Impacto x Zona	$F_{12,13324} = 0.44$	*n. s.*	
%Area urbana	Orden	$F_{3,13357} = 5.79$	$P < 0.001$	1^{a} $4^{a,b}$ $2^{a,b}$ 3^{b}
	Impacto	$F_{4,13353} = 166$	$P < 0.001$	20^{a} 40^{a} 60^{a} 80^{a} 100^{b}
	Zona	$F_{1,13352} = 7.51$	*n. s.*	
	Orden x Impacto	$F_{12,13340} = 0.79$	*n. s.*	
	Orden x Zona	$F_{3,13337} = 0.05$	*n. s.*	
	Impacto x Zona	$F_{4,13333} = 0.76$	*n. s.*	
	Orden x Impacto x Zona	$F_{12,13321} = 0.08$	*n. s.*	

Tabla 4 ANOVAS de los usos del suelo en la cuenca respecto a la elevación.

	Factor	F	*p*	Comparaciones múltiples
% Bosque	Orden	$F_{2,6605} = 8.87$	$p < 0.001$	3^{a} $2^{a,b}$ 1^{b}
	Impacto	$F_{4,6601} = 2869$	$p < 0.001$	100^{a} 80^{b} 60^{c} 40^{d} 20^{e}
	Tipo	$F_{2,6599} = 1865$	$p < 0.001$	Andino^{a} costa^{b} sierra^{b}
	Orden x Impacto	$F_{8,6591} = 1.89$	*n. s.*	
	Orden x Tipo	$F_{4,6587} = 0.47$	*n. s.*	
	Impacto x Tipo	$F_{8,6579} = 150$	$P < 0.001$	
	Orden x Impacto x Tipo	$F_{16,6563} = 1.17$	*n. s.*	
% Cultivos	Orden	$F_{2,6605} = 0.21$	*n. s.*	
	Impacto	$F_{4,6601} = 748$	$p < 0.001$	20^{a} $40^{a,b}$ 60^{b} 80^{c} 100^{d}
	Tipo	$F_{2,6599} = 517$	$p < 0.001$	Andino^{a} sierra^{a,b} costa^{b}
	Orden x Impacto	$F_{8,6591} = 0.10$	*n. s.*	
	Orden x Tipo	$F_{4,6587} = 0.29$	*n. s.*	
	Impacto x Tipo	$F_{8,6579} = 15.18$	$p < 0.001$	
	Orden x Impacto x Tipo	$F_{16,6563} = 0.15$	*n. s.*	
% Pastizal	Orden	$F_{2,6605} = 0.15$	*n. s.*	
	Impacto	$F_{4,6601} = 1560$	$P < 0.001$	20^{a} 40^{b} 60^{c} 80^{d} 100^{d}
	Tipo	$F_{2,6599} = 69.41$	$P < 0.001$	Andino^{a} sierra^{b} costa^{c}
	Orden x Impacto	$F_{8,6591} = 1.52$	*n. s.*	
	Orden x Tipo	$F_{4,6587} = 0.98$	*n. s.*	
	Impacto x Tipo	$F_{8,6579} = 22.27$	$P < 0.001$	
	Orden x Impacto x Tipo	$F_{16,6563} = 0.45$	*n. s.*	
%V. Herbácea	Orden	$F_{2,6605} = 1.35$	*n. s.*	
	Impacto	$F_{4,6601} = 54.72$	$P < 0.001$	20^{a} $100^{a,b}$ $40^{a,b}$ $60^{a,b}$ 80^{b}
	Tipo	$F_{2,6599} = 714$	$P < 0.001$	Costa^{a} andino^{a} sierra^{b}
	Orden x Impacto	$F_{8,6591} = 1.43$	*n. s.*	
	Orden x Tipo	$F_{4,6587} = 0.07$	*n. s.*	
	Impacto x Tipo	$F_{8,6579} = 3.74$	$P < 0.001$	
	Orden x Impacto x Tipo	$F_{16,6563} = 0.92$	*n. s.*	
%Paramo	Orden	$F_{2,3302} = 1{,}01$	*n. s.*	
	Impacto	$F_{4,3298} = 364$	$P < 0.001$	100^{a} $80^{a,b}$ $60^{a,b}$ $40^{a,b}$ 20^{b}
	Tipo	$F_{2,3297} = 5281$	$P < 0.001$	sierra^{a} andino^{b}
	Orden x Impacto	$F_{8,3289} = 1.71$	*n. s.*	
	Orden x Tipo	$F_{4,3287} = 6.69$	$P < 0.001$	
	Impacto x Tipo	$F_{8,3283} = 7.16$	$P < 0.001$	
	Orden x Impacto x Tipo	$F_{16,3275} = 0.24$	*n. s.*	
%Area urbana	Orden	$F_{2,6605} = 5.60$	$P < 0.001$	1^{a} $2^{a,b}$ 3^{b}
	Impacto	$F_{4,6601} = 128$	$P < 0.001$	20^{a} $40^{a,b}$ $60^{a,b}$ $80^{a,b}$ 100^{b}
	Tipo	$F_{2,6599} = 494$	$P < 0.001$	Costa^{a} sierra^{a,b} andino^{b}
	Orden x Impacto	$F_{8,6591} = 0.73$	*n. s.*	
	Orden x Tipo	$F_{4,6587} = 4.63$	$P < 0.001$	
	Impacto x Tipo	$F_{8,6579} = 1.58$	*n. s.*	
	Orden x Impacto x Tipo	$F_{16,6563} = 0.85$	*n. s.*	

Tabla 5 ANOVAS de los usos del suelo en la zona riparia respecto a la elevación.

	Factor	F	*p*	Comparaciones múltiples
% Bosque	Orden	$F_{2,6605} = 4.01$	*n. s.*	
	Impacto	$F_{4,6601} = 1387$	$p < 0.001$	100^{a} 80^{b} 60^{c} 40^{d} 20^{e}
	Tipo	$F_{2,6599} = 585$	$p < 0.001$	Andino^{a} costa^{b} sierra^{c}
	Orden x Impacto	$F_{8,6591} = 0.33$	*n. s.*	
	Orden x Tipo	$F_{4,6587} = 1.05$	*n. s.*	
	Impacto x Tipo	$F_{8,6579} = 84.69$	$P < 0.001$	
	Orden x Impacto x Tipo	$F_{16,6563} = 0.69$	*n. s.*	
% Cultivos	Orden	$F_{2,6605} = 0.20$	*n. s.*	
	Impacto	$F_{4,6601} = 448$	$p < 0.001$	20^{a} 40^{b} 60^{b} 80^{c} 100^{d}
	Tipo	$F_{2,6599} = 409$	$p < 0.001$	Andino^{a} sierra^{b} costa^{c}
	Orden x Impacto	$F_{8,6591} = 0.12$	*n. s.*	
	Orden x Tipo	$F_{4,6587} = 0.33$	*n. s.*	
	Impacto x Tipo	$F_{8,6579} = 6.67$	$p < 0.001$	
	Orden x Impacto x Tipo	$F_{16,6563} = 0.26$	*n. s.*	
% Pastizal	Orden	$F_{2,6603} = 0.48$	*n. s.*	
	Impacto	$F_{4,6599} = 689$	$P <0.001$	20^{a} 40^{b} 60^{b} 100^{c} 80^{d}
	Tipo	$F_{2,6589} = 86.70$	$P <0.001$	Sierra^{a} andino^{b} costa^{c}
	Orden x Impacto	$F_{8,6585} = 0.17$	*n. s.*	
	Orden x Tipo	$F_{4,6577} = 0.83$	*n. s.*	
	Impacto x Tipo	$F_{8,6561} = 10.94$	$P <0.001$	
	Orden x Impacto x Tipo	$F_{16,6563} = 0.40$	*n. s.*	
%V. Herbácea	Orden	$F_{2,6605} = 2.44$	*n.s*	
	Impacto	$F_{4,6601} = 35.53$	$P < 0.001$	20^{a} $100^{a,b}$ $40^{a,b}$ $60^{a,b}$ 80^{b}
	Tipo	$F_{2,6599} = 555$	$P < 0.001$	Costa^{a} sierra^{a,b} andino^{b}
	Orden x Impacto	$F_{8,6591} = 0.23$	*n. s.*	
	Orden x Tipo	$F_{4,6587} = 0.33$	*n. s.*	
	Impacto x Tipo	$F_{8,6579} = 0.74$	*n. s.*	
	Orden x Impacto x Tipo	$F_{16,6563} = 0.58$	*n. s.*	
%Paramo	Orden	$F_{2,6605} = 0.80$	*n. s.*	
	Impacto	$F_{4,6601} = 1346$	$P < 0.001$	100^{a} $80^{a,b}$ $60^{a,b}$ $40^{a,b}$ 20^{b}
	Tipo	$F_{2,6599} = 4232$	$P < 0.001$	Costa^{a} sierra^{a,b} andino^{b}
	Orden x Impacto	$F_{8,6591} = 11.12$	$P < 0.001$	
	Orden x Tipo	$F_{4,6587} = 2.38$	*n. s.*	
	Impacto x Tipo	$F_{8,6579} = 0.80$	*n. s.*	
	Orden x Impacto x Tipo	$F_{16,6563} = 0.05$	*n. s.*	
%Area urbana	Orden	$F_{2,6602} = 6.12$	$P < 0.001$	1^{a} 2^{b} 3^{c}
	Impacto	$F_{4,6698} = 102.66$	$P < 0.001$	20^{a} $40^{a,b}$ $60^{a,b}$ $80^{a,b}$ 100^{b}
	Tipo	$F_{2,6596} = 398$	$P < 0.001$	Costa^{a} andino^{a,b} sierra^{b}
	Orden x Impacto	$F_{8,6588} = 0.93$	*n. s.*	
	Orden x Tipo	$F_{4,6584} = 3.23$	*n. s.*	
	Impacto x Tipo	$F_{8,6576} = 0.78$	*n. s.*	
	Orden x Impacto x Tipo	$F_{16,6560} = 0.75$	*n. s.*	