UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

CÁLCULO DE INDICADORES DE ESTRUCTURA DE PAISAJE UTILIZANDO EL SOFTWARE FRAGSTATS Y ESTRATEGIAS DE MEJORA DE CONECTIVIDAD Y PATRONES DE FRAGMENTACIÓN EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero Ambiental

AUTOR: BRYAN ALEXANDER MARTÍNEZ CORDERO

TUTOR: JUAN GABRIEL MOLLOCANA LARA

Quito - Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Bryan Alexander Martínez Cordero con documento de identificación Nº 1726160656 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 12 de septiembre del año 2022

Atentamente,

_____

Bryan Alexander Martínez Cordero
1726160656

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Bryan Alexander Martínez Cordero con documento de identificación No. 1726160656, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Trabajo Experimental: "Cálculo De Indicadores De Estructura De Paisaje Utilizando El Software Fragstats y Estrategias De Mejora De Conectividad y Patrones De Fragmentación En El Distrito Metropolitano De Quito", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 12 de septiembre del año 2022

Atentamente,

_____

Bryan Alexander Martínez Cordero
1726160656

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Juan Gabriel Mollocana Lara con documento de identificación Nº 1721700647, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: CÁLCULO DE INDICADORES DE ESTRUCTURA DE PAISAJE UTILIZANDO EL SOFTWARE FRAGSTATS Y ESTRATEGIAS DE MEJORA DE CONECTIVIDAD Y PATRONES DE FRAGMENTACIÓN EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO, realizado por Bryan Alexander Martínez Cordero con documento de identificación Nº 1726160656, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 12 de septiembre del año 2022

Atentamente,

Ing. Juan Gabriel Mollocana Lara M.Sc.
1721700647

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mi madre.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todos mis profesores de mi carrera universitaria, porque de todos ellos me llevo enseñanzas que van más allá de lo educativo.

Gracias a mi tutor, el Ing.: Juan Gabriel Mollocana Lara, por guiarme en este trabajo y darme las herramientas necesarias para la consecución del mismo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN ……...……xiii

ABSTRACT…….….xv

1. **INTRODUCCIÓN**……...1
   1.1 Delimitación Geográfica.....*4*
      1.1.1 *Descripción del Distrito Metropolitano de Quito* 4
      1.1.2 *Límites del Distrito Metropolitano de Quito*.....5
   1.2 Objetivos.....*6*
      1.2.1 *Objetivo General* 6
      1.2.2 *Objetivos Específicos* 6
2. **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**……7
   2.1 Ecología del Paisaje y Paisaje *7*
      2.*1.1 Fragmentación del Paisaje* 11
      2.1.2 *Conectividad de Paisaje*.....12
      2.1.3 Conectividad en Paisajes Urbanos 14
      2.1.4 *Paisaje y sus Elementos* 15
      2.1.5 *Permeabilidad del Paisaje* 17
      2.1.6 *Permeabilidad de la Matriz*.....17
      2.1.7 *Parche* 18
      2.1.8 *Corredor Biológico* 20
      2.1.9 *Matriz* 20
   2.2 Métrica de Paisaje.....*21*
      2.2.1 *Fragstats*.....22
      2.2.2 *Personificación de Paisaje*.....24
      2.2.3 *Reforestación*.....24
3. **MATERIALES Y MÉTODOS**…….25
   3.1 Materiales *26*
   3.2 Métodos *27*
      3.2.1 *Obtención de Geoinformación* 28
      3.2.2 *Elección de las Áreas de Potencial Intervención*.....28
4. **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**……...39
   4.1 Índice de Conectividad y Estructura del Paisaje *39*
   4.2 Índice de Fragmentación y Estructura del Paisaje.....*48*
      4.2.1 *Análisis Entre los Años 2014 – 2016* 58
      4.2.2 *Análisis Entre los Años 2016 – 2018* 58
   4.3 Cálculo de Índices en Zonas con Características de Potencial Intervención.....*59*
   4.4 Estrategia Para Mejorar la Estructura de Paisaje.....*63*
   4.5 Índices Nuevamente Calculados.....*63*
      4.5.1 *Conectividad*.....63
      4.5.2 *Fragmentación* 71
5. **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**……...74
   5.1 Conclusiones.....*74*

5.2 Recomendaciones *75*
6. **BIBLIOGRAFÍA**……...76
7. **ANEXOS**……82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Boundaries of DMQ* 5
Tabla 2 *Input data format*.....23
Tabla 3 *Instrumens that will help collect information* 27
Tabla 4 *Class descriptor – Table format*.....34
Tabla 5 *Meaning of the header*.....34
Tabla 6 *Description of the components of the equation*.....37
Tabla 7 *Table format for fragstats*.....39
Tabla 8 *ENN_AM index for three different years*.....47
Tabla 9 *Division between vegetation cover and anthropic use - 2014* 48
Tabla 10 *Division between vegetation cover and anthropic use - 2016* 51
Tabla 11 *Division between vegetation cover and anthropic use - 2018* 54
Tabla 12 *Table format for fragstats*.....60
Tabla 13 *Summary of index* 70
Tabla 14 *Division between vegetation cover and anthropic use with reforestation plan – 2016* 71
Tabla 15 *Division between vegetation cover and anthropic use with reforestation plan - 2018* 72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Different types of landscapes* 9
Figura 2 *Loss of connectivity of a region* 12
Figura 3 *Landscape connectivity* 14
Figura 4 *Landscape conceptualization* 16
Figura 5 *Mosaic rendering* 18
Figura 6 *Organisms and area quantification* 19
Figura 7 *Image formats accepted in the raster version of FRAGSTATS* 23
Figura 8 *Management Priority Areas* 29
Figura 9 *Definition of priority restoration areas* 30
Figura 10 *Steps to follow to determine the landscape structure and connectivity index in FRAGSTATS* 32
Figura 11 *Procedure for evaluating the rate of change in fragmentation patterns* 36
Figura 12 *Reclassified map – 2014* 40
Figura 13 *Connectivity index and landscape structure calculated in fragstats - 2014* 41
Figura 14 *Reclassified map – 2016* 43
Figura 15 *Connectivity index and landscape structure calculated in fragstats – 2016* 44
Figura 16 *Reclassified map – 2018* 45
Figura 17 *Connectivity index and landscape structure calculated in fragstats – 2018* 46
Figura 18 *Connectivity indicators values* 47
Figura 19 *Land cover and use status – 2014* 49
Figura 20 *Land Cover and Use - 2014* 50
Figura 22 *Land Cover and Use - 2016* 53
Figura 23 *Land cover and use status – 2018* 55
Figura 24 *Variation of coverage through the years* 56
Figura 25 *Land Cover and Use - 2018* 57
Figura 26 *Number of management priority areas* 59
Figura 27 *Reclassified map – Priority Areas* 61
Figura 28 *Connectivity index and landscape structure calculated in fragstats for priority areas* 62
Figura 29 *Recalculated map - 2016* 64

Figura 30 *Recalculated map - 2018* 65
Figura 31 *Recalculated map – Priority Areas*.....66
Figura 32 *Recalculated index - 2016* 67
Figura 33 *Recalculated index - 2018* 68
Figura 34 *Recalculated index – Priority Areas*.....69
Figura 35 *Connectivity indicators values – Recalculated*.....70
Figura 36 *Land cover and use status with reforestation plan – 2016*.....72
Figura 37 *Land cover and use status with reforestation plan – 2016*.....73

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 *Satellite image of the Metropolitan District of Quito*.....82

RESUMEN

Con el fin de conocer el estado paisajístico de un lugar, existen las denominadas métricas de paisaje, estas van a ayudar a cuantificar la existencia de vegetación natural, en este estudio, esas métricas fueron los índices de conectividad y fragmentación, ambos estructurales del paisaje. En este estudio, la zona de aplicación fue el DMQ, para lo cual se utilizó geoinformación sobre la cobertura y uso de la tierra disponible en instituciones gubernamentales. Para calcular el índice de conectividad se hizo uso del software fragstats, y se analizaron los mapas de tres años diferentes, estos fueron el 2014, 2016 y 2018, además se tuvieron que reclasificar las clases, de modo que se genere un mapa binario, quedando solo dos tipos de información, vegetación remanente y uso antrópico, con estos mapas listos, lo siguiente fue generarlos con la extensión GeoTIFF, debido a que este es uno de los formatos aceptados por fragstats, luego, para el cálculo del índice de fragmentación se necesitan los datos de dos años diferentes, por lo que su análisis se realizó sobre los años 2014-2016 y 2016-2018, para ello se utilizó la fórmula que examina el cambio anual en la longitud de borde entre áreas intervenidas y vegetación remanente, los pasos para calcular los dos índices se encuentran en la ¨Propuesta de Indicadores Nacionales de Biodiversidad¨ propuesto por el Ministerio del Ambiente. A nivel Distrital, existen 8502 zonas consideradas prioritarias de restauración, por lo que todas estas fueron consideradas para volver a determinar los índices en base a sus características de paisaje. Los cálculos de los índices se obtuvieron con el fin de aplicar una estrategia de mitigación que les permita mejorar, es así que el análisis de dicha estrategia, determinaron que el índice de conectividad para el año 2014 fue de 57,7731 m, para el año 2016 de 62,8733 m y para el año 2018 su valor es 63,0734 m, en cambio el estudio del índice de fragmentación estableció que para el período examinado entre el 2014 – 2016, el valor que es obtuvo fue de -1,26079137, mientras que para los años 2016 – 2017, fue de 0,01320113.

Palabras Clave: conectividad, fragmentación, fragstats, mitigación, paisaje

ABSTRACT

In order to know the landscape condition of a place, there are the so-called landscape metrics, these will help to quantify the existence of natural vegetation, in this study, these metrics were the connectivity and fragmentation indexes, both structural of the landscape. In this study, the area of application was the Metropolitan District of Quito, for which geoinformation on land cover and land use available in governmental institutions was used. To calculate the connectivity index, use was made of fragstats software, and the maps were analyzed three different years, these were 2014, 2016 and 2018, also the classes had to be reclassified, so that a binary map was generated, that is, only two types of information were left, in this case, they were remnant vegetation and anthropic use, with these maps ready, the next thing was to generate them with the GeoTIFF extension, because this is one of the formats accepted by fragstats, then, for the calculation of the fragmentation index, data from two different years are needed, so its analysis was performed on the years 2014-2016 and 2016-2018, for this the formula that examines the annual change in the length of edge between intervened areas and remaining vegetation was used, the steps to calculate the two indexes are found in the "Proposal of National Biodiversity Indicators" proposed by the Ministry of Environment. At the district level, there are 8502 areas considered priority areas for restoration, so all of these were considered for redetermining the indices based on their landscape characteristics. The calculations of the indexes were obtained in order to apply a mitigation strategy that allows them to improve, this is how the analysis without implementing such strategy, determined that the connectivity index for the year 2014 was 57.7731 m, for the year 2016 was 62, 8733 m and for the year 2018 its value is 63.0734 m, on the other hand the study of the fragmentation index established that for the period examined between 2014 - 2016, the value that is obtained was -1.26079137, while for the years 2016 - 2017, it was 0.01320113.

Keys words: connectivity, fragmentation, fragstats, mitigation, landscape

1. INTRODUCCIÓN

La acción antropogénica y los usos indebidos de la tierra, añadiendo las transformaciones que la cobertura terrestre ha sufrido desde hace años, ha causado un desequilibrio global de biodiversidad (Mimet et al., 2013). Mientras disminuye la capacidad metapoblacional de un paisaje, muchas especies llegarán a un punto sin retorno de declive y se extinguirán sino se avanza en el desarrollo de la estructura del paisaje (Snäll et al., 2004). La conectividad estructural permite especificar los aspectos físicos del paisaje, además de la conformación de los parches de hábitat (Tischendorf y Fahrig 2000 como se citó en Auffret et al., 2017). Por otro lado, Mander et al., (2010) plantean que la fragmentación de los paisajes, inducida por la gestión intensiva, es un problema progresivo perjudicial a nivel mundial. De modo que no hay que extrañarse que uno de los principales conflictos del siglo pasado ha sido la fragmentación de ecosistemas naturales (Beita et al., 2021). Un buen cuidado de la conectividad se transforma en una condición invaluable para la subsistencia de la biodiversidad, además representa una condición clave ecológica como práctica oportuna de preservación y urbanismo (Laita et al., 2011 como se citó en Ayram et al., 2014).

Entender el efecto de la alteración de paisaje en la conectividad del paisaje es sustancial para pronosticar el impacto del cambio de paisaje en una determinada especie Goodwin y Fahrig, 2002). Es por eso que la supervivencia de una especie solo es factible si se encuentra en el interior de redes de parches lo considerablemente conectados por individuos dispersos (Kindlmann y Burel, 2008). Por esta razón, se han diseñado numerosas metodologías para medir la conectividad y fragmentación en un paisaje a través del uso de software geoestadístico (i.e ConeforSensinode 2.2; PathMatrix; FRAGSTATS; UNICOR; GUIDOS y Circuitspace) y el cálculo de índices que relacionan diferentes métricas como:

distancia media entre parches, proporción del paisaje, dominancia, equitatividad de Shanon, tamaño promedio del fragmento; borde, probabilidad de adyacencia, contagio, porcentaje de paisaje, entre otras (Landeros y Badii, 2007) (WWF, 2015).

Al software FRAGSTATS se lo puede denominar como un compendio de estadísticas espaciales puesto en práctica por ecologistas permitiéndoles describir propiedades de paisajes así como sus elementos constituyentes (Raines, 2002). Los autores Midha y Mathur, 2010, utilizaron Fragstats para evaluar la fragmentación de bosques de distintas clases en la zona de conservación prioritaria Dudhwa. En cambio, Lamine et al., 2018, usaron Fragstats para cuantificar la dinámica espacio temporal del paisaje, incluyendo los cambios en el uso de la tierra y cobertura de la tierra originados en un ecosistema mediterráneo. Por otro lado, Singh et al., 2014, emplearon Fragstats para derivar de las imágenes satelitales, las métricas a nivel de paisaje y de clase para descubrir la influencia del cambio en el uso de la tierra que se puede correlacionar con el grado de urbanización, desarrollo y calidad del agua.

Como el Distrito Metropolitano de Quito no ha seguido un desarrollo territorial óptimo, es común encontrar construcciones y edificaciones cerca de bosques a lo que se denomina como obstáculos. Así que para obtener una descripción precisa de la permeabilidad de cada obstáculo hay que determinar diversas variables físicas y biológicas (Kemp y O´Hanley, 2010 como se citó en Rodeles et al., 2019). En el ámbito urbano, la conectividad de espacios verdes aparte de incrementar la franja verde, también ayuda a mejorar el microclima y claro está, otras competencias ecológicas, de modo que se crea una mejor relación humano-naturaleza añadiendo una mejora al paisaje urbano y otorgando capacidad turística a una zona Tian et al., 2017). Existe la suficiente evidencia, tanto teórica como empírica que revela como un proceso fundamental en la dinámica y perseverancia de las

metapoblaciones a la dispersión (Ims y Yoccoz 1997, Thomas y Kunin 1999, Hansky et al., 2000 como se citó en Schtickzelle et al., 2006). Es por ello que la fragmentación del hábitat, al encontrarse dividiendo un región extensa en parches más reducidos y la vez más separados, es capaz de transformar totalmente el paisaje adaptativo de la dispersión (Van Dyck y Matthysen, 1999, Fahrig, 2001, Heino y Hanski, 2001 como se citó en Schtickzelle et al., 2006).

Las consecuencias que deja la fragmentación, pueden verse revertidas o de alguna u otra manera amortiguadas, a través de medidas de gestión orientadas a la recuperación de la conectividad en el paisaje (Blanco et al., 2020). En China, se inició una serie de proyectos de restauración ecológica a nivel nacional, con el fin de proteger los bosques, logrando aumentar el área forestal en un total de 124, 200 Km^2 en cinco años (Lu, et al., 2018 como se citó en Huang et al., 2022). Por otro lado, en Cuba, se diseñó una red de conectividad estructural entre diferentes remanentes de hábitats naturales con distintos niveles de conservación, lo que posibilitó la adquisición de un conjunto de 186 rutas de conectividad de diferente longitud, con un área total de 131.31 km2, permitiendo conectar, entre sí, cada una de las 19 áreas protegidas analizadas, y ofrecer, en algunos casos, varias alternativas de conectividad entre todas las áreas (Puebla et al., 2020). Por lo que se puede apreciar que es de vital importancia identificar áreas que necesitan intervención con el fin de mejorar la conectividad.

En resumen, esta investigación tiene como objetivo, calcular los índices de conectividad y fragmentación en el Distrito Metropolitano de Quito, utilizando la metodología descrita en la “Propuesta de Indicadores Nacionales de Biodiversidad” del Ministerio del Ambiente y el software FRAGSTATS. Los datos necesarios para el cálculo

de estos indicadores se obtendrán de mapas de cobertura y uso de la tierra disponibles en geoportales de Instituciones Gubernamentales. Tanto para el índice de conectividad como para el de fragmentación, se usarán mapas de vegetación natural y cobertura y uso de la tierra antrópicos, incluso, la vegetación remanente se puede conseguir de la mezcla de siete estratos a partir del mapa de ecosistemas siguientes: bosque deciduo; bosque siempre verde de tierras bajas; páramo; matorral semideciduo y deciduo; bosque andino montano; bosques inundables de tierras bajas y manglar. Una vez determinados estos indicadores se evaluará el impacto de la aplicación de planes de reforestación en la mejora de la conectividad y fragmentación de la zona de estudio.

1.1 Delimitación Geográfica

1.1.1 Descripción del Distrito Metropolitano de Quito

El Distrito Metropolitano se encuentra localizado en el callejón interandino, en varias plataformas que se sitúan en altitudes que van desde 2.400 a 4.500 metros sobre el nivel del mar, con topografía altamente irregular y bañado por múltiples ríos que convergen al río Guayllabamba.

Es un conjunto territorial de más de 420 mil hectáreas y una población de 2´239.191 habitantes, además de que posee varias unidades geomorfológicas, pisos climáticos y sistemas ecológicos. Su geología está estructurada por zonas bien definidas que han condicionado los grandes roles de su territorio a la cordillera occidental que constituye una reserva natural agrícola y forestal, y el valle interandino en la que se han desarrollado sus centros poblados (GOBIERNO DE PICHINCHA, 2017).

1.1.2 Límites del Distrito Metropolitano de Quito

El Distrito Metropolitano de Quito se divide en nueve administraciones zonales, conteniendo treinta y dos parroquias urbanas y treinta y tres parroquias rurales, además, se encuentra delimitado por siete cantones y tres provincias, las cuales se muestran en la tabla 1.

Tabla 1

Boundaries of DMQ

Norte	Provincia de Imbabura
Sur	Cantones Rumiñahui y Mejía
Este	Cantones Pedro Moncayo, Cayambe y Provincia de Napo
Oeste	Cantones Pedro Vicente Maldonado, Los Bancos y Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas

Fuente: Prefectura de Pichincha, 2017

Elaborado por: Autor, 2022

El hecho de que abarca una gran extensión de terreno y al mismo tiempo que delimita con varias zonas, le permite compartir diferentes pisos climáticos. Los relieves montañosos son las geoformas más predominantes en toda el área del Distrito Metropolitano de Quito.

Para el desarrollo de este trabajo, se tomará en cuenta la información sobre la Cobertura y Uso de la Tierra correspondiente al Distrito Metropolitano de Quito.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Calcular los indicadores de estructura de paisaje utilizando el software FRAGSTATS para la implementación de estrategias de mejora de conectividad y patrones de fragmentación en el Distrito Metropolitano de Quito.

1.2.2 Objetivos Específicos

Analizar cambios de estructura de paisaje en el Distrito Metropolitano de Quito utilizando indicadores de conectividad y fragmentación de modo que permita la evaluación del estado paisajístico actual de la ciudad.

Identificar zonas del Distrito Metropolitano de Quito que presenten características de potencial intervención utilizando mapas de uso y cobertura de la tierra, para el establecimiento de estrategias que mejoren la estructura de paisaje.

Evaluar los cambios de estructura de paisaje en el Distrito Metropolitano de Quito, calculando nuevamente los indicadores de conectividad y fragmentación, permitiendo la comprensión del impacto de las estrategias implementadas.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La naturaleza es un bien que proporciona al ser humano los recursos suficientes para su desarrollo, y debido a esto su cuidado ha de ser el fin a alcanzar de todas las personas. Dado el aumento de la inquietud existente sobre la disminución de la biodiversidad, los procuradores de la tierra han indagado las mejores alternativas para administrar los paisajes en diversas escalas espaciales y temporales, y que gracias al progreso de los sistemas de información geográfica, existen los instrumentos analíticos para estudiar y gestionar paisajes (McGarigal y Marks, 1995). El avance tecnológico es un gran aliado para lograr remediar el impacto de origen antrópico.

2.1 Ecología del Paisaje y Paisaje

Al concepto de ecología de paisaje se le abarcan dos términos, que por todo lo que representa, se origina de un avance científico, que tuvo que ratificar frente a la especialización y separaciones progresivas existentes en la investigación (Troll, 2003). Este amplio concepto encuentra fundamentos en una proximidad de índole estructural-morfológica y al mismo tiempo funcional, es decir, examinan todas las particularidades estructurales y morfológicas que crean una zona determinada, siendo también analizada su evolución a través del tiempo, teniendo influencia a la vez en su funcionalidad ecológica (Vila et al., 2006). Por lo general, existe una manera de entender al paisaje de distintas formas, pero no debería conllevar estos errores, por lo que es importante separar la interpretación artística de la científica, aunque se necesite de la otra para poder tener una visión más general, entonces, haciendo énfasis en la representación científica, se han formado distintas definiciones, teniendo un alcance para un enfoque diferente, lo que ha llevado a crear confusión. Se sabe que en el siglo XIX, los autores Charles Darwin y Alejandro von

Humboldt tuvieron incidencia en el estudio del paisaje, siendo las geografías rusas y alemanas quienes asentaron principios básicos de la física del paisaje, en cambio, geógrafos europeos y norteamericanos siguieron creando las bases de la ciencia del paisaje como una ciencia natural, pero hablando de una forma más geomorfológica, paisaje encuentra significado en representación de una apariencia general que describe una región, añadiendo un conglomerado de geoformas como el relieve y sustrato, y es así que la geoforma mantiene unidos a elementos que se relacionan con la morfología de la superficie terrestre (Morláns, 2005).

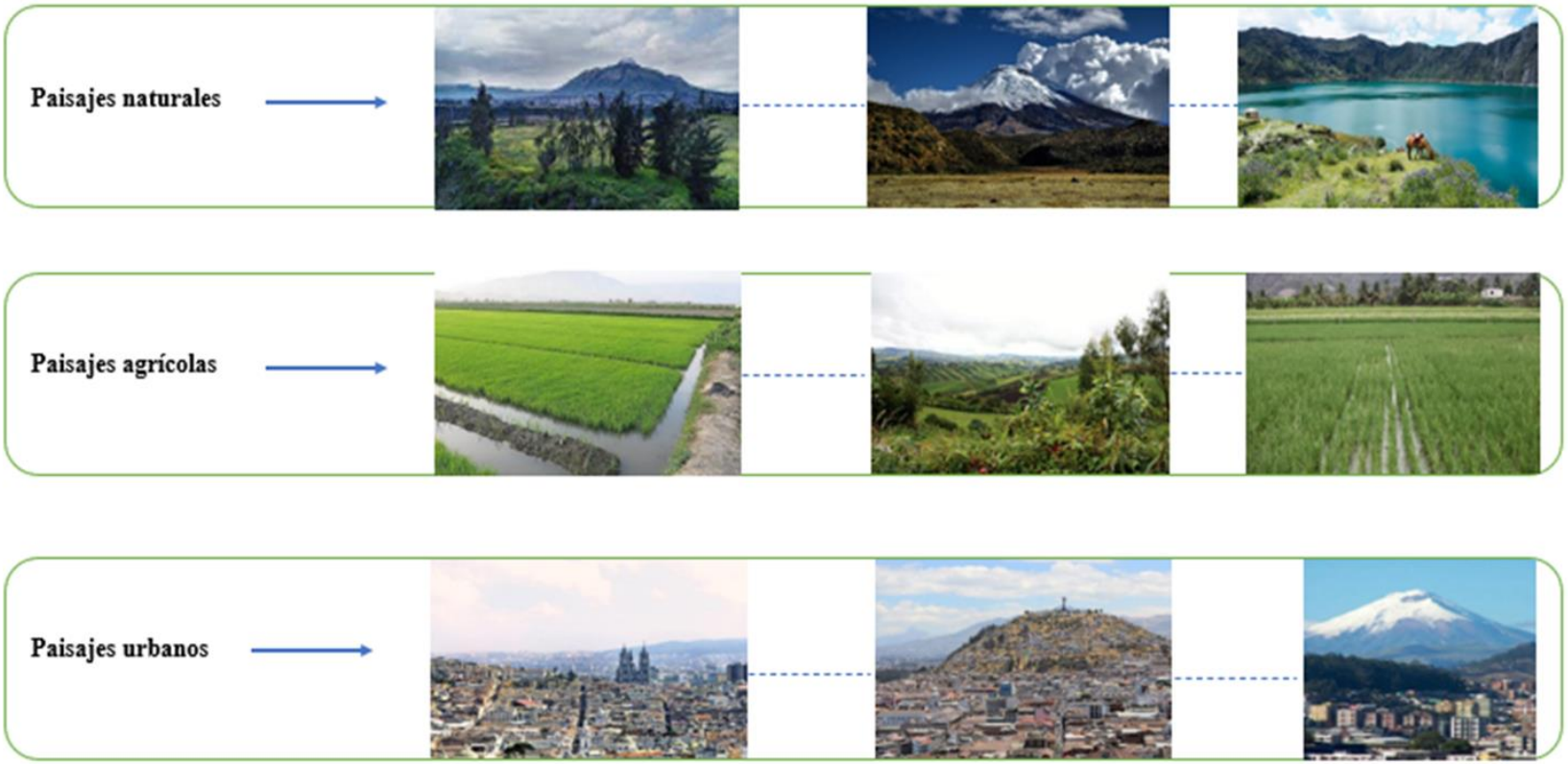
Teniendo en cuenta el concepto de ecología de paisaje, se pueden determinar tres objetivos. Según Forman 1995 como se citó en Irastorza (2006):

> El primero está estructurado para establecer las pautas de distribución de los elementos que lo componen o lo que se asemeja a estructura espacial, el segundo, es el funcionamiento de esa estructura , describiendo las interacciones, los flujos de energía, nutrientes y especies, entre los elementos espaciales que lo componen, y el tercero, es el cambio de la estructura y del funcionamiento de la misma, es decir, la evolución del paisaje en el tiempo. (p. 18)

Es así que paisaje viene a ser el espacio donde se interrelacionan y conviven diferentes especies, además de que su composición se da por tres tipos de fundamento, las cuales son parche, corredor y matriz.

Figura 1

Different types of landscapes



Fuente: Foros Ecuador - Blog Jeep – Diario Correo – ECOANDES – Pixabay - TripAdvisor

Elaborado por: Autor, 2022

La urbanización que se ha venido dando desde los últimos años ha representado un gran impacto para los ecosistemas y hábitats de muchas especies, tanto a nivel de flora como de fauna, convirtiéndose en la principal amenaza para la biodiversidad, y no solo eso, sino que también afecta al paisaje, porque se va causando fragmentación, el mismo que mide al daño y pérdida de un ambiente determinado (Rojas et al., 2017). A la conectividad del paisaje se la define como una pieza importante en la conservación de ecosistemas, pero primordialmente en donde existen paisajes fragmentados, porque va a posibilitar la comunicación de flujos ecológicos, y sobre todo, otorga la capacidad para determinar la condición en la que se encuentran los hábitats (Taylor et al., 1993; Tischendorf y Fahrig 2000; Belisle 2005; Quesada et al., 2009 como se citó en Leija & Mendoza, 2021). Cuando se habla de permeabilidad por lo general también hace referencia a la conectividad, de tal forma que permite emplearla como un sinónimo, por una parte hace mención al enlace, comunicación y vínculo de diversas poblaciones de taxones establecidos (Lucio et al., 2003 como se citó en Gurrutxaga y Lozano, 2007). Estudiar la conectividad es necesaria, porque ayuda a establecer el equilibrio de los procedimientos ecológicos que normalmente se encuentran en relación, haciendo posible nombrar a la dispersión, flujo genético de poblaciones que se disponen de forma aisladas y migración de especies (Taylor et al., 1993; Correa-Ayram et al., 2014 como se citó en Jiménez y López, 2021). Si no existe conectividad, los tantos ecosistemas existentes no son capaces de desempeñar acciones para funcionar correctamente, y sin estos ecosistemas, la biodiversidad tiene peligro de desaparecer, por lo que es fundamental que de una u otra manera, la fragmentación se vea reducida (Hilty et al., 2021).

Cuando se habla de conectividad, es sustancial hacer mención que se divide en dos tipos, la primera corresponde a conectividad funcional, refiriéndose a la reacción en la conducta de especies e individuos frente a la estructura física del paisaje, la segunda es la conectividad estructural, elemento que establece el vínculo espacial de distintos tipos de hábitat en el paisaje (Alonso et al., 2017).

2.1.1 Fragmentación del Paisaje

La fragmentación es considera como una alteración a la conectividad del paisaje (With et al., 1997 como se citó en Lorenz et al., 2017). Las diferentes actividades humanas, producen fragmentación de los ecosistemas, estas modificando hábitats, este dinamismo provoca que gran parte de biodiversidad se vea en peligro, además de que representa también una pieza clave en que diferentes especies no se adapten al cambio climático (Hilty et al., 2021). El resultado final de actividades que provocan cambios es la fragmentación, lo que conlleva a la pérdida de ecosistemas, no de manera inmediata, porque es un proceso que se da con el pasar del tiempo, pero que tarde o temprano llevará también al daño en la biodiversidad (Sala et al., 2000 como se citó en De León et al., 2013). En términos generales, para entender qué es la fragmentación, se puede hacer referencia a un bosque continuo que ha sufrido alteraciones, teniendo como resultado las divisiones del mismo, existiendo zonas aisladas, unas de otras, por lo que el área final será menor a la del primer bosque (Andrén, 1994; Bustamante y Grez, 1995 como se citó en Bizama et al., 2011). Puede medirse la fragmentación de un hábitat valorando los cambios que se producen en la estructura espacial de un paisaje, lo que quiere decir que hace referencia a la relación espacial producida entre parches (Turnes et al., 2001 como se citó en Altamirano et al., 2007). La cuantificación de los cálculos es desarrollada a través de métricas espaciales o indicadores de paisaje, siendo

su uso de gran beneficio, debido a que conceden información sobre el acontecimiento de sucesos de deforestación y fragmentación (Franklin 2001, Lausch y Hertzog 2002, Fitzsimmons 2003, Li et al., 2004 como se citó en Altamirano et al., 2007).

Figura 2

Loss of connectivity of a region

Nota. Estados de creciente fragmentación del hábitat.
Fuente: Gurrutxaga, 2004 - Modificado de Bennett, 1999

Como se ha venido mencionando, lo que provoca la fragmentación es la división de una gran área territorial, en áreas más pequeñas.

2.1.2 Conectividad de Paisaje

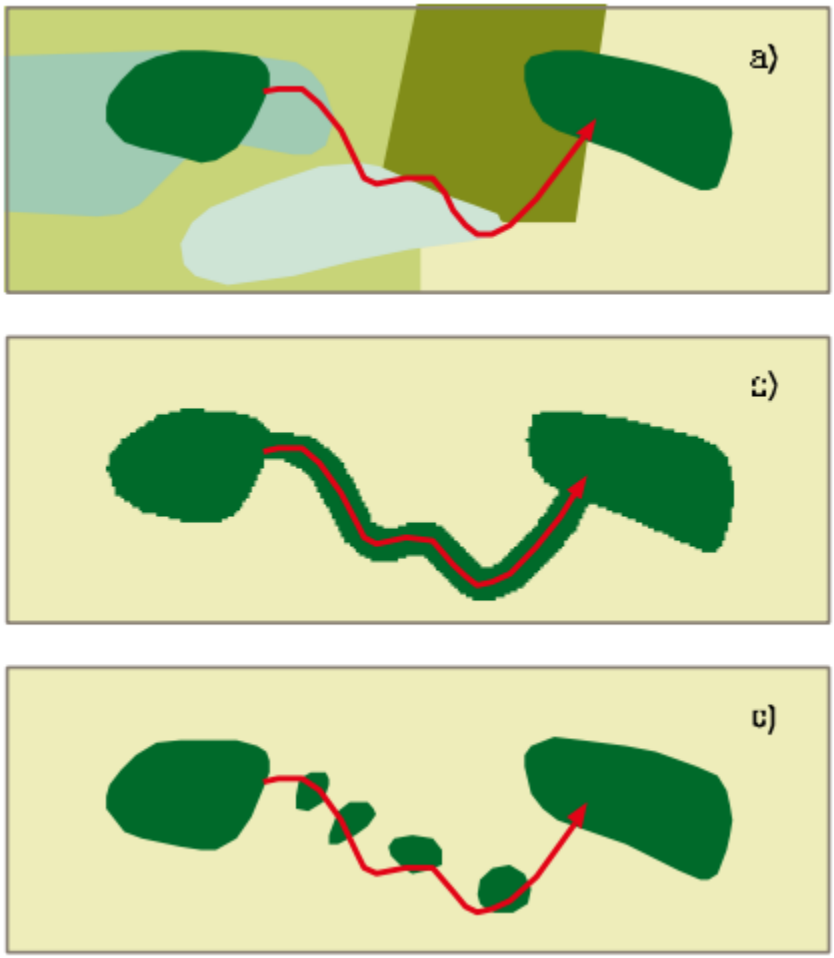
Cuando se habla de conectividad, es sustancial hacer mención que se divide en dos tipos, la primera corresponde a conectividad funcional, refiriéndose a la reacción en la conducta de especies e individuos frente a la estructura física del paisaje, la segunda es la conectividad estructural, elemento que establece el vínculo espacial de distintos tipos de hábitat en el paisaje (Alonso et al., 2017). Para tener una visión más generalizada y entendible de la conectividad, sabiendo que esta influye en procesos de planificación y gestión territorial, es fundamental conocer el desarrollo de los fundamentos científicos, y analizar

cómo limitan el proceso de las redes ecológicas a diferentes escalas, después, entender el factor socio-económico de la conectividad y lo todo lo que esta conlleva, y para terminar, conocer los problemas que la desaparición de la conectividad provoca, debido a los diversos usos que se le da al suelo (P. Herrera y Díaz, 2013).

La conectividad estructural tiende a incrementar cuando los fragmentos de algún tipo de cobertura se encuentran contiguos uno del otro, por lo que se la analiza por medio de la aplicación de indicadores o métricas del paisaje que se calculan a través de sistemas de información geográficos (Gustafson, 1998 como se citó en Ayram et al., 2014). Los estudios de conectividad, regularmente se encargan de examinar los datos de parches, corredores y matrices en función del nivel de influencia de cómo estos parámetros afectan o no el movimiento a través del paisaje (Zeller et al., 2020).

Figura 3

Landscape connectivity



Nota. La conectividad del paisaje puede auxiliarse (a) conservando la totalidad del mosaico entre dos áreas o (b, c) manteniendo ciertos elementos del paisaje que permiten la dispersión de ciertas especies.
Estos elementos dispersivos pueden ser continuos (b) o discontinuos (c).
Fuente: La fragmentación del paisaje como principal amenaza a la integridad del funcionamiento del territorio

La conectividad no solo mantiene la belleza natural de un hábitat, sino que también sostiene el equilibrio de procesos naturales a nivel biológico.

2.1.3 Conectividad en Paisajes Urbanos

Hablar de paisaje urbano, hace referencia a varias actividades provocadas por elementos antrópicos y naturales, que por situaciones dadas en el tiempo, logra dejar aspectos

evidentes, cada acción humana tiene relación con las preferencias y satisfacción de los intereses, anhelos y requerimientos físicos y psicológicos, tangibles e intangibles, individuales y colectivos (Briceño et al., 2012). Mantener y proteger la conectividad, al mismo tiempo que se presenten alternativas para preservar la biodiversidad en zonas donde la densidad poblacional es alta, es un fin que ha tomado gran importancia cuando en temas de planificación urbana se ha hecho presente (Angold et al., 2006 como se citó en Mikel Gurrutxaga y Lozano, 2007). Dicho de otro modo, la conectividad permite medir y también personificar el precio o al mismo tiempo, la causa principal de que un paisaje establecido no permita el paso de fauna entre hábitats, debido a la fragmentación causada por diferentes causas antrópicas, por cómo un paisaje está predispuesto después de haber sufrido cambios, que por lo general, esto sucede en áreas urbanizadas (Adriaensen et al., 2003 como se citó en Rojas et al., 2017).

La gran demanda de zonas con el fin de construir residencias ha provocado la existencia de vulnerabilidad de superficies periurbanas, teniendo también la incidencia de construcción en zonas naturales, justificando su destrucción al desarrollo de la industria inmobiliaria, apuntalando a que lo de ahora es la coexistencia con áreas de considerable valor natural (Pintos y Narodowski 2012; Rojas et al., 2013 como se citó en Rojas et al., 2017).

2.1.4 Paisaje y sus Elementos

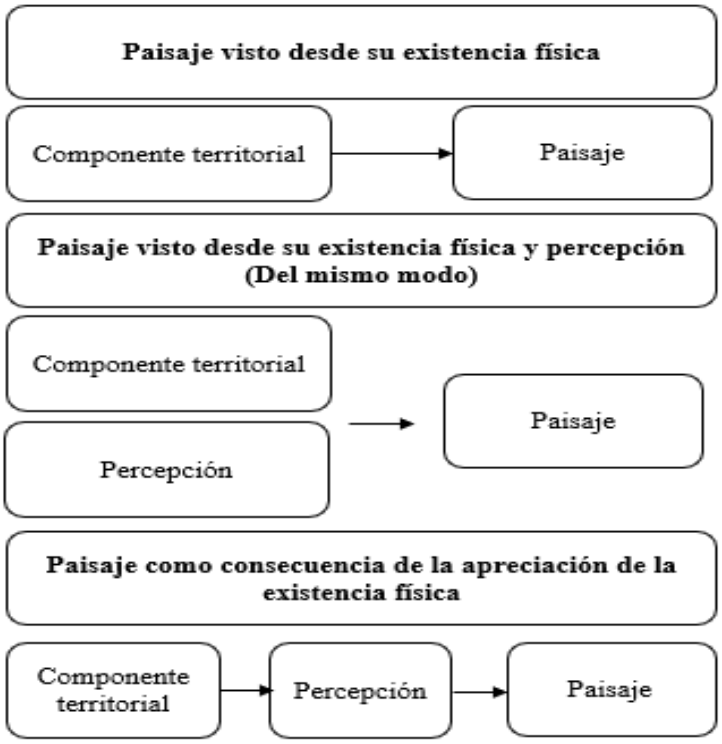
Conceptualizar la palabra paisaje es muy complejo, debido a que ha venido teniendo un significado diferente según la disciplina a estudiar, pasando así desde las artes, desde donde muchos que se dio su concepción, llegando hasta las ingenierías, abriéndose camino por la filosofía, arquitectura, etc. Entonces, todas las ciencias antes mencionadas han fundado un criterio sobre paisaje (Zubelzu y Allende, 2015).

Es así que al paisaje se le entiende como una manifestación del territorio, de modo que considera una apreciación de las personas que va más allá de una apariencia estética u ornamental solo tomando en cuenta su forma física (Lucio y Gutiérrez, 2011).

En la siguiente ilustración se pueden visualizar los tres primordiales modos con los que normalmente el paisaje cobra sentido entre lo físico y lo que para cada uno simboliza.

Figura 4

Landscape conceptualization



Nota. Componentes que ayudan a entender el concepto de paisaje.
Fuente: Zubelzu y Allende, 2015
Elaborado por: Autor, 2022

Por lo tanto, al paisaje se lo representa por su disposición de indicar la materialidad, sea vista o no del territorio, de forma que se entienda y no se menosprecie lo que las personas obtienen de él como un bien colectivo.

2.1.5 Permeabilidad del Paisaje

Es importante comprender que no solo se le debe dar interés a la existencia y conservación de los corredores, sino que la disposición espacial de las teselas y las propiedades de la matriz, son componentes esenciales en los flujos que interactúan en el paisaje, siendo estos: especies, materia, o energía, considerando estos factores, se hace mención de un mosaico perfecto del paisaje, estableciendo maneras de asegurar el equilibrio del paisaje con los procesos que en este se originan (Junta de Andalucía, 2002).

Lo que se entiende por permeabilidad, también se la puede hacer referencia a conectividad, es decir, mantiene un doble significado, por un lado todo lo que se emplea en términos de conexión, interrelaciones y correlaciones de diferentes poblaciones de un taxón fijo, y por último, la más frecuente, aquella donde el suelo hace referencia al espacio donde se sostiene la conectividad para los grupos de la gran variedad de especies que pueden habitar en una zona (Lucio et al., 2003 como se citó en Gurrutxaga y Lozano, 2007).

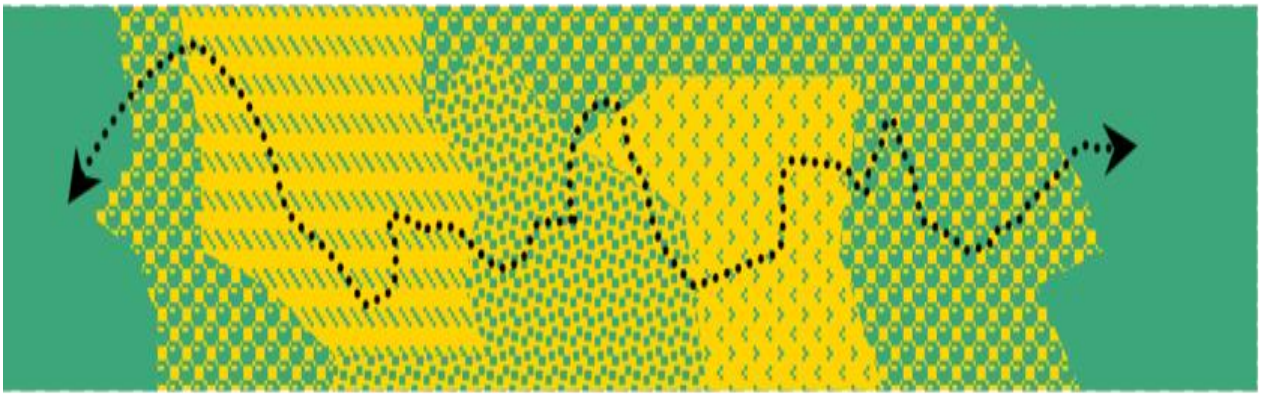
2.1.6 Permeabilidad de la Matriz

Según Variegated Lansape, Sensu McIntyre y Barret, 1992 como se citó en Valdés (2011):

> Manifiesta que un paisaje fragmentado, se encuentra constituido por un mosaico de hábitats que simbolizan diferentes niveles de alteración, comparándolo con su estado original, provocando disparidades en un hábitat, por lo que la matriz puede personificar varios grados de permeabilidad para múltiples organismos, esto quiere decir que, podría no simbolizar un obstáculo, sino que dependiendo la necesidad de la especie, esta tiene funciones para ser aprovechada. (p. 13)

Figura 5

Mosaic rendering



Nota. Mosaico de hábitats permeable al desplazamiento de un organismo que se desplaza. por tierra.
Fuente: Gurrutxaga, 2004 - Modificado de Bennett, 1999.

2.1.7 Parche

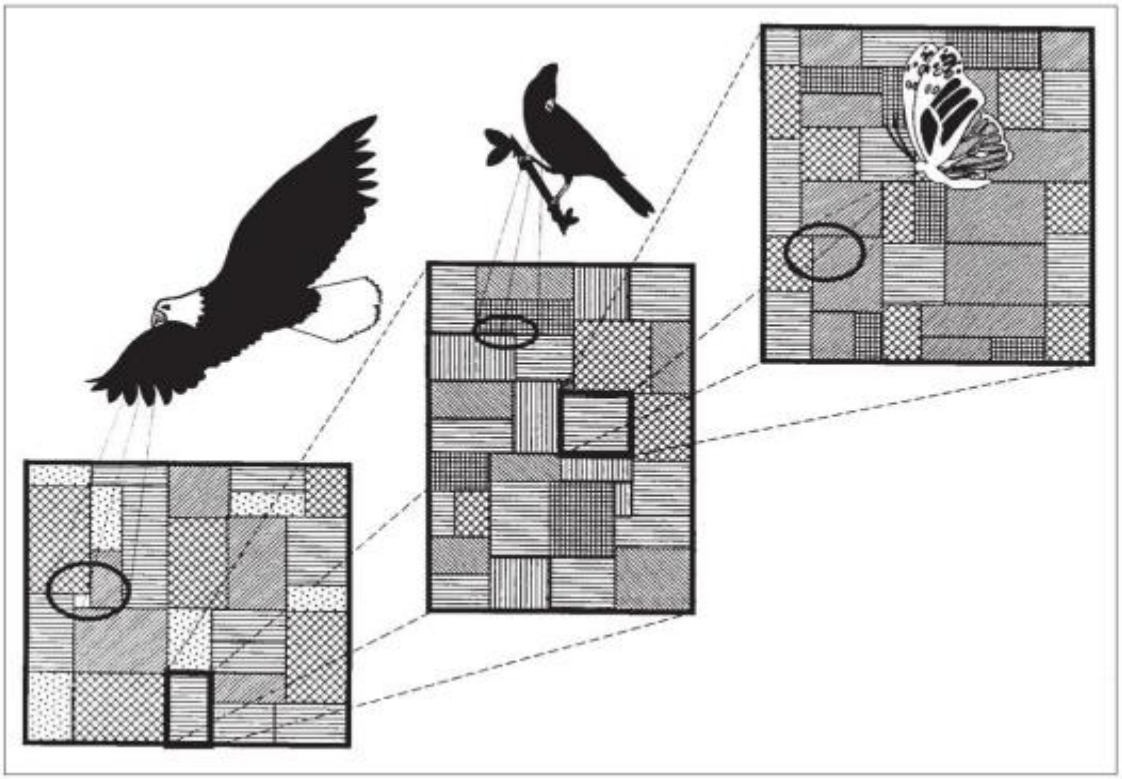
Los profesionales de la ecología han utilizado varios conceptos que les permitió definir la palabra parche, entre los que han estado biotopo y ecotopo. Según Velásquez (2017), “ Los parches representan núcleos boscosos y son los hábitats que albergan la biodiversidad” (p. 4).

Aunque también se le puede denominar al parche como un componente esencial que le da sentido al paisaje (McGarigal y Marks, 1995 como se citó en Correa et al., 2012). En este sentido, todas sus definiciones representan el conjunto de propiedades ambientales que ayudan al progreso y crecimiento de diferentes especies, tanto de flora como de fauna. Así que conocer la conectividad de los parches que posee un hábitat, otorga la oportunidad de planificar estrategias que permitan mejorar la preservación de recursos naturales (Vega et al., 2018).

Según Wiens, 1976 como se citó en McGarigal y Marks (1995), “La dimensión del paisaje, cambia entre los organismos, debido a que los parches de hábitat solo son capaces de definirse de modo en el cual se sujeta a la apreciación que un organismo tiene del medio donde se encuentra” (p. 3). Es así que el área de un lugar será concebida de diferentes proporciones, todo dependiendo de quién la observa.

Figura 6

Organisms and area quantification



Nota. Vista multiescala del “paisaje” desde una perspectiva centrada en el organismo. Debido a que el águila, el cardenal y la mariposa perciben sus entornos de manera diferente y a diferentes escalas, lo que conforma un solo parche de hábitat para el águila puede constituir un paisaje completo o un mosaico de parches para el cardenal, y un solo parche de hábitat para el cardenal puede comprender el total del paisaje para la mariposa que percibe parches en una escala aún más fina.
Fuente: McGarigal y Marks, 1995

2.1.8 Corredor Biológico

Así mismo, para entender lo que es un corredor, se han acuñado algunos términos, pero todos hacen referencia al mismo significado. Según Conrad et al., 2011 como se citó en García y Abad (2014), "Los corredores ecológicos son espacios que conectan áreas de importancia biológica para mitigar los impactos negativos provocados por la fragmentación de los hábitats" (p. 3).

Entonces, se entiende que un corredor es una amplia superficie de terreno. El objetivo de un corredor biológico es asignar conectividad entre los diferentes ecosistemas, hábitats y paisajes, sean estos naturales o alterados, de modo que se permita la conservación de la biodiversidad, manteniéndose los procesos ecológicos y evolutivos (MINAET, 2008 como se citó en Boraschi, 2009). Su principal contribución es la de brindar recursos a partir de la reposición de la conectividad entre segmentos de ecosistemas, importante aclarar que no se le debe entender del mismo modo que áreas protegidas (Robles De Benito, 2009).

2.1.9 Matriz

La composición de un paisaje se da por la suma de varios parches. Según Forman y Godron 1986 como se citó en McGarigal y Marks (1995), "La matriz es el tipo de elemento del paisaje más extenso y conectado y, por lo tanto, juega el papel dominante en el funcionamiento del paisaje" (p. 6). De modo que, la matriz será entonces la que posea la mayor prolongación de territorio o área, entonces no se debe confundir con la descripción de corredor, debido a que si se va a elegir un elemento como matriz será tomando en cuenta el fenómeno a estudiar.

También se puede decir que la matriz son las conexiones entre la tierra y el fondo, la parte más conectada del paisaje, conteniendo la mayor cantidad de vegetación colindante donde se evidencian todos los integrantes del paisaje, a esto se le puede incluir los corredores, orillas y parcelas, también conocidas como parches (Morláns, s.f.). Matriz es el último factor que perfecciona el significado de paisaje.

Según McIntyre y Hobbs, 1999 como se citó en Herrera (2011), "Se describe a la matriz como la formación de mosaicos a partir de hábitats con diferente nivel de cambio y perturbación, siendo diferente al hábitat del cual se origina" (p. 22). Por consiguiente, en función de su organización y conformación, lo que podría hacer la matriz es amortiguar la vulnerabilidad de varias especies hacia componentes inherentes de los fragmentos como la dimensión y nivel de aislación (Prugh et al., 2008 como se citó en J. Herrera, 2011).

2.2 Métrica de Paisaje

Representan indicadores cuantitativos de la forma y la distribución espacial de los paisajes, por lo que en la ecología de paisaje, lo crucial para explorar los patrones de paisaje y así evaluar la heterogeneidad del espacio se lo hace a través del análisis métrico del paisaje, y según lo que se esté analizando, se pueden clasificar en las siguientes cuatro categorías principales:

i. Exploración de la relación entre las métricas del paisaje y la escala espacial.
ii. La extracción de un conjunto central de métricas del paisaje.
iii. El examen de patrones de evolución espacio-temporal en los paisajes.
iv. La evaluación de la efectividad del paisaje.

De las cuatro categorías mencionadas, cada una de ellas puede ser aplicable en diferentes contextos de estudio, adicionalmente, también cumplen varias funciones según el

ámbito y situación a examinar, y debido a esto, su elección se vería reflejada en los resultados a conseguir (Yuab et al., 2019). Este término otorga datos beneficiosos sobre la correlación entre paisajes.

A nivel internacional, con respecto a la información que se tiene, existe una problemática, debido al proceso de seleccionar las herramientas de la ecología del paisaje capaces de contribuir a caracterizar métodos de deterioro y modificación de paisajes (Aguilera y Botequilha, 2012).

2.2.1 Fragstats

Es un programa cuya principal función está ligada a examinar patrones espaciales de mapas categóricos, de tal manera que se encuentra encargado de cuantificar la expansión del área y la configuración espacial de los parches correspondiente a los paisajes a analizar (Ferrero, 2012). Para poder dar comienzo con la utilización del suelo en el ámbito de la planificación, primero se deben cuantificar los patrones de cobertura del suelo, pero hacer este trabajo, sin las herramientas necesarias, representa un trabajo difícil, es así que FRAGSTATS, además de ser un instrumento digital gratuito, posibilita opciones para cuantificar patrones espaciales en la cobertura del suelo (Chen y Iannone, 2020).

Así mismo, el software acepta cinco configuraciones de entrada, que son:

Tabla 2

Input data format

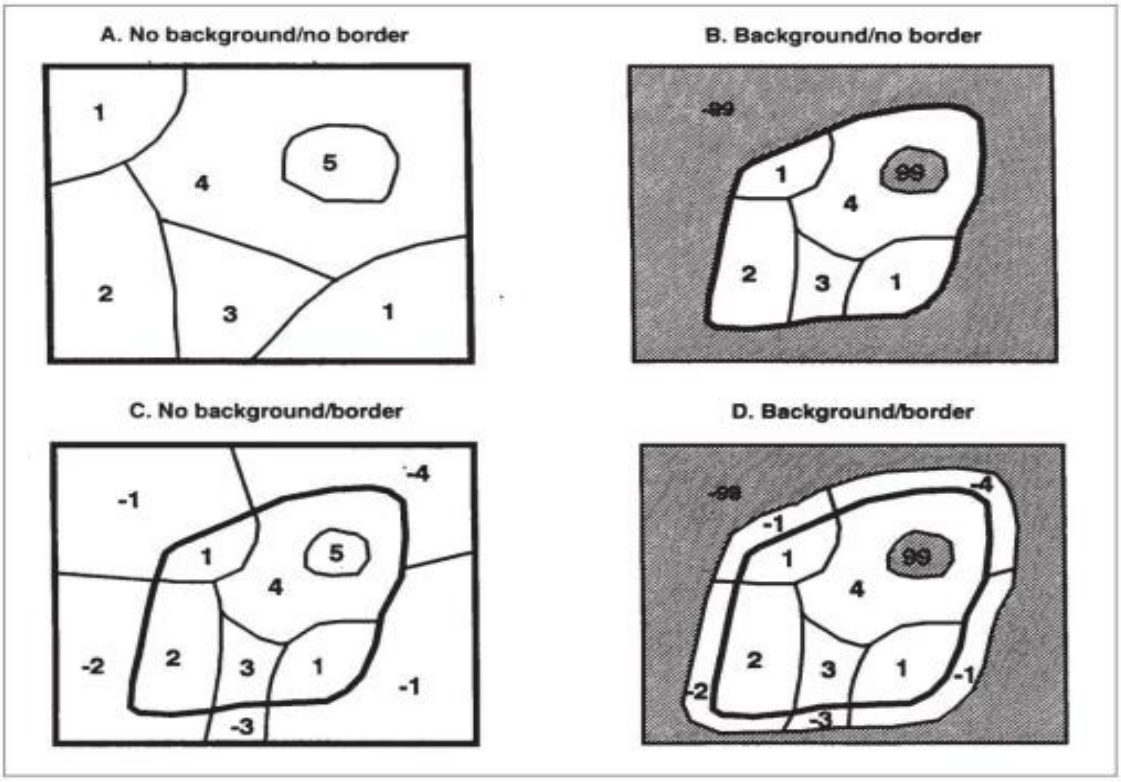
ArcGrid
ASCII
BINARY
ERDAAS
IDRISI

Nota. FRAGSTATS no acepta vectores ARC/Info.
Fuente: Statistical ecology - 2012
Elaborado por: Autor, 2022

Por su facilidad de trabajar con una amplia gama de datos, FRAGSTATS es uno de los programas más utilizados en la gestión de paisajes.

Figura 7

Image formats accepted in the raster version of FRAGSTATS



*Nota. F*ormatos de imagen alternativos aceptados en la versión ráster de FRAGSTATS - El límite del paisaje, el fondo y el borde se definen en el texto.
Fuente: McGarigal y Marks, 1995

2.2.2 Personificación de Paisaje

Es evidente que el paisaje es un bien y representa un beneficio para todos los seres vivos, y además de figurar como patrimonio natural y cultural, está estrechamente ligado como objetivo de sostenibilidad, obsequiando recursos aprovechables para actividades económicas, creando un estado de mejora de vida, pero muchas de las veces, las actividades económicas son las causantes de la alteración del paisaje (Guerrero et al., 2010).

2.2.3 Reforestación

Según Salmerón, 1991 como se citó en Herrero et al., (2019), "El desarrollo de una reforestación, es la disposición técnica con el objetivo de la formación de densidad forestal, y de acuerdo a su fin, se la divide en genérica, cuando se quiere lograr la producción de materia prima y diferentes repoblaciones de cuidado con una intención diversa" (p. 19). Se puede tener un distinto concepto en la actualidad, pero que busca el mismo resultado, denominando a la reforestación como el conjunto de procesos en los que se incluyen algunos pasos, siendo la planeación, operación, control y supervisión de varias actividades en las que se considera la plantación de árboles en alguna zona (Figueroa et al., 2019).

Se puede entender que, una zona con una extensión densa de vegetación, poseerá una buena conectividad y al mismo tiempo esto le concedería minimizar la fragmentación, es así que existen dos tipos de zonas prioritarias para una correspondiente gestión, la primera se denomina área prioritaria para la conservación, siendo aquellos donde la degradación de su entorno actual, poseería un efecto muy perjudicial sobre la conectividad, originando una importancia de que por lo menos, se protejan las condiciones existentes, ahora bien, la otra división corresponde a zonas prioritarias para la restauración y pertenecen las zonas en las

que un aumento de su calidad, generaría un crecimiento importante de la conectividad (Mateo et al., 2018).

Actualmente, la tecnología juega un papel importante en determinar formas para acabar con la deforestación, por ejemplo, en Austria, gracias a la implantación de herramientas informáticas, se puso en práctica un sistema de apoyo a la toma de decisiones (DSS) para la gestión forestal, debido a que la mayoría de sus recursos forestales son usados para la producción de madera, y gracias a este sistema, se identificaron estrategias para aprovechar el uso de la madera, mejorando en las últimas décadas la forma en la que se producía la extracción del arbolado (Borges et al., 2014).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación se basa en evaluar los índices de conectividad y fragmentación, seguido de la identificación de una zona del Distrito Metropolitano de Quito con características de restauración, de modo que con esta zona se vuelva a calcular el índice de conectividad y el de fragmentación y de acuerdo a eso, determinar la mejor alternativa para mejorar sus condiciones. Para calcular el índice de conectividad se usarán dos programas, con el software ARCGIS se elaborará información de entrada que posteriormente se cargará en el software FRAGSTATS, en cambio, el índice de fragmentación, aparte de crear datos de entrada en el software ARCGIS, también se usa la ecuación del Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN).

La geoinformación de partida se encuentra en instituciones gubernamentales como el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, Instituto Geográfico Militar y Secretaría del Territorio, y con estos datos usar los mapas de cobertura y uso de la tierra para

proceder a reclasificar sus características, de forma que queden dos tipos, vegetación remanente y uso antrópico, y es así como se generarían los mapas binarios.

Se procederá a trabajar dos variables, para el indicador de conectividad va a representar la distancia euclidiana promedio al parche que se encuentre más cerca de vegetación natural remanente, ponderada por el área de los parches, en cambio, para el indicador de fragmentación, la variable simboliza el cambio anual en la longitud de borde entre áreas intervenidas y vegetación remanente en un período de referencia (Larrea et al., 2015). Los procedimientos que se van a seguir para sus cálculos se presentan en la ¨Propuesta de Indicadores Nacionales de Biodiversidad". Después se dará inicio con la creación de un plan de mitigación, el cual se aplicará a los datos iniciales, para volver a calcular los índices tomando en referencia el año con más cobertura vegetal, de modo que se permita distinguir el cambio en el Distrito Metropolitano de Quito una vez puesto en práctica la estrategia de mitigación. Para la elección de las zonas con características potenciales de implementación de medidas de mitigación, se usará la geoinformación disponible en el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, en el cual se identificarán las partes que más se adapten a la estrategia planteada. Por otro lado, la estadística a emplear será netamente descriptiva.

3.1 Materiales

Para poder realizar los mapas, que servirán como datos de entrada, que posteriormente se los analizarán con el software fragstats, se usará la información de las fuentes descritas en la siguiente tabla:

Tabla 3

Instrumens that will help collect information

Tool	Description
ARCGIS	Programa utilizado para crear datos base
FRAGSTATS	Programa en el que se calculará el índice de conectividad
Mapas generados por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica Instituto Geográfico Militar Secretaría del Territorio	Instituciones Gubernamentales de donde se descargará cartografía del DMQ
Propuesta de Indicadores Nacionales de Biodiversidad	Compendio donde constan los pasos para calcular los indicadores de conectividad y fragmentación

Nota. Softwares y otros elementos destinados a la extracción de datos.
Elaborado por: Autor, 2022

3.2 Métodos

El Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, exactamente, ha venido avanzando en el desarrollo en el Marco del Plan Estratégico Equinoccio Siglo XXI "Quito hacia el 2025", un compendio de proyectos y objetivos, determinados en el progreso del ser humano, pero de forma sustentable, resolución de temas ambientales y de por sí, la protección de los recursos naturales (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito et al., 2010).

Así mismo, los objetivos del Plan Metropolitano de Ordenamiento Territorial, deben tener como principal eje las estrategias de uso y empleo y manejo del suelo sesgado a hacia los objetivos económicos, sociales ambientales y urbanísticos, de manera que se creen y se tomen medidas y métodos que permitan la gestión, para poder efectuar acciones integrales y sectoriales a problemas en el ámbito de la estructura del territorio, estableciendo proyectos

que ayuden a cumplir estos fines (Secretaría de Territorio Hábitat y Vivienda, 2022). Por lo que mejorar el índice de conectividad y reducir el índice de fragmentación, ayudaría enormemente en la carrera de cumplir objetivos de conservación.

3.2.1 Obtención de Geoinformación

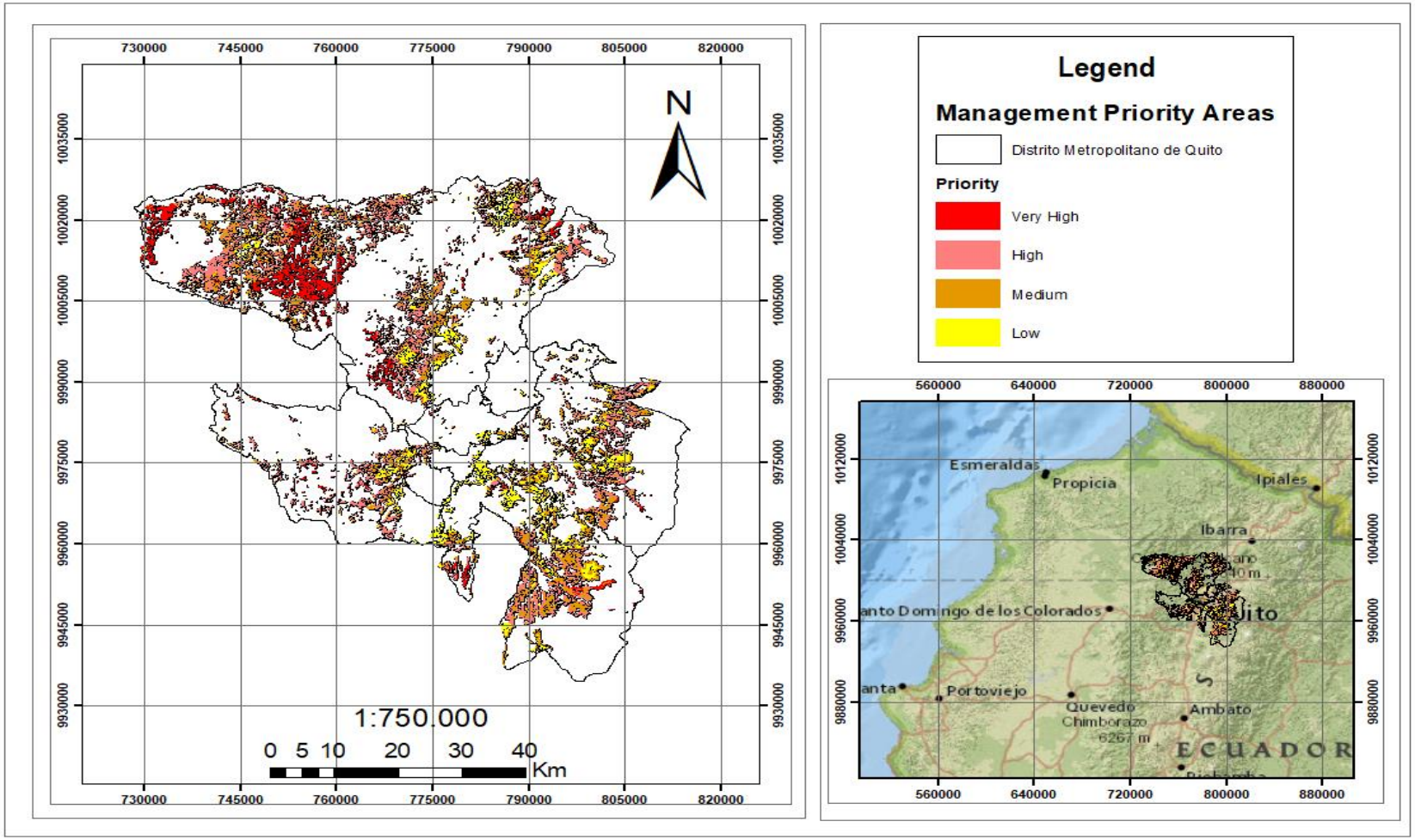
Para producir los mapas descritos en las figuras 10 y 11, se hará uso de la geo información de instituciones gubernamentales como el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, el Instituto Geográfico Militar, la Secretaría de Territorio, entre otros, de manera que con su posterior descarga se pueda obtener los datos de entrada necesarios.

3.2.2 Elección de las Áreas de Potencial Intervención

Para elegir la ubicación del DMQ más apropiada para aplicar una estrategia de mejora, se tomará en cuenta la cartografía que se encuentra en el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica en el apartado de Gestión Ambiental, el mapa que se presenta próximamente, será utilizado como base para volver a calcular los índices de las figuras 10 y 11, y así determinar una medida de mitigación, siendo en este caso la de reforestación.

Figura 8

Management Priority Areas



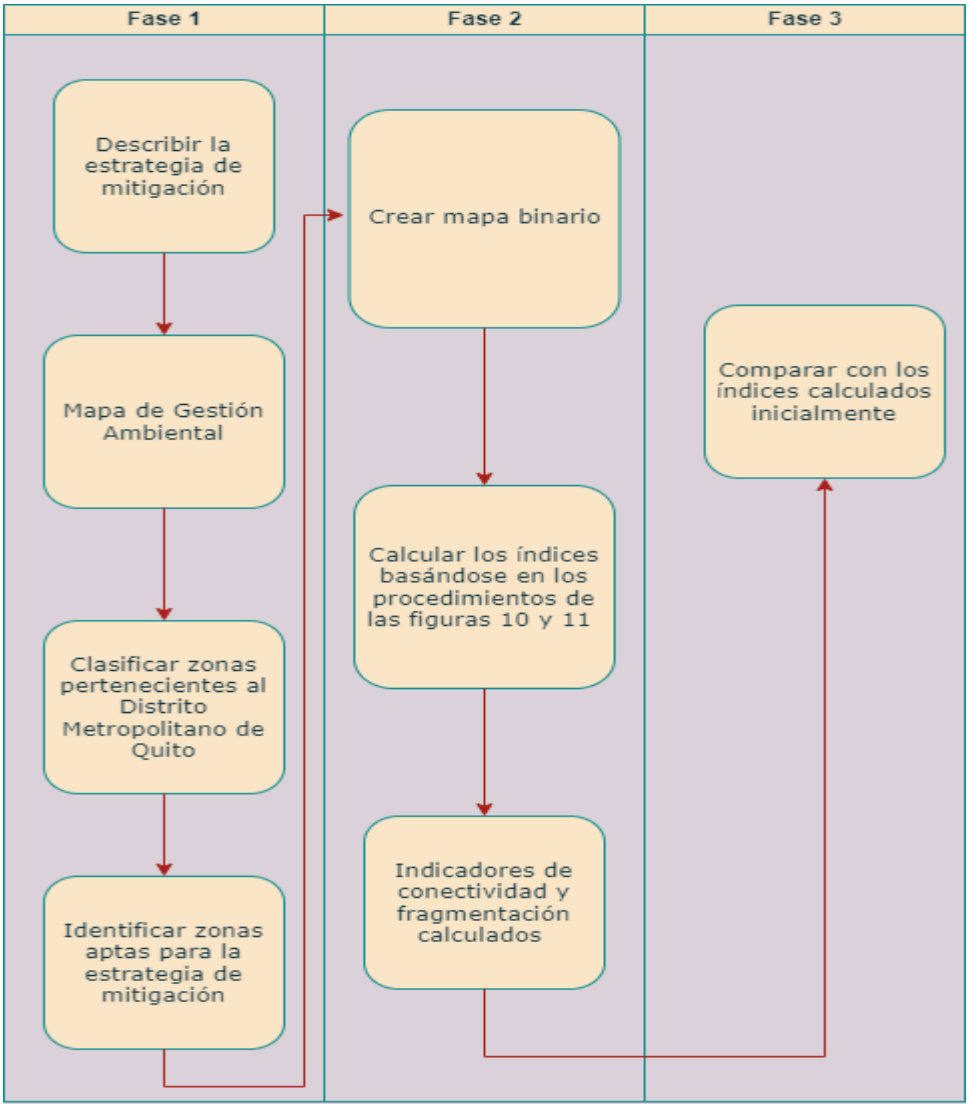
Fuente: MAATE
Elaborado por: Autor, 2022

La figura 9 solo presenta las zonas prioritarias de restauración correspondientes al Distrito Metropolitano de Quito.

En base a esta descripción, los pasos a seguir para elegir las áreas más apropiadas con características de reforestación se presentan en la figura 1.

Figura 9

Definition of priority restoration areas



Nota. La recolección de información en campo corresponde a un método tradicional de obtención de datos.
Fuente: Propuesta de Indicadores Nacionales de Biodiversidad – 2015
Elaborado por: Autor, 2022

Fase 1

Detalla que primero se procederá a descargar el mapa de gestión ambiental procedente del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, una vez obtenido el mapa, se van a clasificar las zonas que pertenezcan al Distrito Metropolitano de Quito, por último se van a determinar las zonas más aptas en la que se necesite aplicar estrategias de mitigación.

Fase 2

Se creará el mapa binario empleando el software ARCGIS que no es más que reclasificar las clases, es decir, queda solo dos tipos de información, en este caso, van a ser las de vegetación remanente y uso antrópico, para después ser exportados en uno de los varios formatos aceptados por fragstats, también se debe cargar al programa una tabla que describe las clases, la misma que se tratará más a fondo en la explicación del cálculo del índice de conectividad y estructura del paisaje, y con esta información, se volverán a calcular los índices de conectividad y el de fragmentación, con los procesos que se describen en las figuras 10 y 11.

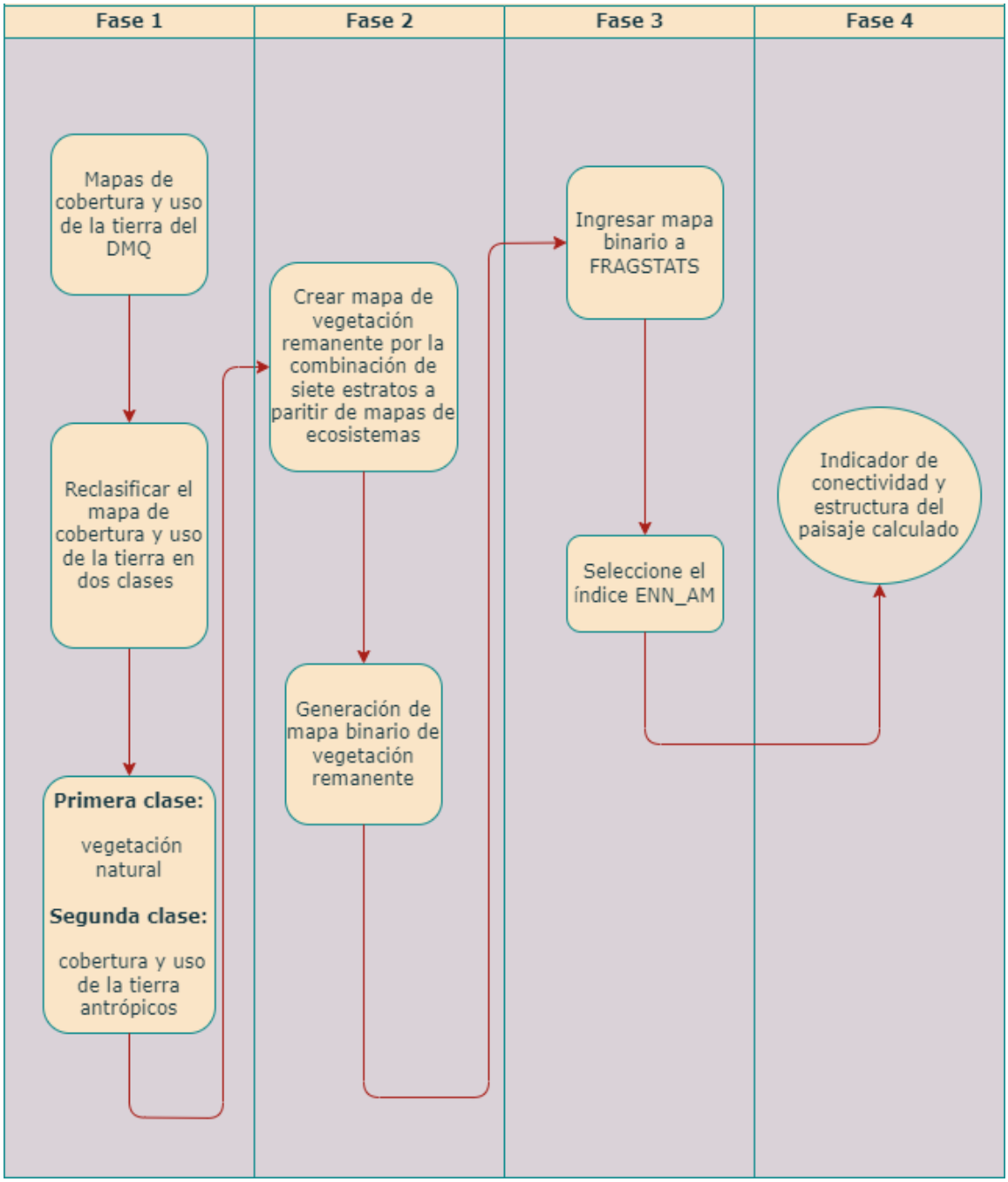
Fase 3

Obtenidos los valores, se procederá a hacer una comparación con los valores de los índices calculados anteriormente, para después proceder a describir la mejor estrategia de mitigación.

En la siguiente figura se puede observar detalladamente cómo es el proceso de preparación de la geoinformación para posteriormente llevarlos al software fragstats, además se explica cada una de las fases.

Figura 10

Steps to follow to determine the landscape structure and connectivity index in FRAGSTATS



Nota. El índice de conectividad dependerá del mapa binario creado.
Fuente: Propuesta de Indicadores Nacionales de Biodiversidad – 2015
Elaborado por: Autor, 2022

Es necesario recordar que para la reclasificación del mapa de Cobertura y Uso de la Tierra, además de la generación del mapa binario de vegetación remanente, se es

indispensable crearlos en el software ARGIS, y una vez modelados estos mapas, el último paso corresponde a cargarlos en FRAGSTATS.

Fase 1

Primero se va a obtener mapas de cobertura y uso de la tierra del Distrito Metropolitano de Quito, luego se reclasificará el mapa y uso de la tierra en dos clases, siendo el primero el de vegetación natural y el segundo cobertura y uso de la tierra antrópicos.

Fase 2

Se creará el mapa de vegetación remanente por la combinación de siete estratos a partir de mapas de ecosistemas y se generará un mapa binario de vegetación remanente.

Fase 3

Este mapa se lo cargará en el software FRAGSTATS y para calcular el índice de conectividad y estructura de paisaje, se debe seleccionar el índice ENN_AM. Como se mencionó anteriormente, el software fragstats acepta varios formatos, así que para esta investigación, se utilizará el formato GeoTIFF.

Adicionalmente, se debe cargar una tabla en fragstats, denominada “Descriptores de clase”, este paso es opcional, pero este archivo, le ofrece especificar descriptores de caracteres para cada clase, de modo que le ayuda a comprender mejor los archivos de salida, restringe los archivos de salida solo a los de su utilidad, además de reclasificar las clases a segundo plano (McGarigal, 2015).

La tabla debe ser creada como formato .csv, teniendo lo siguiente:

Tabla 4

Class descriptor – Table format

ID	Name	Enabled	IsBackground
1	natural	true	false
2	anthropic	true	true
3	conifer	false	false
4	other	true	true
etc.			

Nota. Así se debe ir construyendo la tabla para cargarla en fragstats.
Fuente: FRAGSTATS HELP, 2015
Elaborado por: Autor, 2022

Para esta investigación, la tabla para insertar en fragstats, se procedió a crearla en blog de notas.

Lo que representa el encabezado, se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 5

Meaning of the header

ID	Name	Enabled	IsBackground
Is an integer value corresponding to a class value in the landscape	Is a descriptive name of the class; descriptive names can be any length and contain any characters, including spaces, but cannot include commas	Can take on the values: true, or t; and false, or f. (upper or lower case), and determines whether the corresponding class should be processed and added to the	Can take on the values: true, or t; and false, or f (upper or lower case), and determines whether the corresponding class should be reclassified and treated as

	results or simply ignored in the output files	background (i.e., assigned the background value specified in the grid attributes).

Fuente: FRAGSTATS HELP, 2015
Elaborado por: Autor, 2022

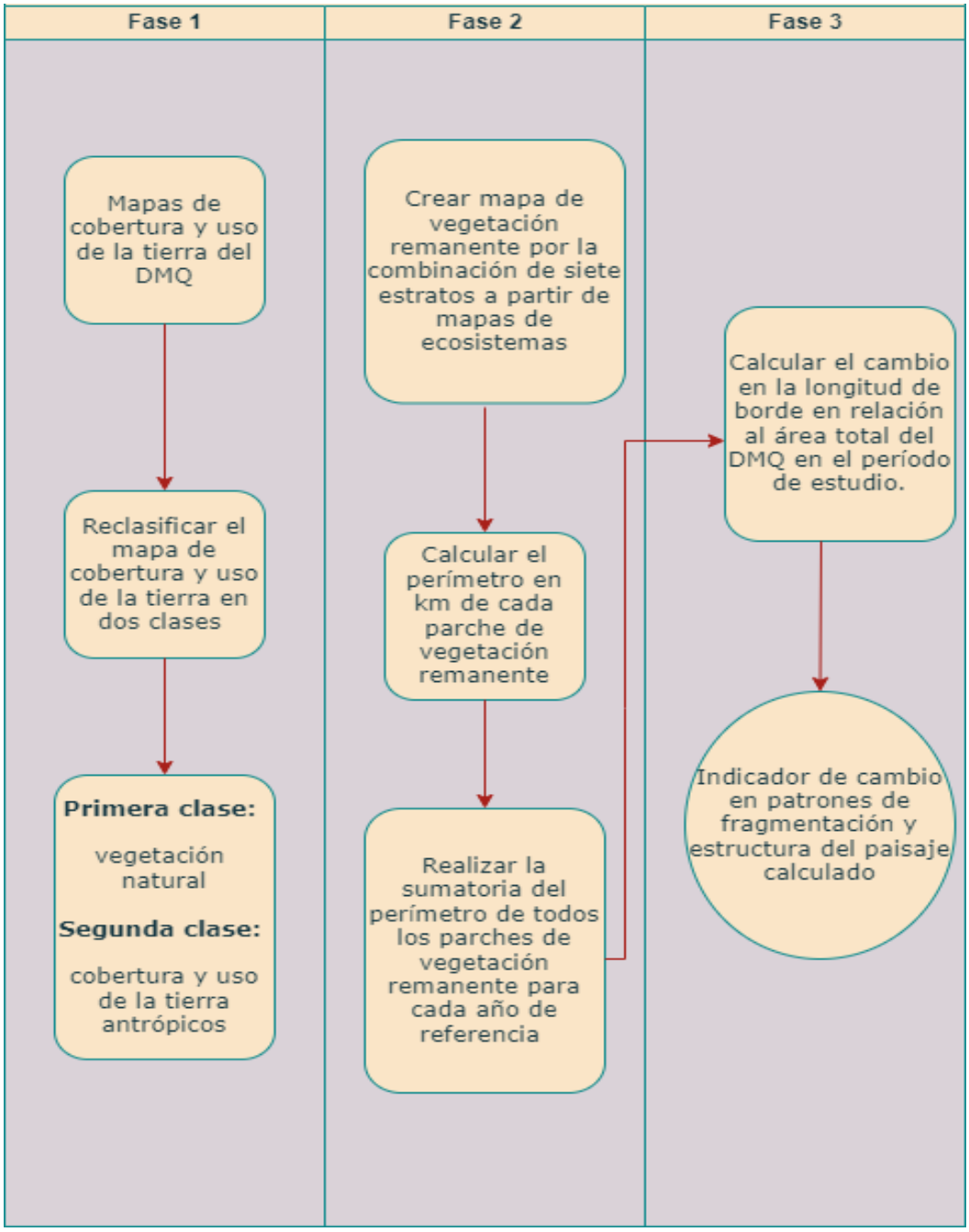
Fase 4

Esta última fase indica el valor del índice de conectividad y estructura de paisaje calculado, siendo la definición, la distancia euclidiana promedio al parche más cercano de vegetación natural remanente, ponderada por el área de los parches. Para conocer el estado en el que se encuentra el Distrito Metropolitano de Quito, en función a la Cobertura y Uso de la Tierra, se calculará el índice de varios años.

El siguiente y último índice que se va a calcular es el de cambio en patrones de fragmentación y estructura de paisaje, para lo cual se utiliza el software ARCGIS, esto con el fin de generar los mapas, y una vez originados se usa la ecuación de CONDESAN, el proceso de obtención de este indicador se visualiza en la figura 3.

Figura 11

Procedure for evaluating the rate of change in fragmentation patterns



Nota. Este procedimiento se debe hacer para dos períodos distintos.
Fuente: Propuesta de Indicadores Nacionales de Biodiversidad – 2015
Elaborado por: Autor, 2022

Cabe recalcar que una vez elaborados los mapas en ARCGIS, en este mismo software se procede a determinar "LB" con la ecuación mencionada anteriormente, la cual se puede visualizar a continuación:

$$LB = \left(\frac{1}{t_2 - t_1}\right) * \left(\frac{LB_{t2} - LB_{t1}}{A_{EC}}\right) \qquad 1$$

El significado de las variables descritas en la ecuación de CONDESAN, se presenta en la posterior tabla.

Tabla 6

Description of the components of the equation

Variable	Meaning	Unit
t_2 - t_1	Lapso de tiempo en años entre las dos fechas de análisis	Years
$LB_{t2} - LB_{t1}$	Variación en kilómetros en la longitud de borde entre vegetación remanente y áreas intervenidas en el período $t_1 - t_2$	Km
A_{EC}	Área total de la zona de estudio	Km^2
LB	Cambio anual en la longitud de borde entre áreas intervenidas y vegetación remanente en un período de referencia	$\frac{Km}{Km^2 * año}$

Nota. Aunque se hace mención a tres variables en la ecuación, es pertinente tomar en consideración que vienen a ser solo valores para calcular el índice de cambio en patrones de fragmentación, o dicho de otra forma, son datos para obtener "LB".
Fuente: Propuesta de Indicadores Nacionales de Biodiversidad, 2015
Elaborado por: Autor, 2022

La longitud de borde mencionada en la tabla 3, no es nada más que la sumatoria del perímetro de todos los parches de vegetación remanente de una fecha específica.

Fase 1

Primero se va a obtener mapas de cobertura y uso de la tierra del Distrito Metropolitano de Quito, se reclasificará el mapa de cobertura y uso de la tierra en dos clases, siendo el primero el de vegetación natural y el segundo cobertura y uso de la tierra antrópicos.

Fase 2

Se procederá a crear el mapa de vegetación remanente combinando siete estratos a partir de mapas de ecosistemas y con la generación de este mapa, se calculará el perímetro en kilómetros de cada parche de vegetación remanente, para finalizar con la sumatoria del perímetro de todos los parches de vegetación remanente para el año de referencia.

Fase 3

Por último, se va a calcular el cambio en la longitud de borde en relación al área total del DMQ en el período de estudio, determinando así el valor del índice, definiéndolo como el cambio anual en la longitud de borde entre áreas intervenidas y vegetación remanente en un período de referencia.

Es importante mencionar que los datos de entrada producidos para el cálculo de la conectividad y estructura de paisaje, serán de ayuda para el análisis de este índice.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Índice de Conectividad y Estructura del Paisaje

A continuación se describen los resultados obtenidos, contemplando la métrica de paisaje de la distancia euclidiana del vecino más cercano, ponderada por área (ENN_AM). La tabla utilizada para descriptores de clase fue la siguiente:

Tabla 7

Table format for fragstats

ID	Name	Enabled	IsBackground
1	natural	true	false
2	anthropic	true	false

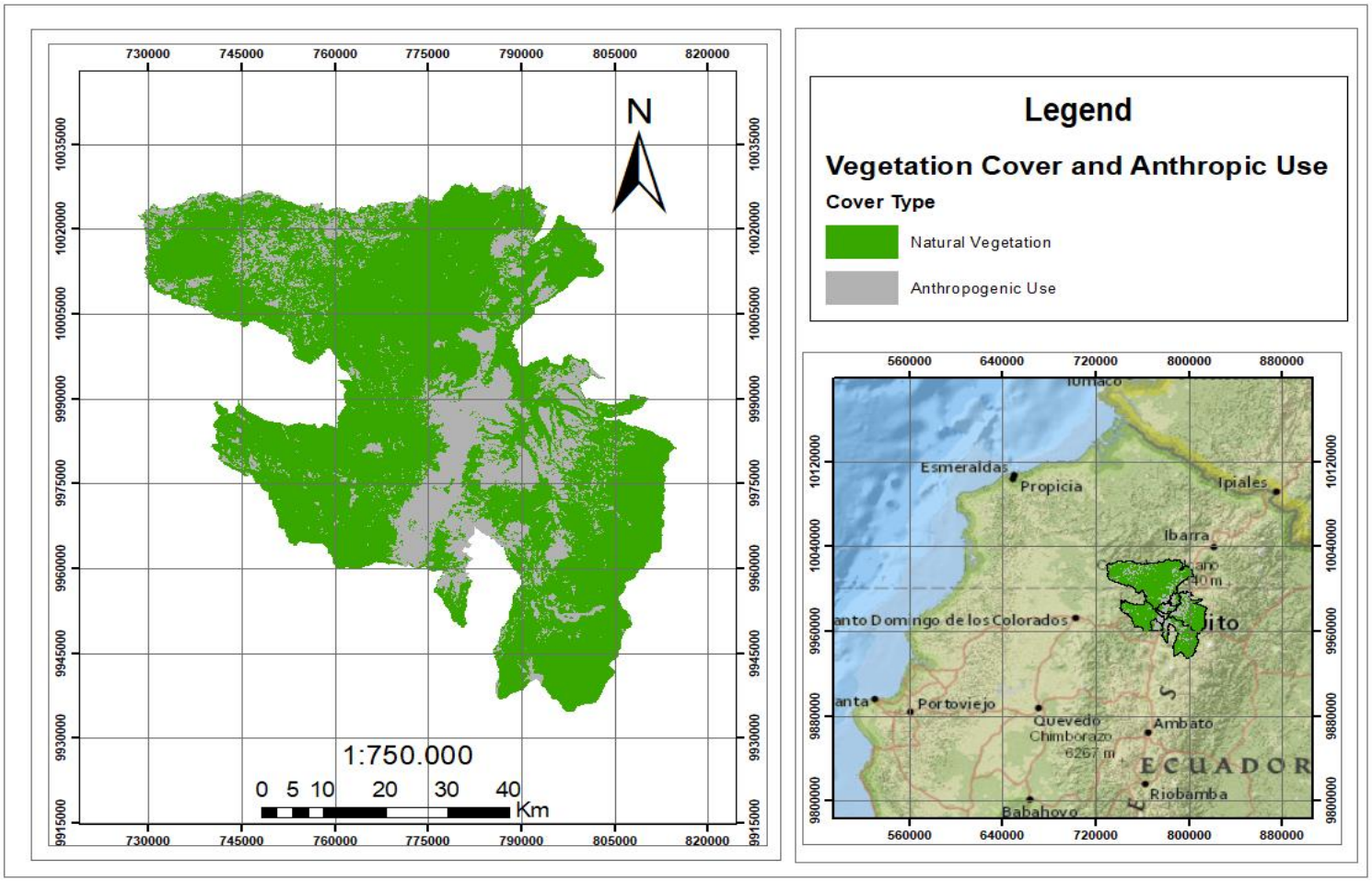
Nota. Esta tabla se usó en el cálculo del índice de conectividad y estructura del paisaje, para los tres años de estudio, es decir, 2014, 2016 y 2018.
Fuente: fragstats
Elaborado por: Autor, 2022

Para poder cargar la tabla en fragstats, se usó la extensión .fcd, que es una clase propia del programa. Los mapas binarios de los tres años de estudio, constan de dos componentes, el primero pertenece a cobertura vegetal y el otro a cobertura y uso de la tierra antrópicos, los cuales se pueden observar posteriormente.

El primer cálculo corresponde al año 2014, el mismo en el que la vegetación natural era más prominente que en los años siguientes.

Figura 12

Reclassified map – 2014

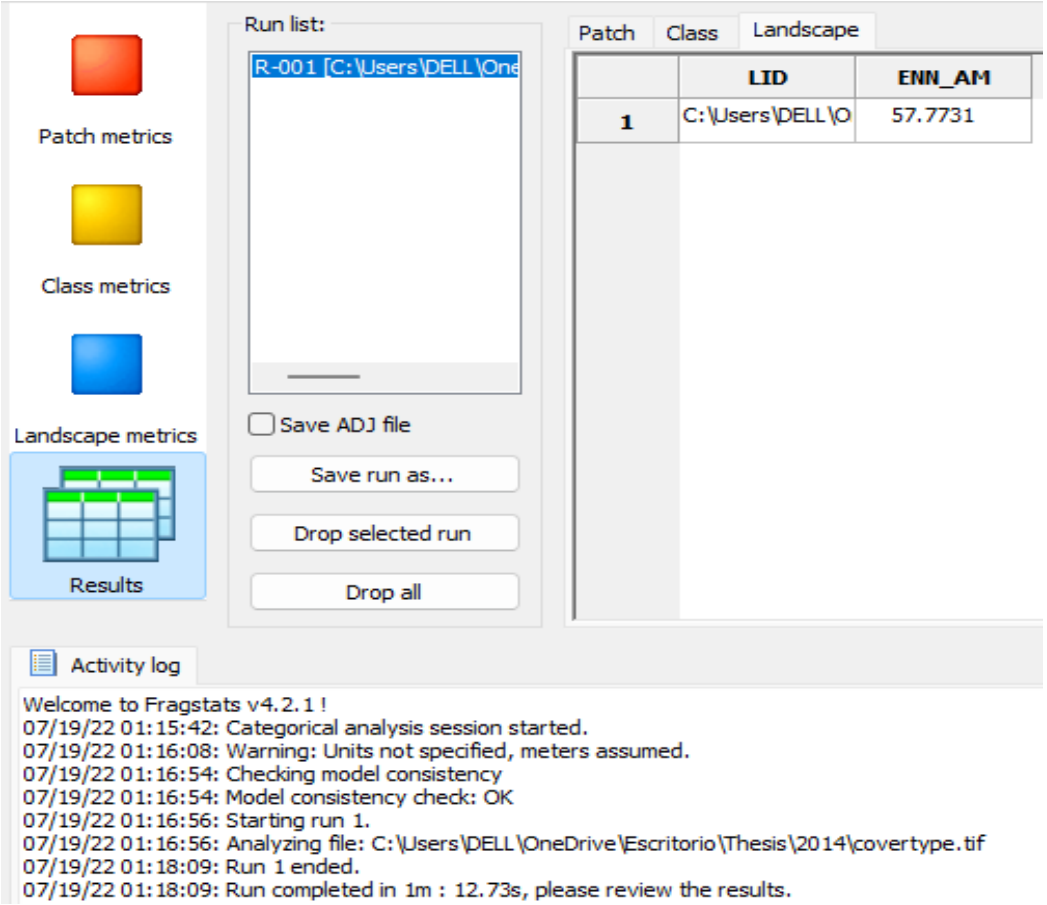


Fuente: MAATE
Elaborado por: Autor, 2022

Después de haber sido reclasificado el mapa de Cobertura y Uso de la Tierra del año 2014, se procedió a exportarlo en un formato compatible con fragstats, el programa lee otros formatos, pero para esta investigación se utilizó la extensión GeoTIFF, la misma se usará para los siguientes años de estudio.

Una vez cargado el mapa y la tabla de descriptores de clase, el programa arrojó el siguiente valor que cuantifica la conectividad y la estructura del paisaje:

Figura 13 *Connectivity index and landscape structure calculated in fragstats - 2014*



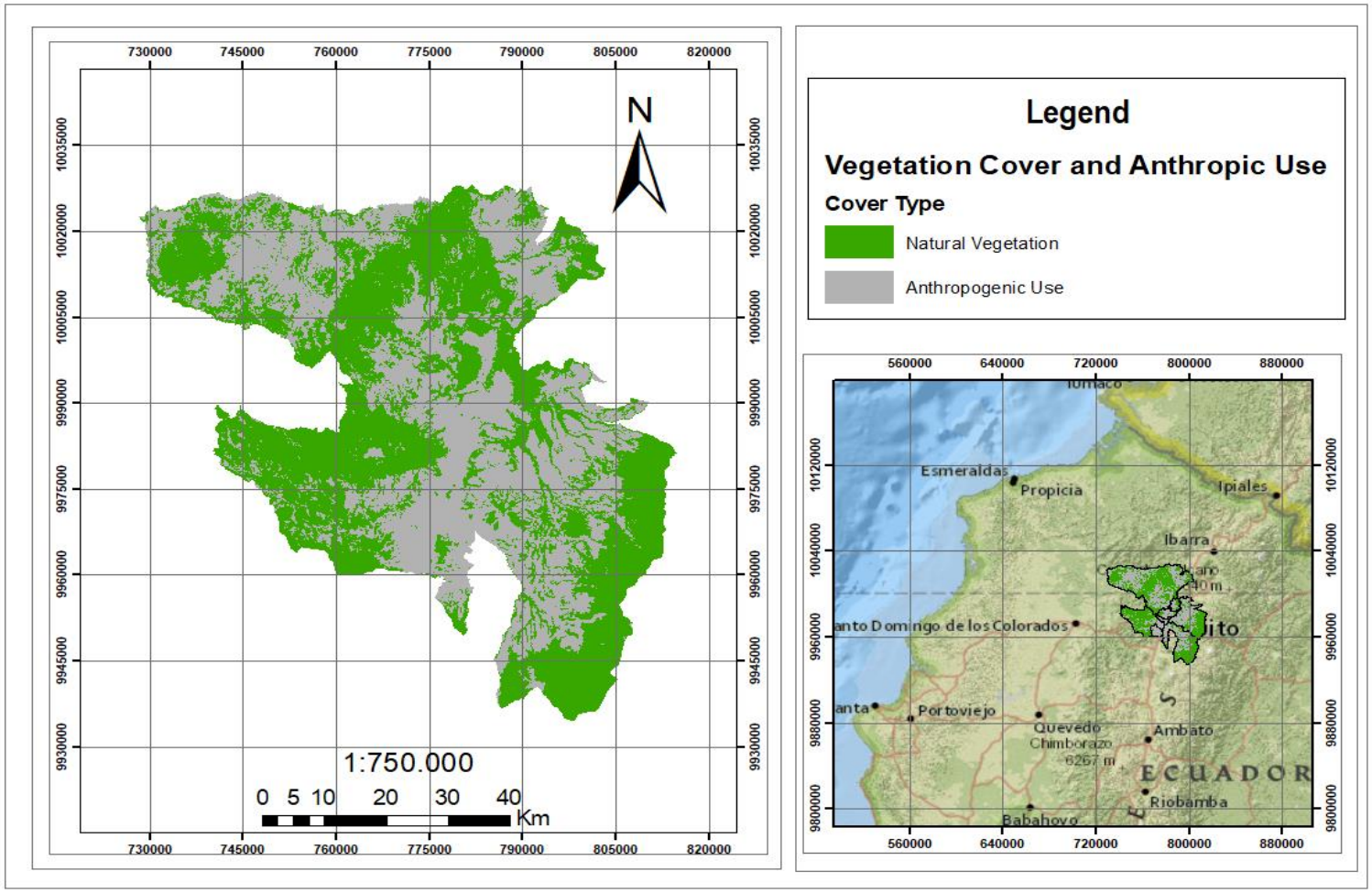
Fuente: fragstats
Elaborado por: Autor, 2022

Fragstats determina que el valor del índice ENN_AM para el año 2014 es de 57.7731 m.

En la siguiente figura se puede ver cómo ha cambiado la cobertura vegetal y el uso de tierra antrópico en solamente dos años.

Figura 14

Reclassified map – 2016

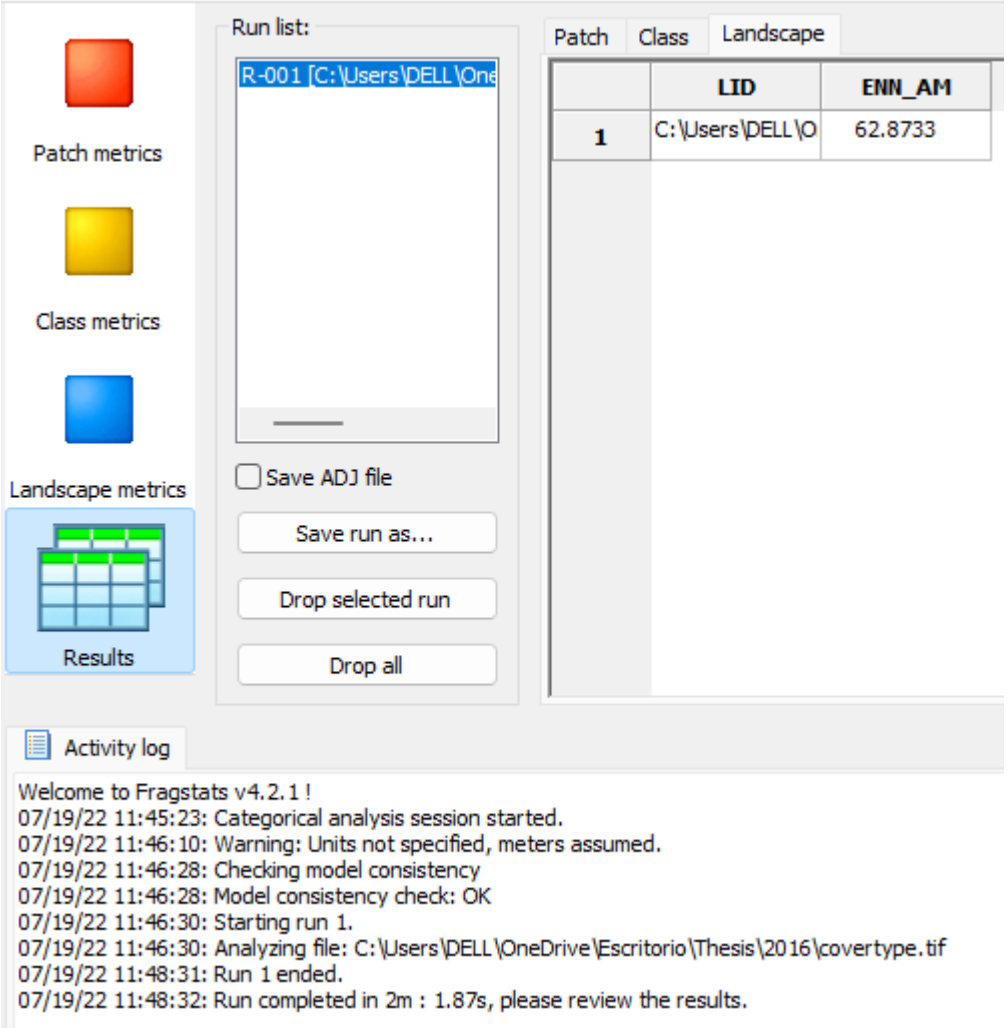


Fuente: MAATE
Elaborado por: Autor, 2022

Una vez reclasificado el mapa de Cobertura y Uso de la Tierra del año 2016, se volvió a exportarlo con extensión GeoTIFF, dando el siguiente resultado:

Figura 15

Connectivity index and landscape structure calculated in fragstats – 2016

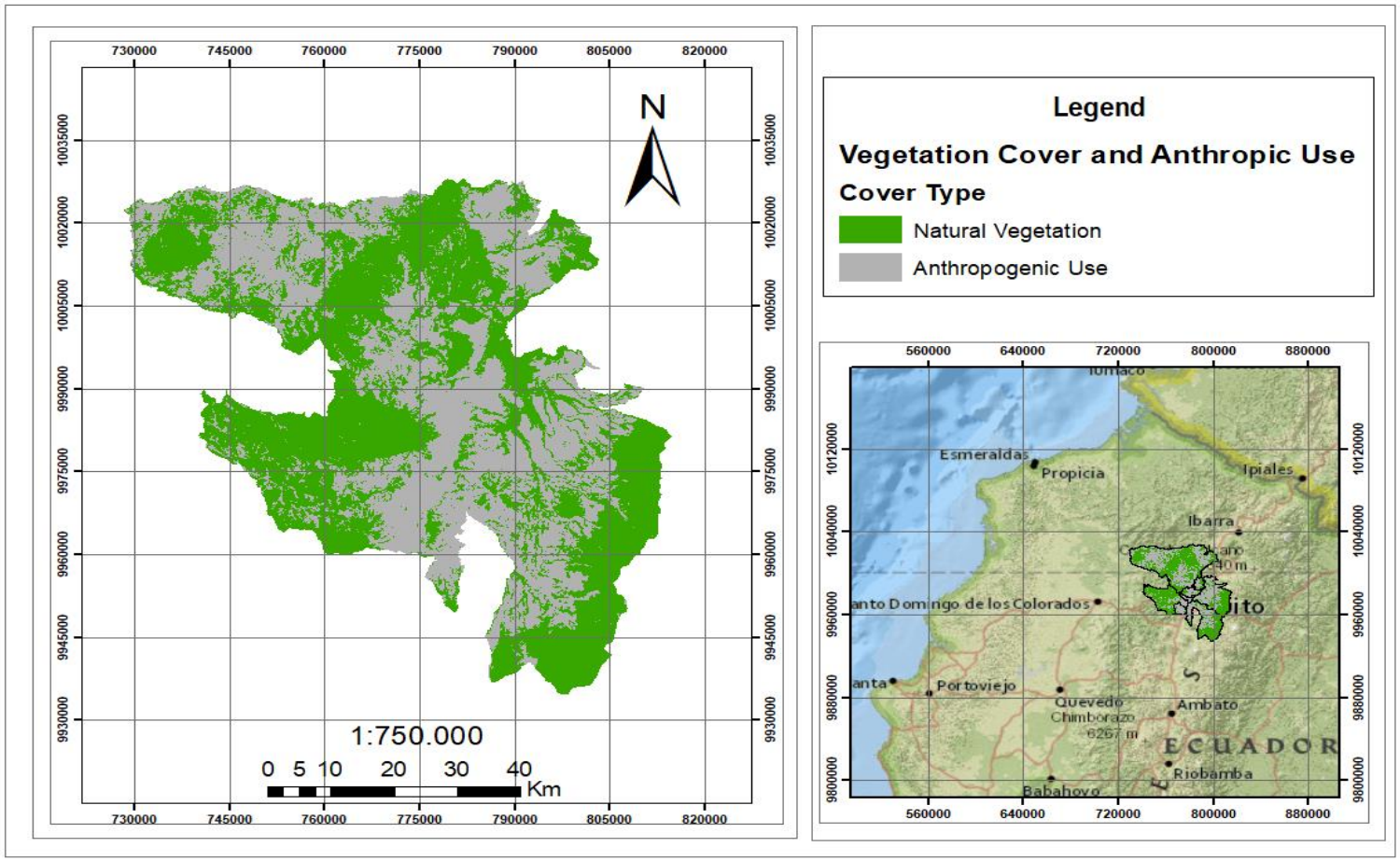


Fuente: fragstats
Elaborado por: Autor, 2022

El valor del índice ENN_AM para el año 2016 es de 62.8733 m. Después de dos años, es evidente que ha existido un aumento en relación al año 2014. La información del año 2018, es la más actualizada disponible, es así que la cobertura vegetal y el uso de tierra antrópico, para dicho período, se puede observar en la siguiente figura.

Figura 16

Reclassified map – 2018

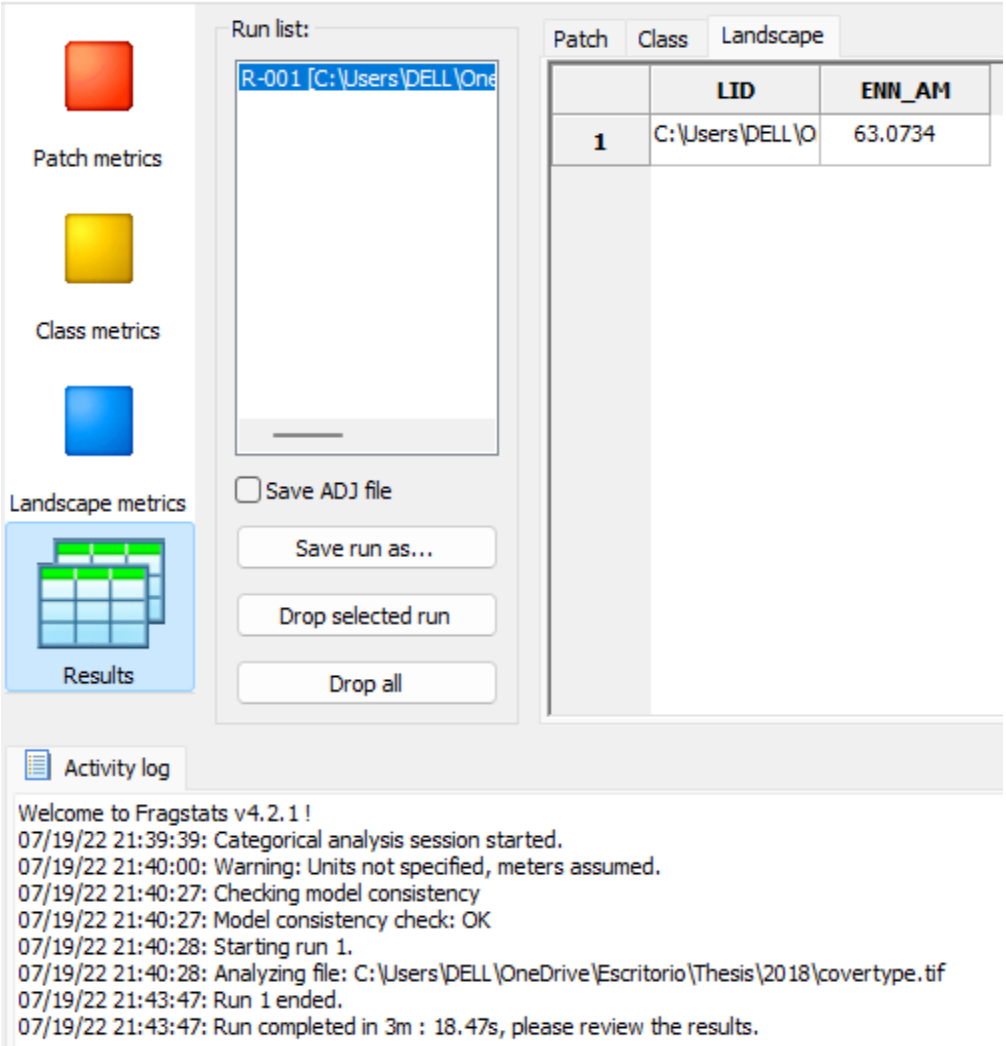


Fuente: MAATE
Elaborado por: Autor, 2022

Después de haber sido cargado el mapa en fragstats, el valor del índice respecto al año 2018 se muestra en la figura 9.

Figura 17

Connectivity index and landscape structure calculated in fragstats – 2018



Fuente: fragstats
Elaborado por: Autor, 2022

El valor del índice para el último año de estudio es de 63.0734 m.

Posteriormente se muestra una tabla resumida de los valores del índice de conectividad y estructura del paisaje de los tres años calculados:

Tabla 8

ENN_AM index for three different years

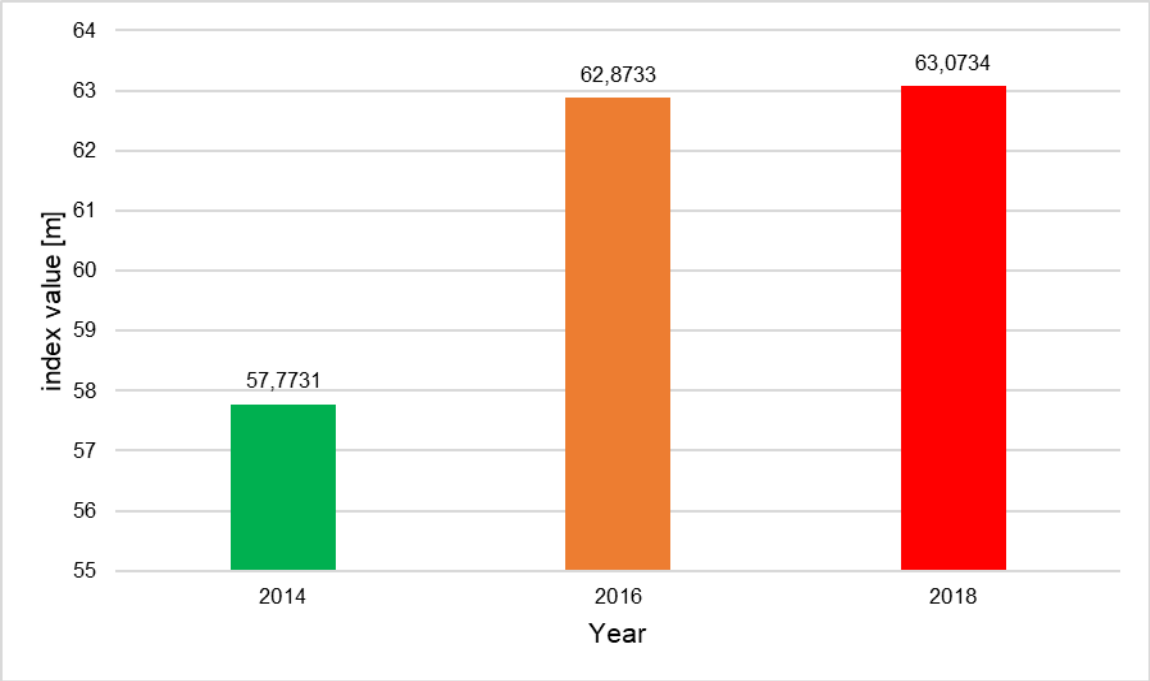
Año	Índice ENN_AM
2014	57.7731 m
2016	62,8733 m
2018	63.0734 m

Fuente: fragstats
Elaborado por: Autor, 2022

El índice con el que se trabajó (ENN_AM) se acerca a cero a medida que disminuye la distancia al vecino más cercano, es decir, que entre más zonas antrópicas vayan fraccionando un paisaje, de modo que la cobertura vegetal se vaya perdiendo, el valor de conectividad irá aumentando, porque la distancia entre parche y parche de vegetación será mayor.

Figura 18

Connectivity indicators values



Fuente: fragstats
Elaborado por: Autor, 2022

Es indudable que el valor del índice de conectividad y estructura del paisaje ha ido incrementando con el pasar de los años, desde el 2014 hasta el 2016 este índice presenta un aumento del 8.83%, desde el año 2014 hasta al año 2018 muestra un crecimiento del 9.17%, y desde el año 2016 al 2018, el incremento ha sido del 0.32%, esta pérdida de conectividad puede estar relacionada con el acrecentamiento de las actividades antrópicas.

4.2 Índice de Fragmentación y Estructura del Paisaje

Los resultados de este índice, que representa el cambio en la longitud de borde entre áreas intervenidas y vegetación remanente para un tiempo definido, se exponen a continuación, además, también se presentan gráficos sobre la división de cobertura vegetal y el uso antrópico de la tierra, para los diferentes años de estudio.

Para el año 2014, se tienen los siguientes valores con respecto a la Cobertura y Uso de la Tierra:

Tabla 9

Division between vegetation cover and anthropic use - 2014

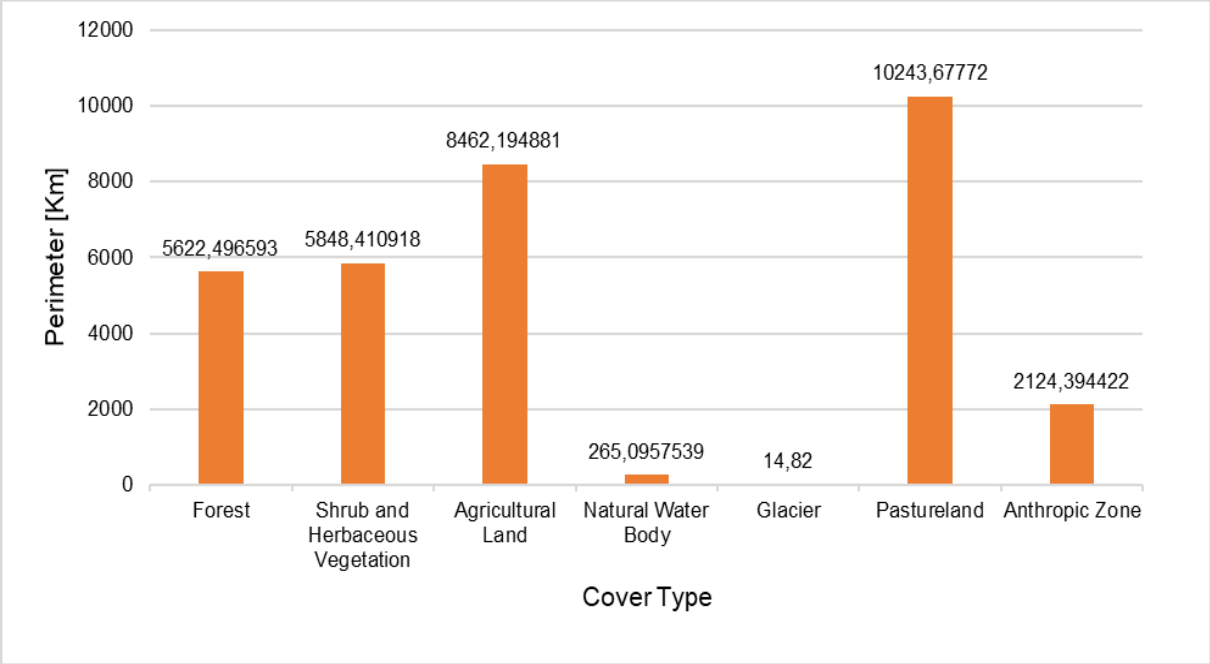
Cover	Perimeter (Km)
Forest	5622,496593
Shrub and Herbaceous Vegetation	5848,410918
Agricultural Land	8462,194881
Natural Water Body	265,0957539
Glacier	14,82
Pastureland	10243,67772
Anthropic Zone	2124,394422

Fuente: MAATE
Elaborado por: Autor, 2022

Para el cálculo del índice de fragmentación y estructura del paisaje, se usa solo la sumatoria del perímetro total de los parches de vegetación remanente, teniendo un valor de 21994,501 Km, mientras que para zonas intervenidas el valor es de 10586,5893 Km correspondiente al 2014.

Figura 19

Land cover and use status – 2014

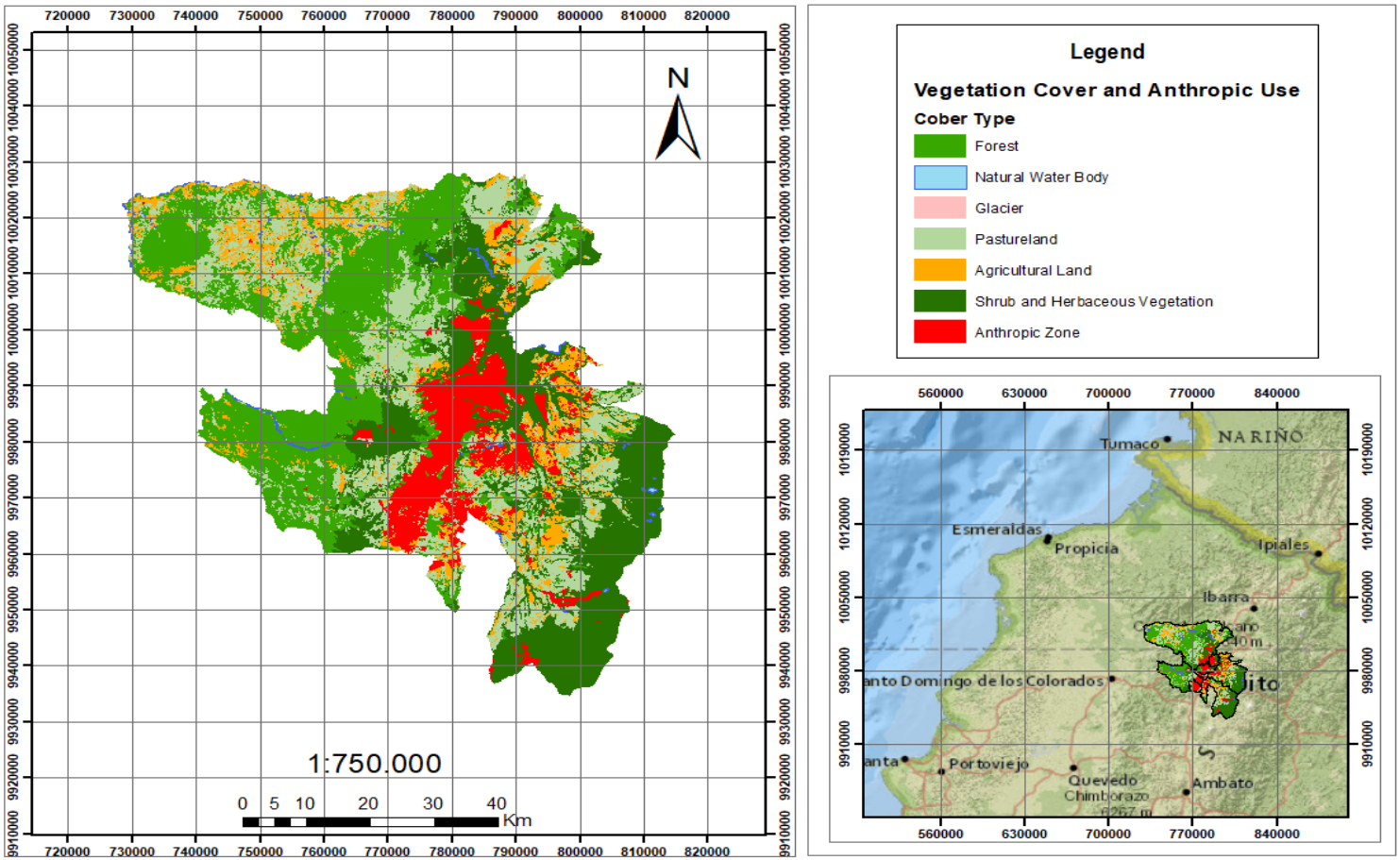


Fuente: MAATE
Elaborado por: Autor, 2022

Entonces, en el Distrito Metropolitano de Quito, para el año 2014 existía una diferencia del 51,87% de vegetación natural con respeto a las zonas intervenidas, en otras palabras, existía vegetación natural en grandes cantidades.

Figura 20

Land Cover and Use - 2014



Fuente: MAATE
Elaborado por: Autor, 2022

La figura 12 representa el estado del Distrito Metropolitano de Quito en relación a la cobertura remanente y el uso de tierra antrópico, siendo para este año, mayor el valor del perímetro de cobertura remanente contra el de intervención antrópica.

Para el año 2016, se obtuvieron los siguientes datos que cuantifican a la Cobertura y Uso de la Tierra:

Tabla 10

Division between vegetation cover and anthropic use - 2016

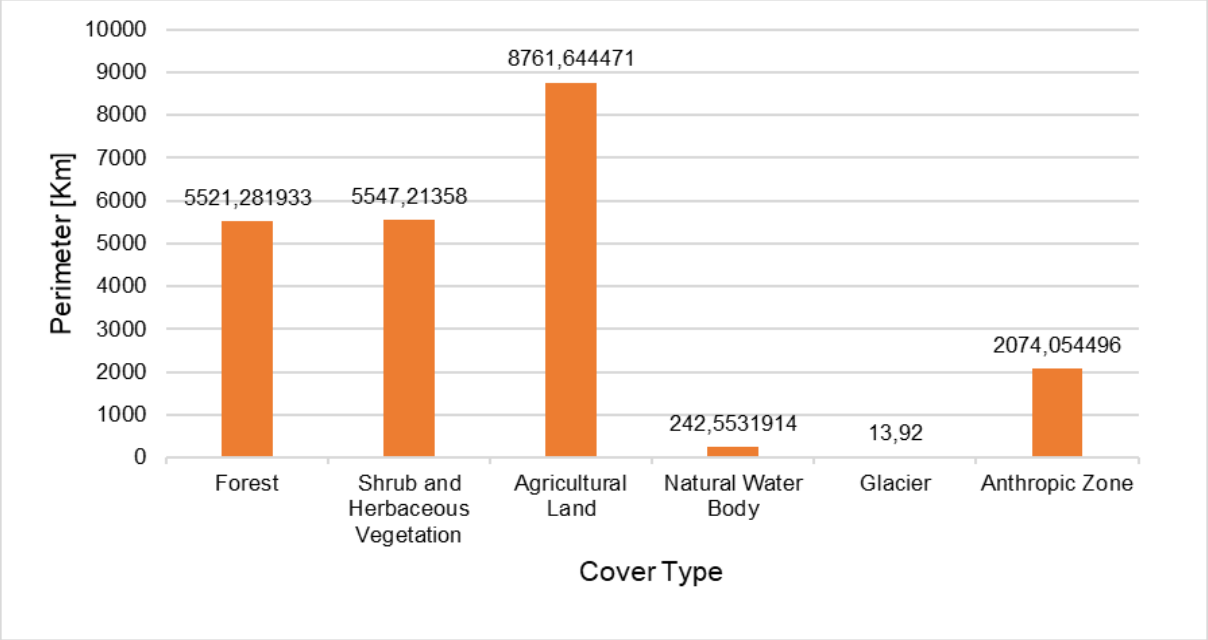
Cover	Perimeter (Km)
Forest	5521,281933
Shrub and Herbaceous Vegetation	5547,21358
Agricultural Land	8761,644471
Natural Water Body	242,5531914
Glacier	13,92
Anthropic Zone	2074,054496

Fuente: MAATE
Elaborado por: Autor, 2022

En cambio, para el año 2016, la suma del perímetro de todos los parches de vegetación remanente fue de 11324,9687 Km, y para zonas intervenidas de 10835,699 Km, reflejando una gran disminución de vegetación.

Figura 21

Land cover and use status – 2016

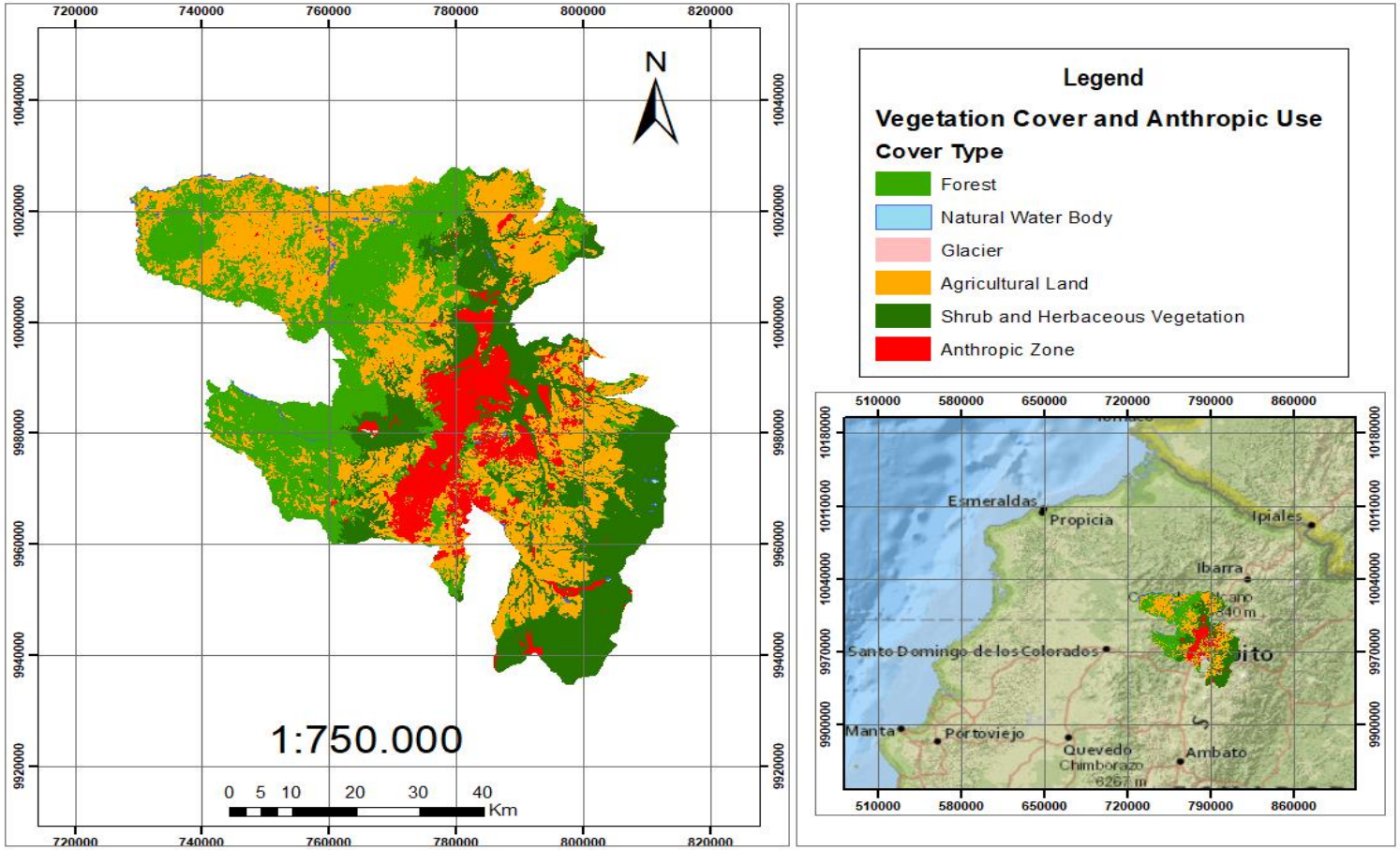


Fuente: MAATE
Elaborado por: Autor, 2022

En cambio, para el año 2016, el Distrito Metropolitano de Quito contaba con una diferencia del 4,32% de vegetación en cuanto a las zonas intervenidas, lo que quiere decir que, en tan solo dos años, la vegetación natural se redujo significativamente.

Figura 22

Land Cover and Use - 2016



Fuente: MAATE
Elaborado por: Autor, 2022

En cuanto a la figura 16, expone que la cobertura remanente y el uso de tierra antrópico, mantienen valores no muy diferentes.

Par el año 2018, los datos del estado de la Cobertura y Uso de la Tierra son los siguientes:

Tabla 11

Division between vegetation cover and anthropic use - 2018

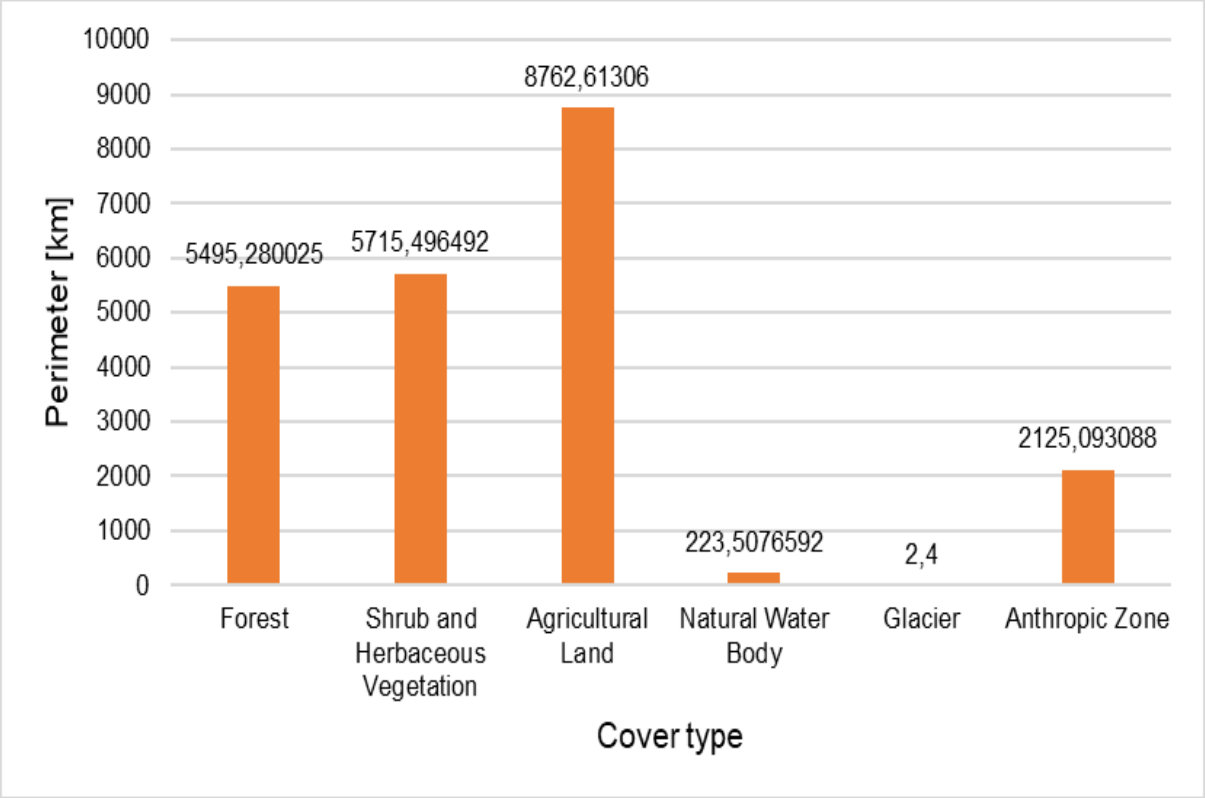
Cover	Perimeter (Km)
Forest	5495,280025
Shrub and Herbaceous Vegetation	5715,496492
Agricultural Land	8762,61306
Natural Water Body	223,5076592
Glacier	2,4
Anthropic Zone	2125,093088

Fuente: MAATE
Elaborado por: Autor, 2022

En el año 2018, la suma del perímetro de todos los parches de vegetación remanente tuvo un valor de 11436,68418 Km, por otro lado, el uso de tierra antrópico, presentó un valor de 10887,70615 Km, siendo ligeramente mayor el de vegetación.

Figura 23

Land cover and use status – 2018

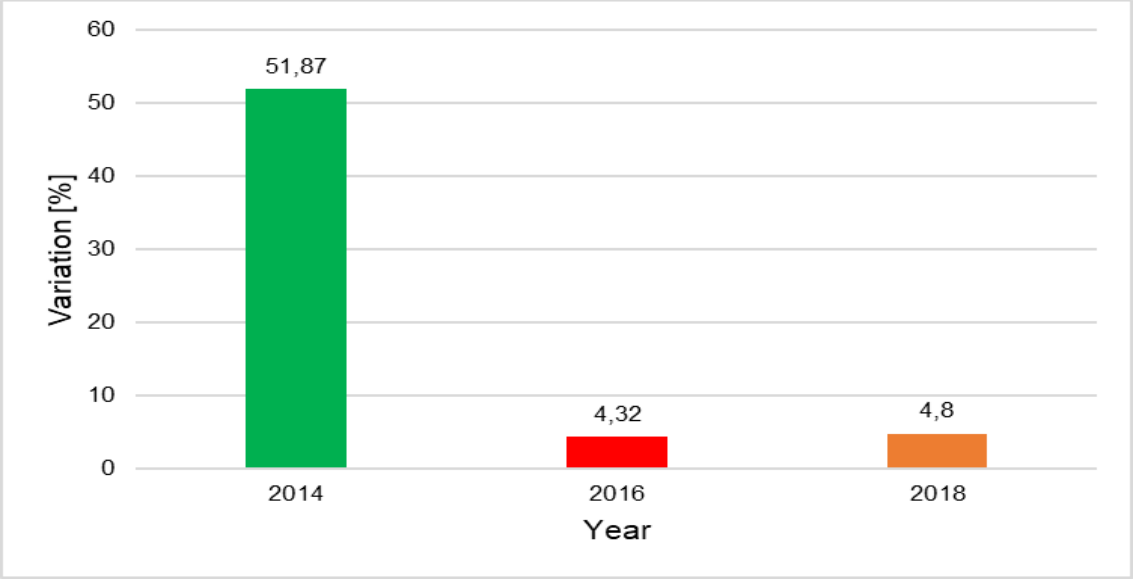


Fuente: MAATE
Elaborado por: Autor, 2022

En lo que se refiere al año 2018, el Distrito Metropolitano de Quito disponía del 4,8% más de vegetación natural sobre las zonas de uso antrópico, teniendo un ligero aumento en comparación con el año 2016.

Figura 24

Variation of coverage through the years

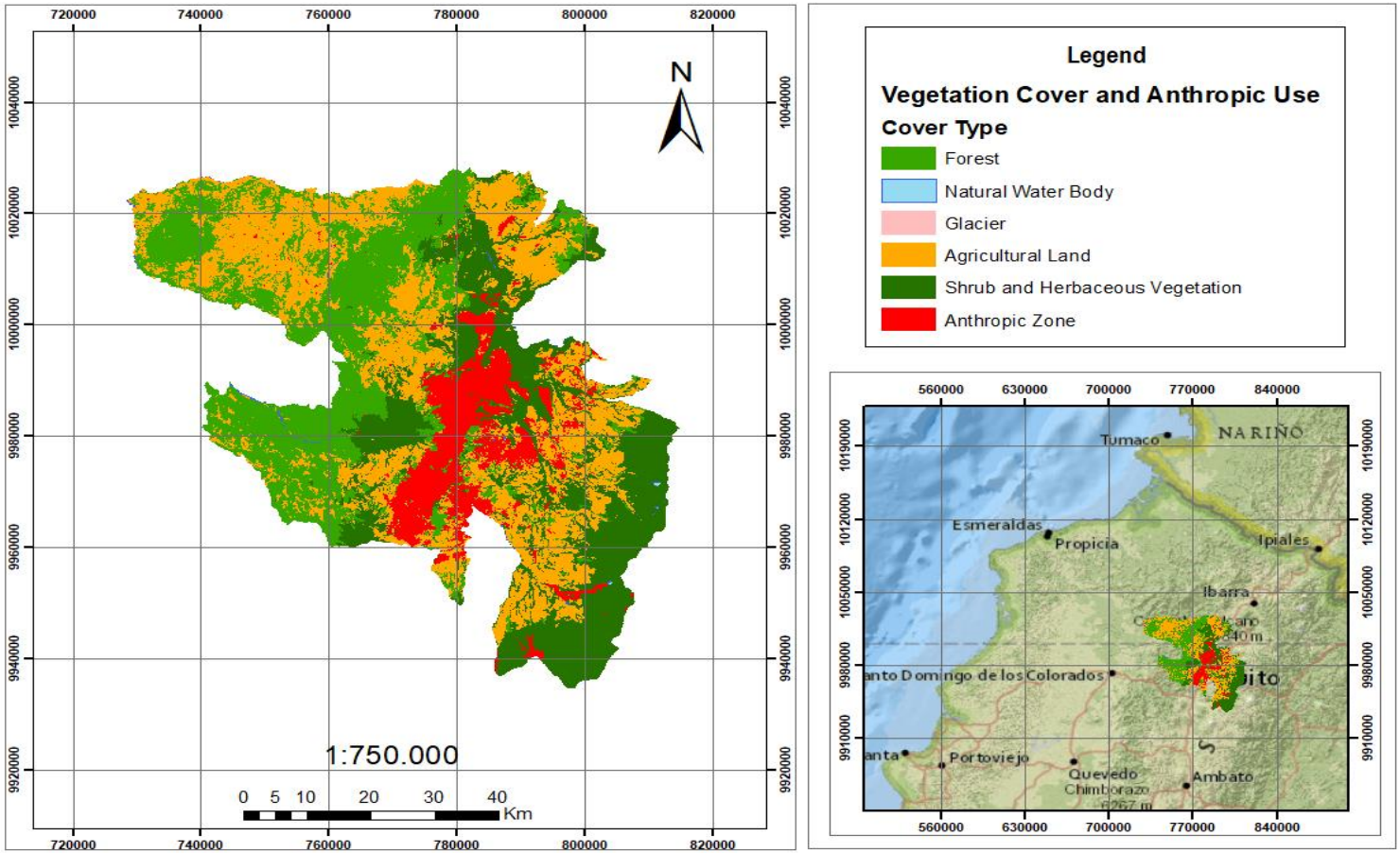


Fuente: MAATE
Elaborado por: Autor, 2022

La cobertura remanente del año 2018 aumentó en comparación a la del año 2016, pero se mantiene muy por debajo del valor de cobertura vegetal del año 2014.

Figura 25

Land Cover and Use - 2018



Fuente: MAATE
Elaborado por: Autor, 2022

Para el último año de estudio, los cambios que han existido entre cobertura remanente y uso de la tierra antrópico, cambiaron de manera insignificante, así que con estos datos se procede a calcular el índice de fragmentación y estructura del paisaje usando la siguiente fórmula 1.

Como para este índice se debe hacer una comparación entre dos años, se hará el cálculo entre los años 2014 – 2016 y 2016 – 2018.

4.2.1 Análisis Entre los Años 2014 – 2016

Aplicando los datos que se obtuvieron de la sumatoria de los parches de vegetación remanente y áreas intervenidas en la fórmula 1, queda lo siguiente:

$$LB = \left(\frac{1}{(2016 - 2014)Años}\right)\left(\frac{(11324{,}9687 - 21994{,}501)\text{Km}}{4231{,}2837\ Km^2}\right)$$

$$LB = -1{,}26079137[\frac{Km}{Km^2 * Año}]$$

Para estos años se obtiene un índice negativo.

4.2.2 Análisis Entre los Años 2016 – 2018

Para los años 2016 – 2018, el índice tiene el siguiente valor:

$$LB = \left(\frac{1}{(2018 - 2016)Años}\right)\left(\frac{(11436{,}684 - 11324{,}969\ )\text{Km}}{4231{,}2837\ Km^2}\right)$$

$$LB = 0{,}01320113[\frac{Km}{Km^2 * Año}]$$

Para estos años se obtiene un índice positivo.

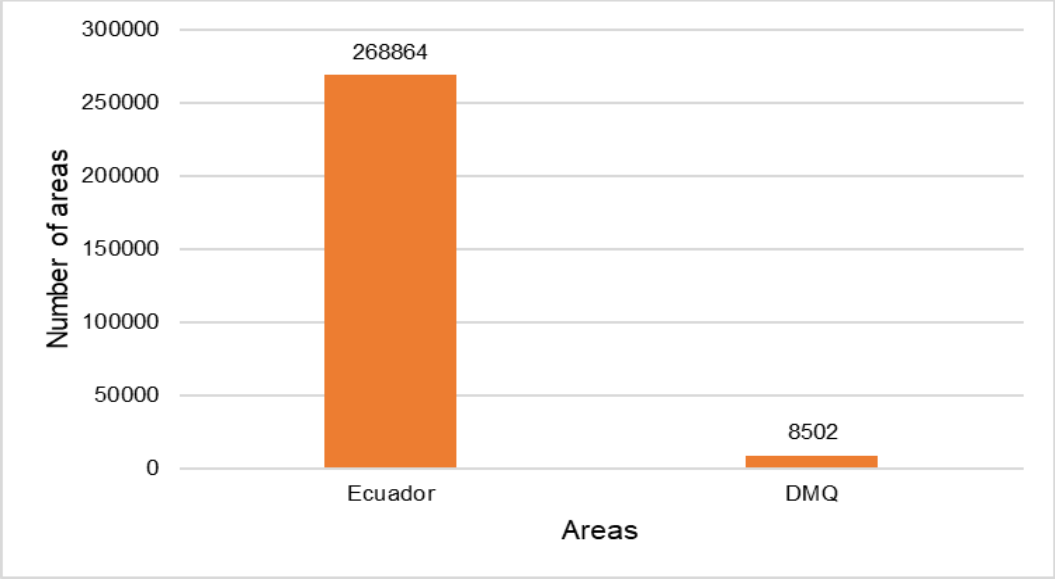
El resultado negativo de LB que se observa en el análisis entre los años 2014 y 2016, se halla vinculado a la pérdida de parches de vegetación remanente, y una alteración de la matriz, en la que predomina coberturas y usos de la tierra de procedencia antrópica, por otra parte, el resultado positivo entre la comparación de cobertura vegetal de los años 2016 y 2018, señala el crecimiento en la fragmentación de vegetación natural, en consecuencia del establecimiento de parches recientes, ligados a la transformación de cobertura y uso de la tierra.

4.3 Cálculo de Índices en Zonas con Características de Potencial Intervención

Una vez que se descargó el mapa de la parte de Gestión Ambiental del MAATE, se identificaron 268864 zonas consideradas como prioritarias de restauración en todo el Ecuador, mientras que las pertenecientes al Distrito Metropolitano de Quito son 8502 zonas.

Figura 26

Number of management priority areas



Fuente: MAATE
Elaborado por: Autor, 2022

De la cantidad total existente, solo el 3,16% de áreas le pertenecen al Distrito Metropolitano de Quito, por lo que se consideraron todas estas zonas para volver a calcular los índices y así conocer su estado paisajístico.

La tabla de descriptores de clase que se cargará junto con el nuevo mapa binario que se obtenga a partir de las zonas prioritarias de restauración es la que se muestra a continuación:

Tabla 12

Table format for fragstats

ID	Name	Enabled	IsBackground
1	area	true	true
2	priority	true	false

Fuente: fragstats
Elaborado por: Autor, 2022

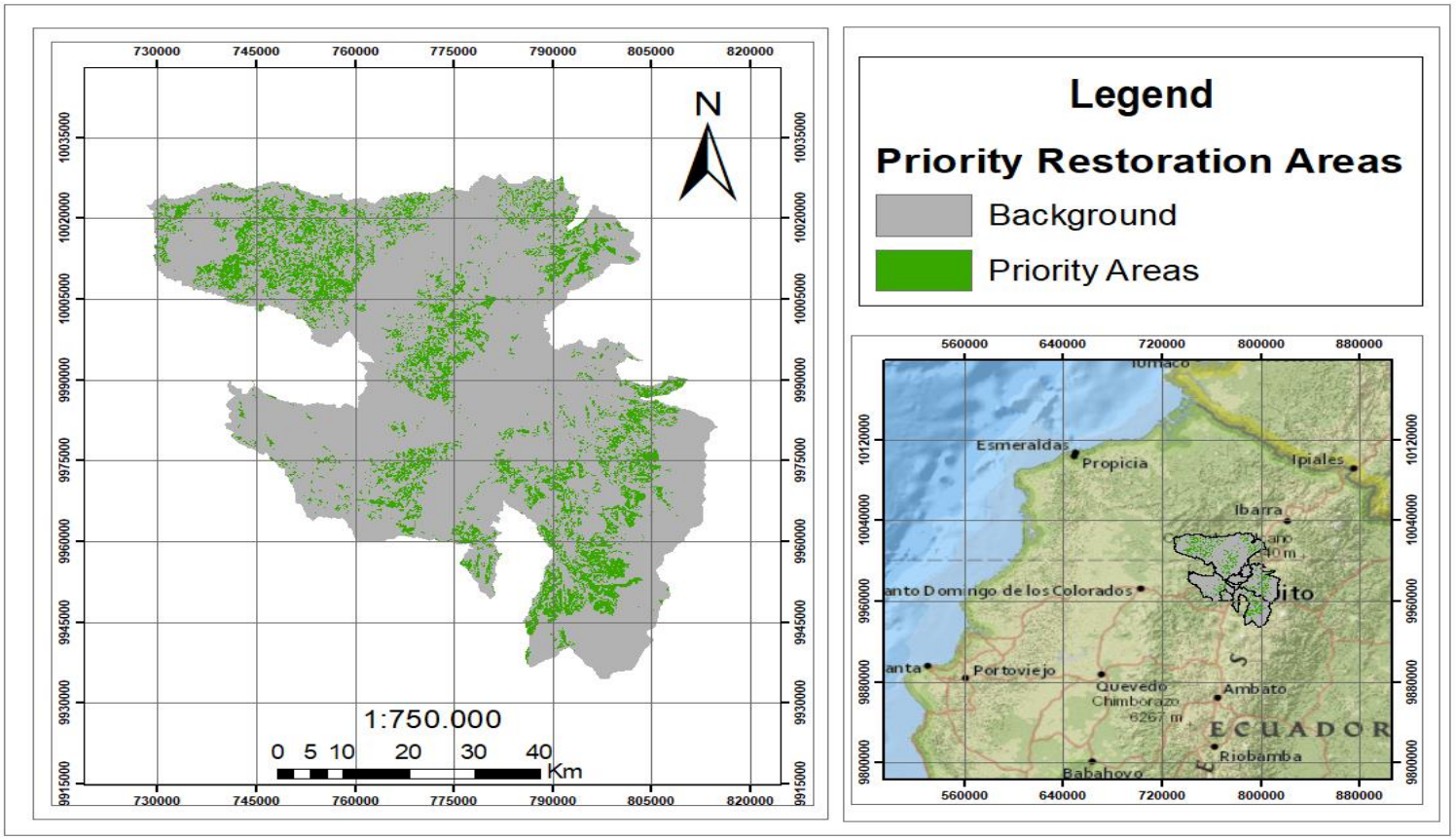
Esta tabla se cargó en el programa con la extensión .fcd.

En el mapa binario perteneciente a las zonas prioritarias de restauración, se puede observar claramente que la vegetación natural es inferior contra lo que se encuentra a su alrededor, que para este caso a todo lo que no eran zonas prioritarias de restauración, se le denominó como área.

A continuación, se puede observar el mapa binario con el que se calculó el índice de conectividad y estructura de paisaje.

Figura 27

Reclassified map – Priority Areas

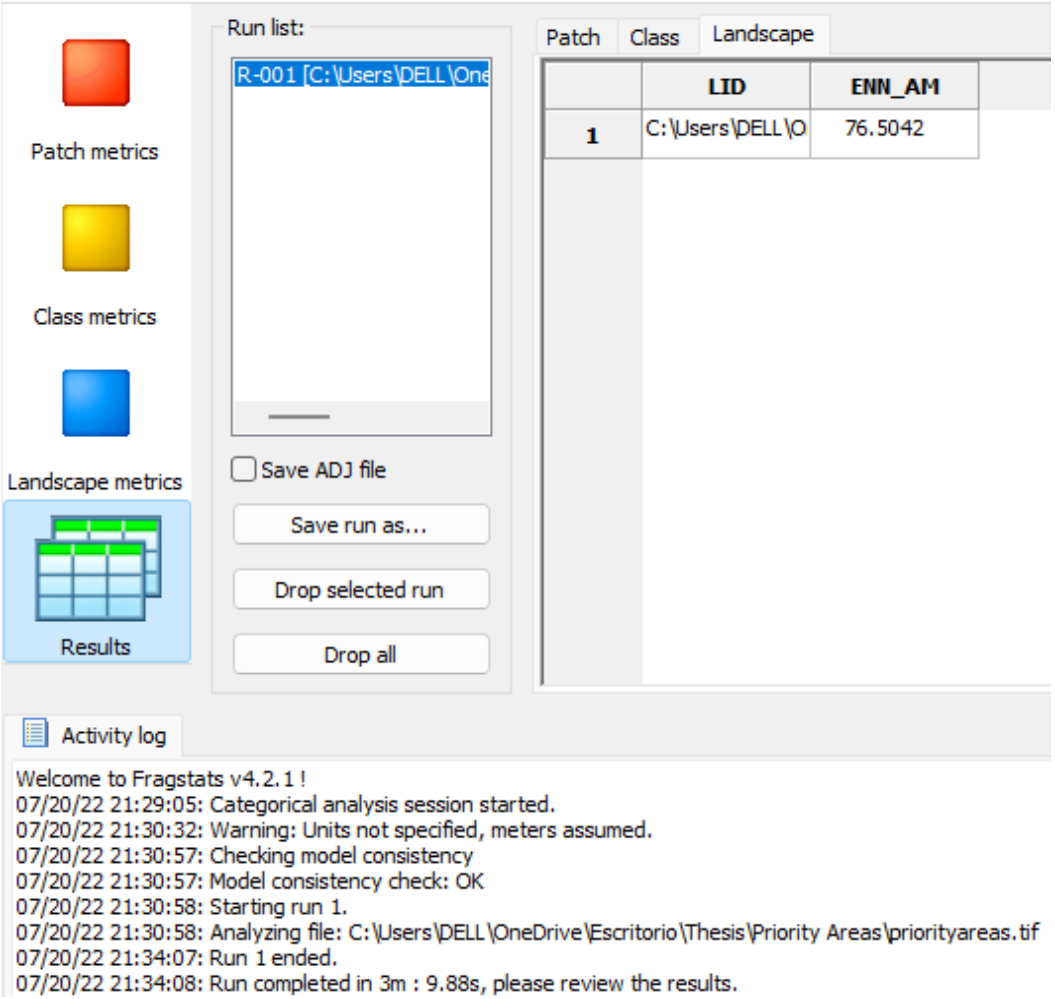


Fuente: MAATE
Elaborado por: Autor, 2022

El mapa de las zonas prioritarias de restauración presenta menor cobertura vegetal, lo que le otorga el siguiente valor de conectividad:

Figura 28

Connectivity index and landscape structure calculated in fragstats for priority areas



Fuente: fragstats
Elaborado por: Autor, 2022

El valor del índice de conectividad es de 76,5042 m, lo que quiere decir que se está alejando de cero, lo que representa la existencia de poca conectividad.

4.4 Estrategia Para Mejorar la Estructura de Paisaje

Una vez obtenidos los índices, se procede a describir la estrategia para mejorar la estructura de paisaje en el Distrito Metropolitano de Quito, para lo cual se va a tomar como eje central al año 2014, porque para ese tiempo la existencia de vegetación remanente era mayor a la del 2016 y 2018. El área de vegetación remanente con la que contaba el año 2014, era de 3326,992 Km^2, mientras que para el año 2016 fue de 2330,935 Km^2, por último, para el año 2018, el área era de 2341,35862 Km^2.

En cambio, el perímetro de vegetación remanente para el año 2014 fue de 21994,501 Km, para el año 2016 fue de 11324,9687 Km, y para el año 2018 su valor era de 11436,68418 Km. Por el contrario, las áreas prioritarias de restauración, presentan un área total de 731,202 Km^2.

Por lo que si se quiere al menos llegar a tener valores parecidos, tanto en el índice de conectividad como en el de fragmentación del año 2014, se debería iniciar un programa de reforestación que abarque 1000 Km^2 para mejorar el índice de conectividad, y se tendría que reforestar un perímetro de 10000 Km para mejorar el índice de fragmentación, todo esto, claro está, para mejorar el estado paisajístico del Distrito Metropolitano de Quito.

4.5 Índices Nuevamente Calculados

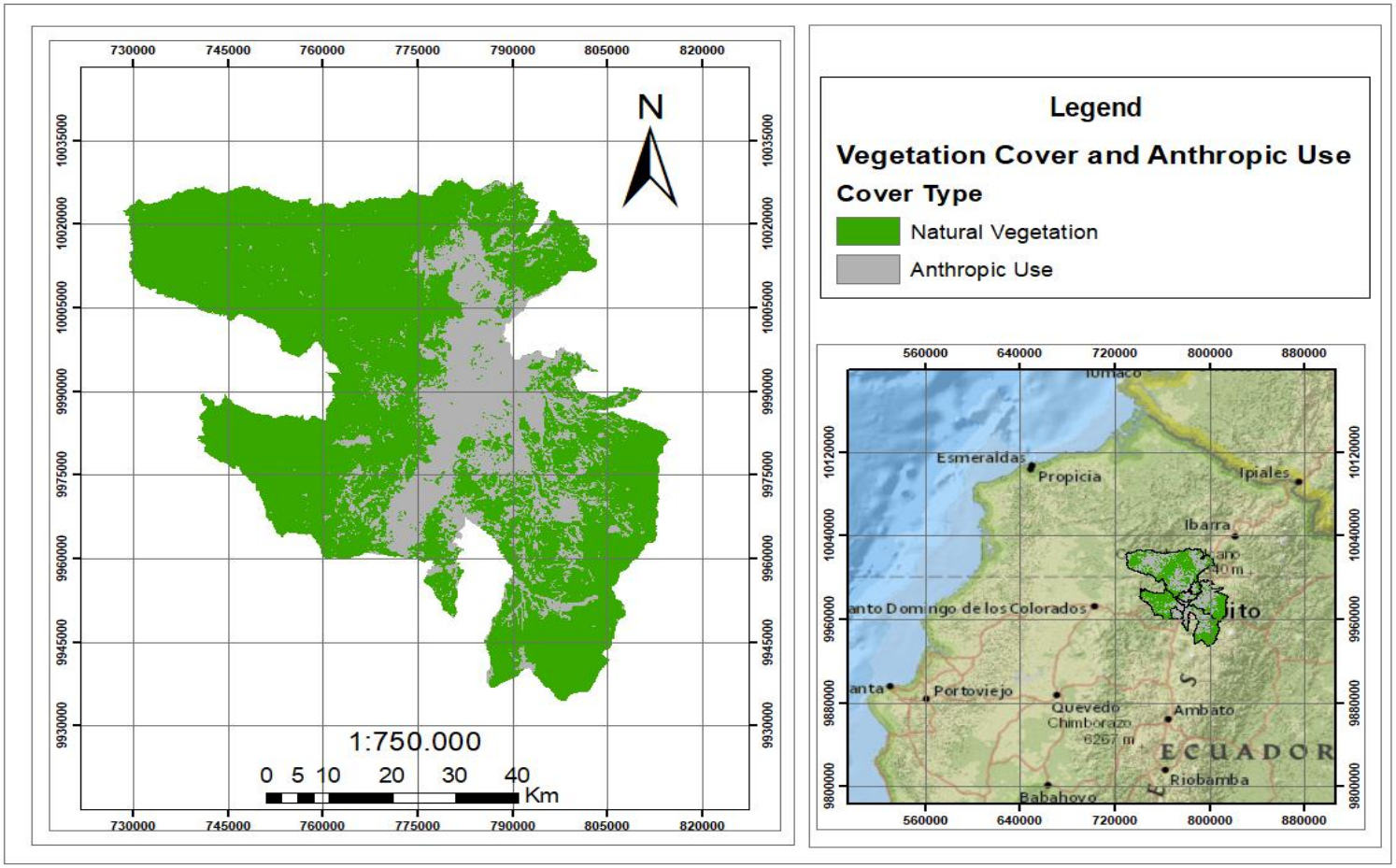
Implementando la estrategia antes descrita a los datos iniciales, tanto en la creación de mapas para el índice de conectividad como en la aplicación de la fórmula para el índice de fragmentación, se obtienen los siguientes resultados.

4.5.1 Conectividad

Siguiendo la estrategia de mitigación descrita anteriormente, los mapas del 2016, 2018 y de las áreas prioritarias de restauración quedarían de la siguiente forma:

Figura 29

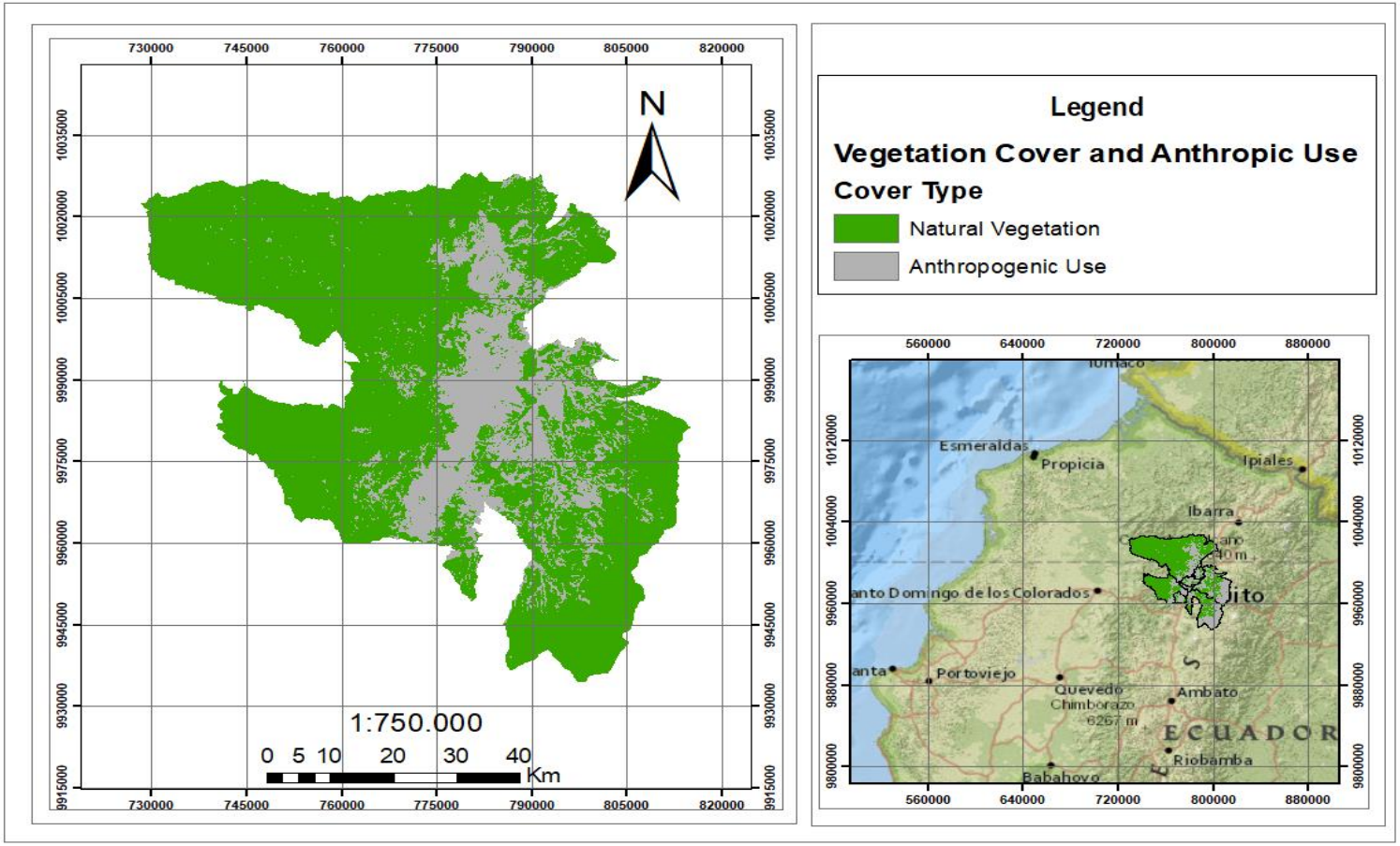
Recalculated map - 2016



Fuente: MAATE
Elaborado por: Autor, 2022

Figura 30

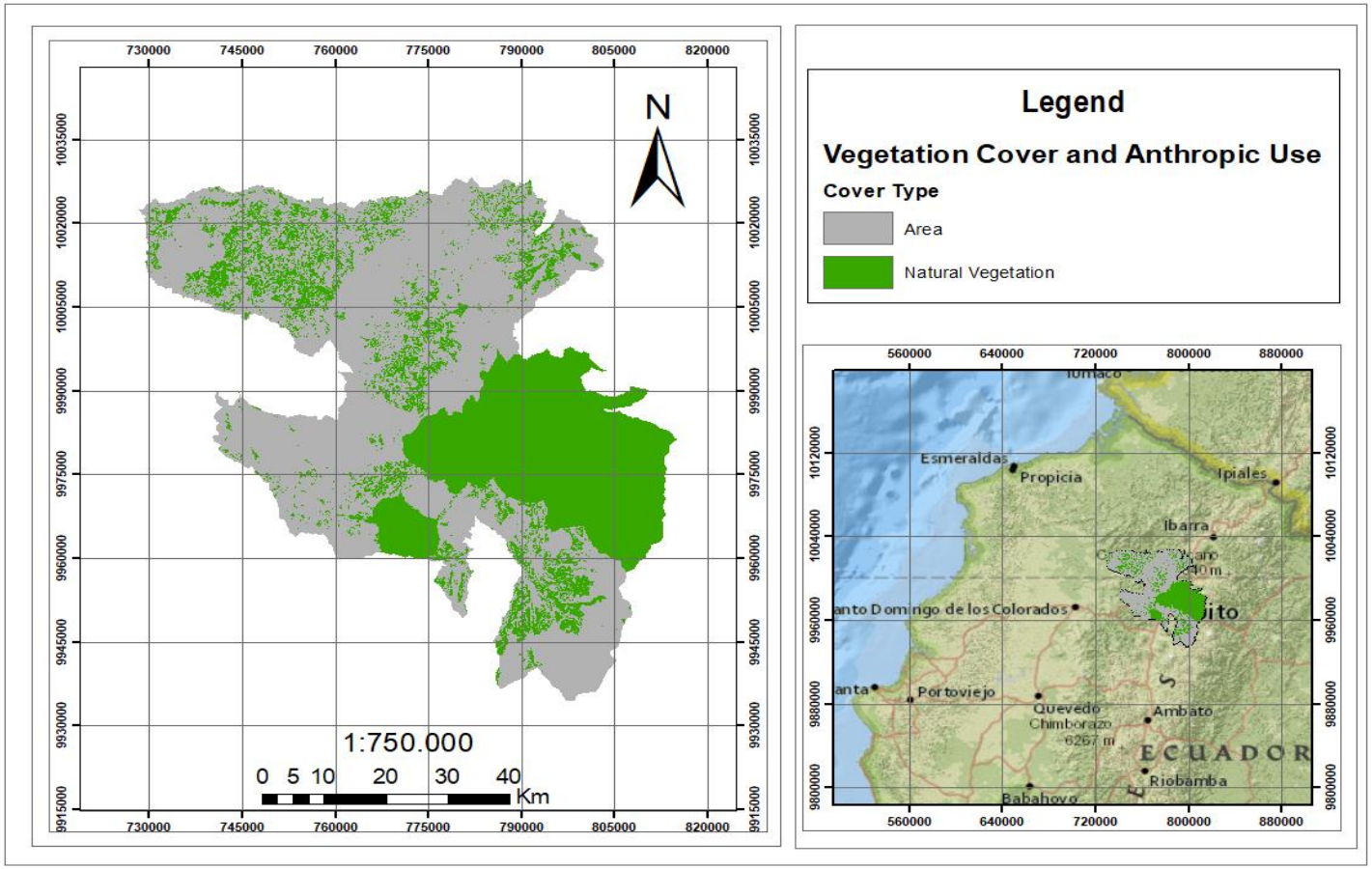
Recalculated map - 2018



Fuente: MAATE
Elaborado por: Autor, 2022

Figura 31

Recalculated map – Priority Areas



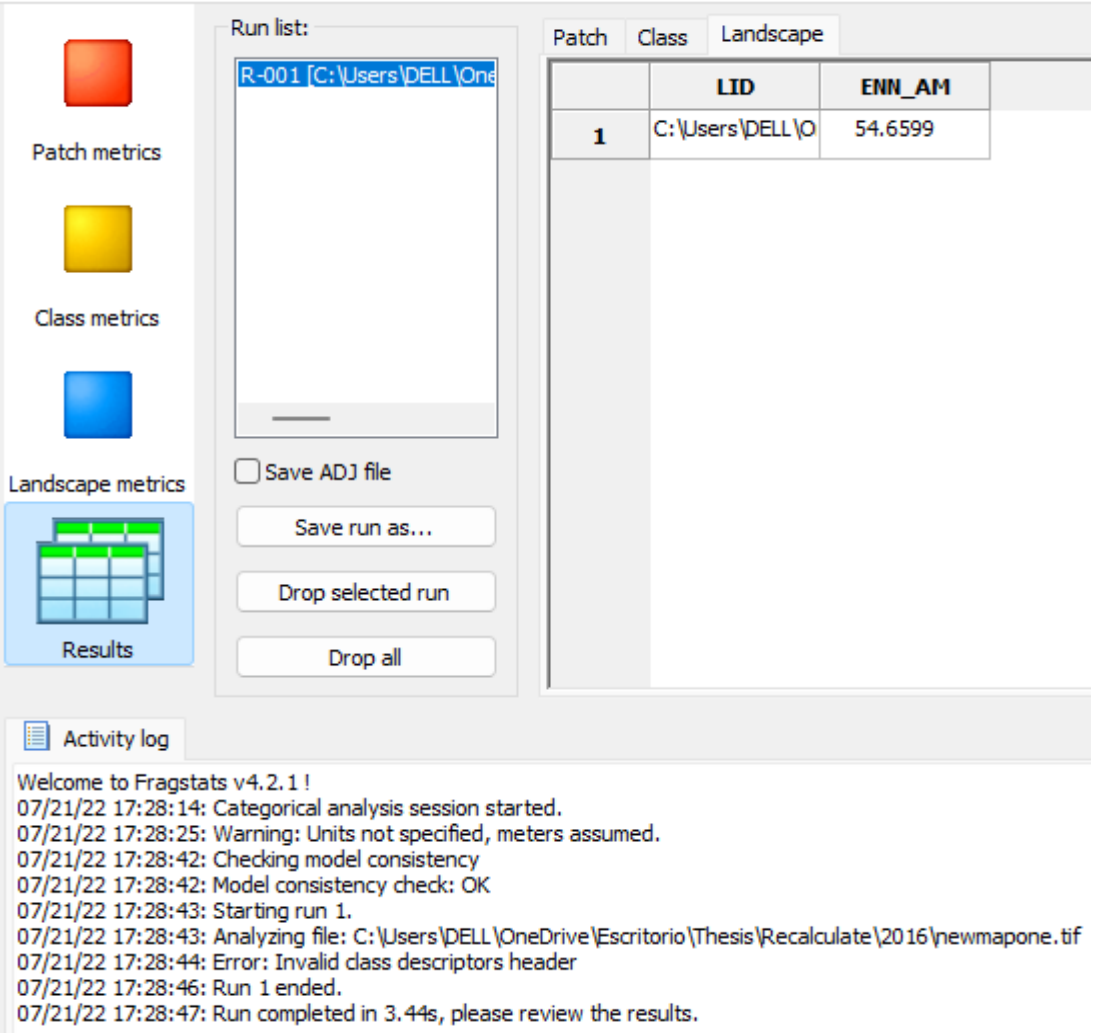
Fuente: MAATE
Elaborado por: Autor, 2022

Las figuras, 29, 30 y 31 muestran los mapas después de haber sido implantado el plan de reforestación, por lo que es notable el cambio de la mancha vegetal, con respecto a los datos originales, incluso llegan a presentar más vegetación que el año 2014.

Como la vegetación natural aumentó en los mapas reclasificados, es normal que este índice vaya a presentar disminuciones, es decir, se va a acercar a cero. Los nuevos cálculos de los índices de los mapas respectivos son los siguientes:

Figura 32

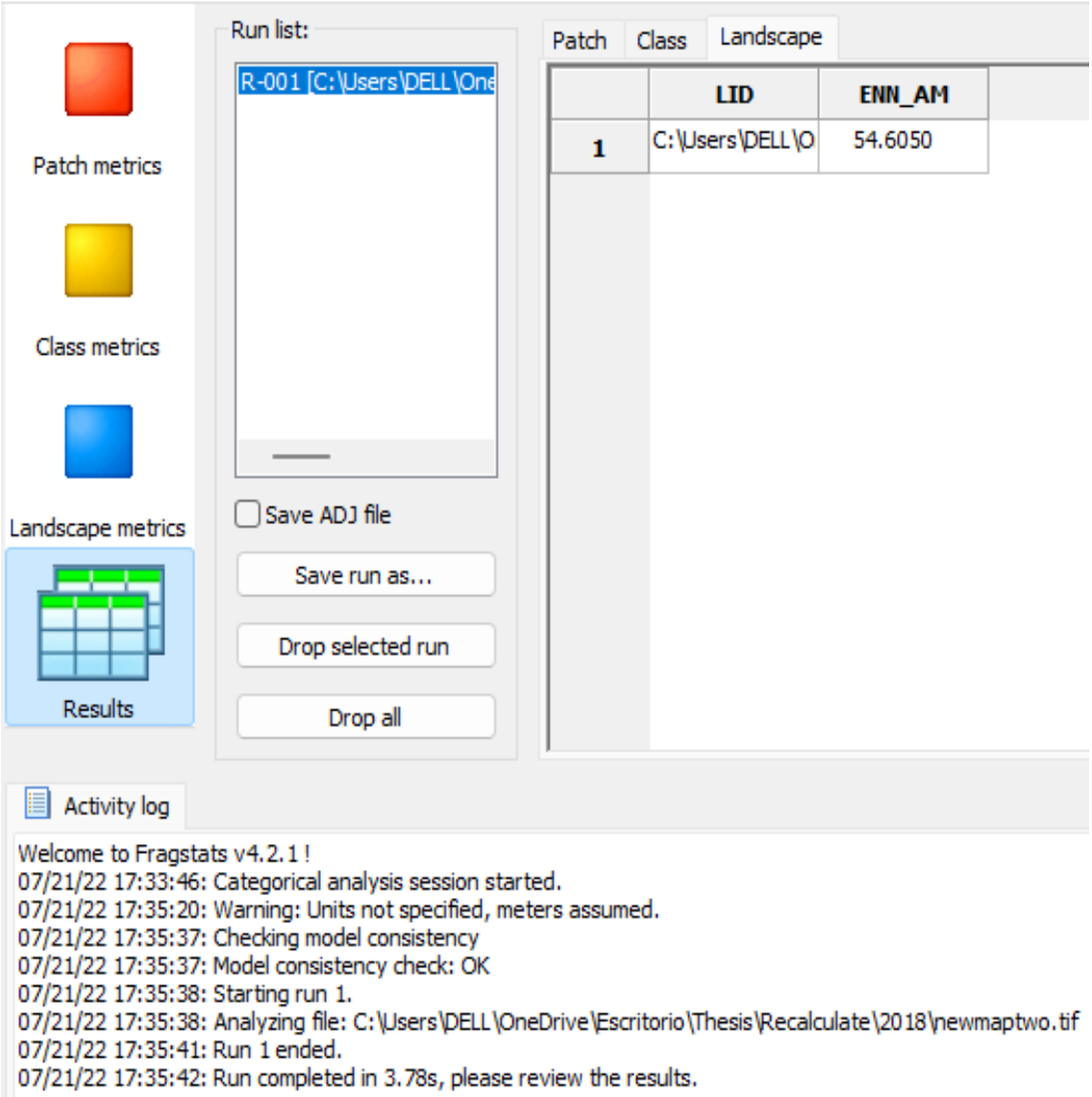
Recalculated index - 2016



Fuente: fragstats
Elaborado por: Autor, 2022

Figura 33

Recalculated index - 2018

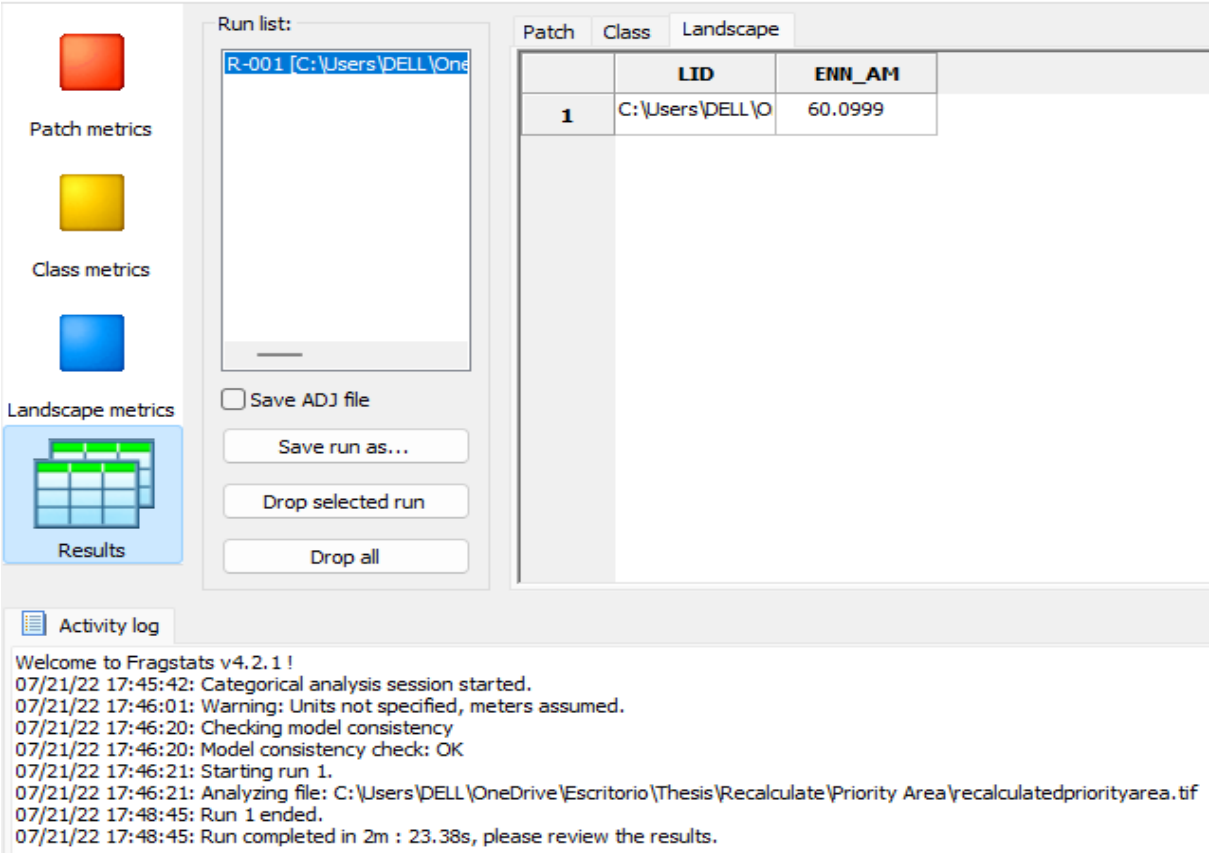


Fuente: fragstats
Elaborado por: Autor, 2022

Como la vegetación entre el año 2016 y 2018 no presentaba variaciones significantes, el índice recalculado para ambos períodos presenta similitud.

Figura 34

Recalculated index – Priority Areas



Fuente: fragstats
Elaborado por: Autor, 2022

La disminución en comparación con los índices antes de implantar la estrategia de mitigación es muy notoria, debido a que para el año 2016 y 2018 esta reducción simboliza el 13,06% y 13,43% respectivamente, en cambio, para las áreas prioritarias de restauración, disminuye el 21,44%.

Tabla 13

Summary of index

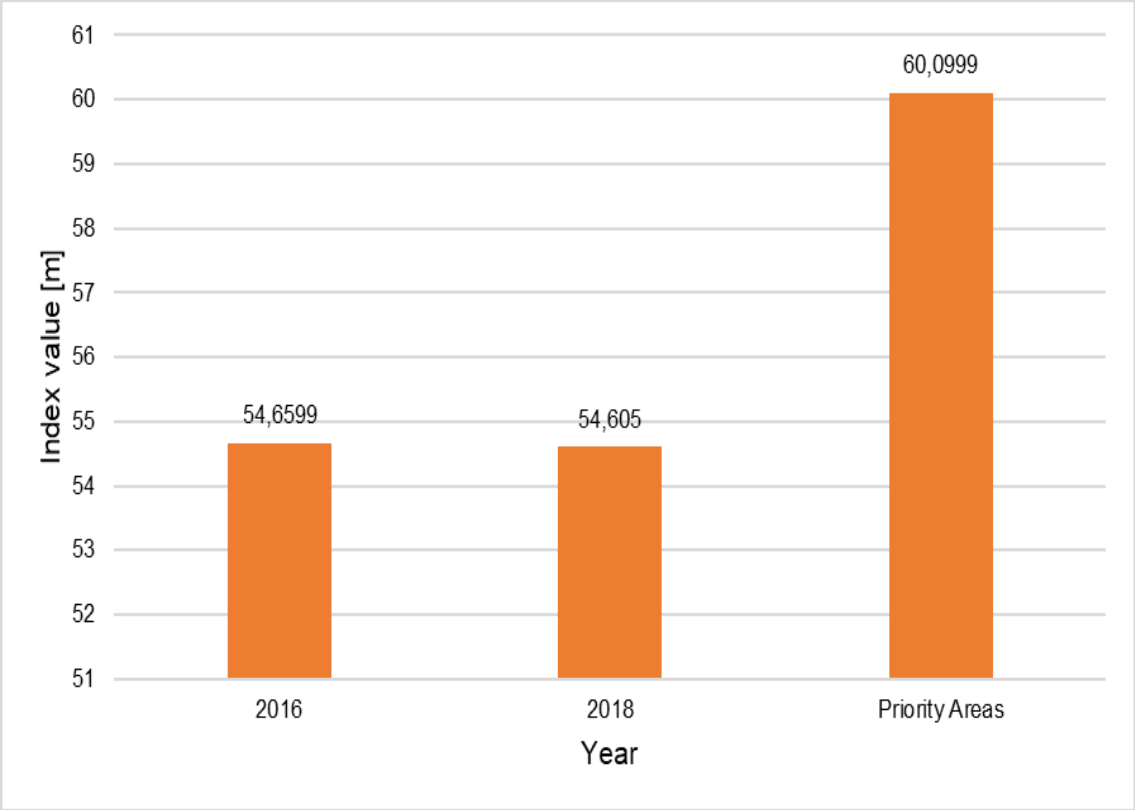
Año	Índice ENN_AM
2016	54.6599 m
2018	54,6050 m
Priority Areas	60.0999 m

Fuente: fragstats
Elaborado por: Autor, 2022

Para los tres casos, los valores son menos al de sus datos originales.

Figura 35

Connectivity indicators values – Recalculated



Fuente: fragstats

Elaborado por: Autor, 2022

Una vez recalculado el índice de conectividad con el plan de reforestación propuesto, para el 2016 y el 2018, este índice presenta valores más bajos que el del año 2014, mientras que el índice para las áreas prioritarias de restauración, después de aplicar el plan, evidenció una baja muy significativa.

4.5.2 Fragmentación

Los datos aplicando el plan de reforestación, para el período de estudio quedarían de la siguiente forma.

Tabla 14

Division between vegetation cover and anthropic use with reforestation plan – 2016

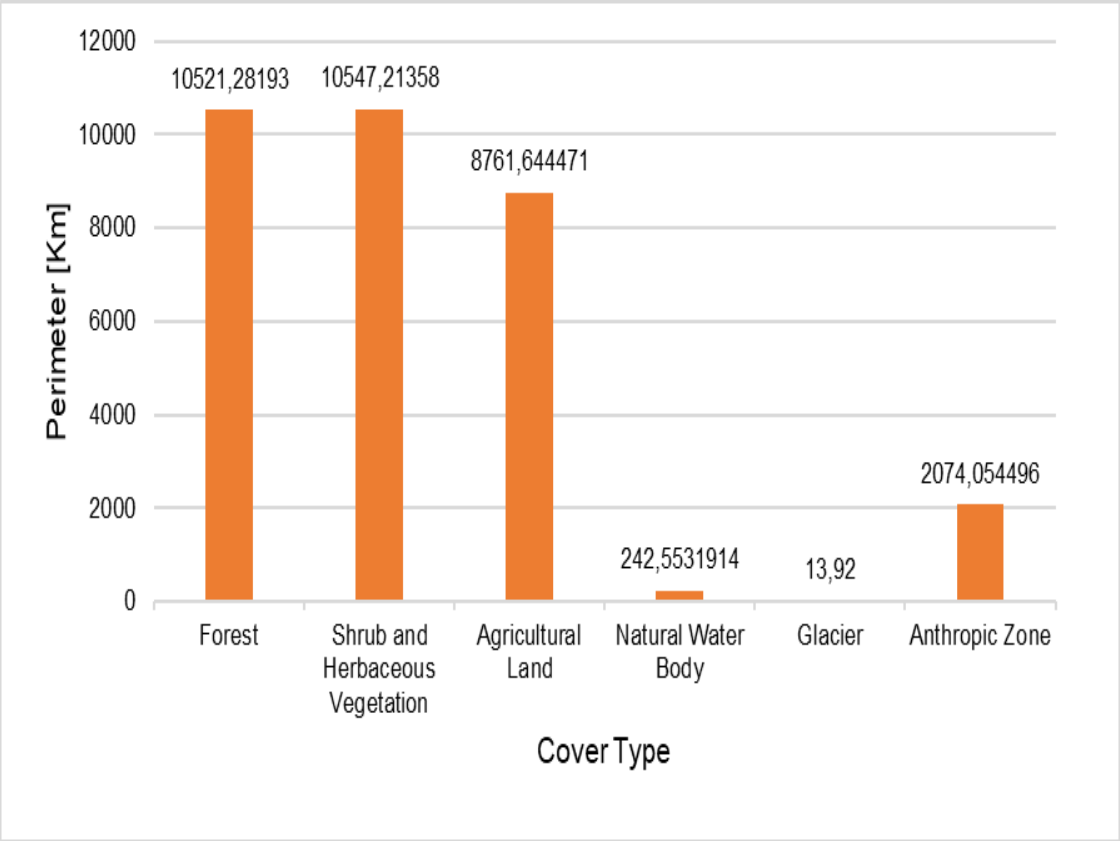
Cover	Perimeter (Km)
Forest	10521,281933
Shrub and Herbaceous Vegetation	10547,21358
Agricultural Land	8761,644471
Natural Water Body	242,5531914
Glacier	13,92
Anthropic Zone	2074,054496

Fuente: MAATE
Elaborado por: Autor, 2022

Aplicando el plan de reforestación, la suma del perímetro de los parches de vegetación remanente es 21324,9687 Km.

Figura 36

Land cover and use status with reforestation plan – 2016



Fuente: MAATE
Elaborado por: Autor, 2022

Tabla 15

Division between vegetation cover and anthropic use with reforestation plan - 2018

Cover	Perimeter (Km)
Forest	10495,280025
Shrub and Herbaceous Vegetation	10715,496492
Agricultural Land	8762,61306
Natural Water Body	223,5076592
Glacier	2,4

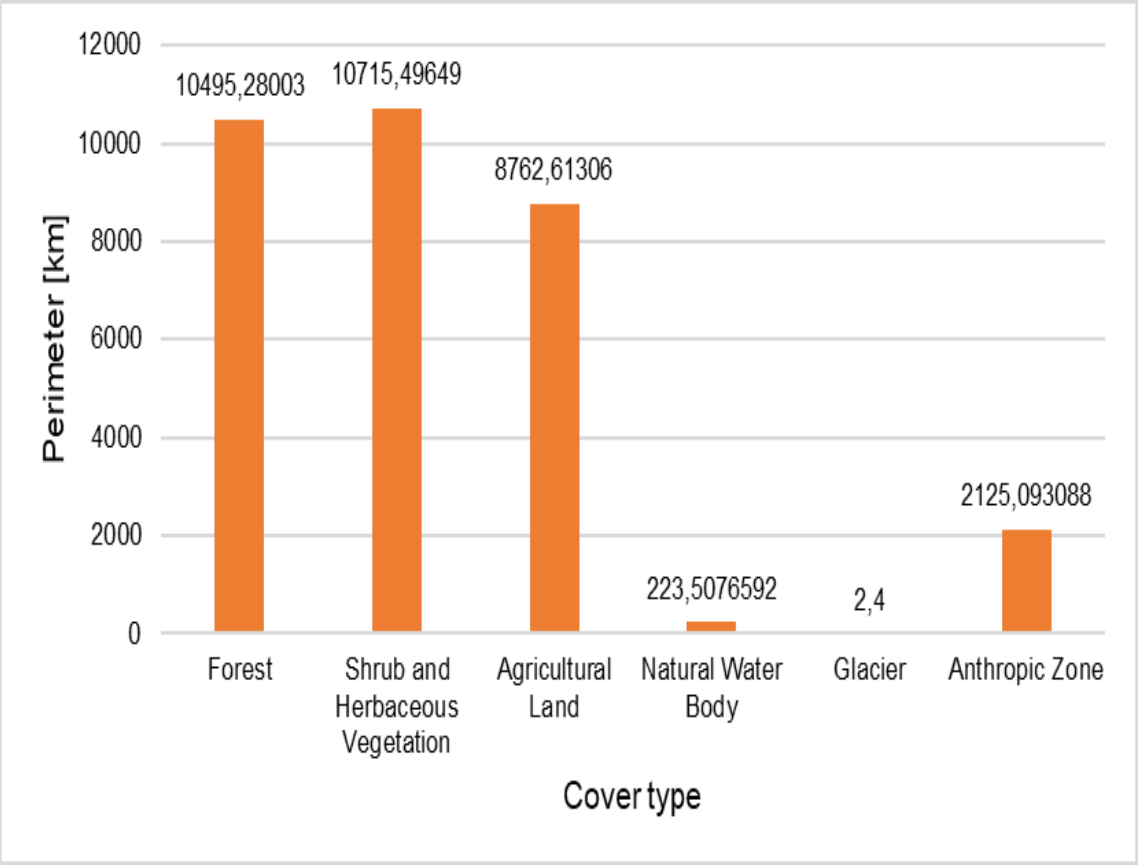
Anthropic Zone	2125,093088

Fuente: MAATE
Elaborado por: Autor, 2022

Por otro lado, para este año la sumatoria de los parches de vegetación remanente es 21436,68418 Km.

Figura 37

Land cover and use status with reforestation plan – 2016



Fuente: MAATE
Elaborado por: Autor, 2022

Tanto en la figura 36 como en la figura 37, el plan de reforestación se aplica en bosque y en vegetación arbustiva y herbácea, para así se llegar a las condiciones del año 2014.

Para los años 2016 – 2018, el índice tiene el siguiente valor:

$$LB = \left(\frac{1}{(2018 - 2016)Años}\right)\left(\frac{(21436{,}68418 - 21324{,}9687\ )\text{Km}}{4231{,}2837\ Km^2}\right)$$

$$LB = 0{,}01320113[\frac{Km}{Km^2 * Año}]$$

Para estos años se obtiene un índice positivo, con lo que se determina que este índice luego de haber aplicado el plan de reforestación, mantendría al estado paisajístico del Distrito Metropolitano de Quito con las mismas condiciones.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La disminución de la cobertura vegetal en el Distrito Metropolitano de Quito entre el año 2014 y 2016, se debe a que después del año 2014, la clase pastizales se consideró dentro de uso antrópico, dejando una gran brecha entre vegetación remanente y zonas antrópicas.
- No es necesario que con el pasar de los años, la vegetación remanente deba disminuir, porque del año 2016 al año 2018, la vegetación presentó un incremento.
- Para poder realizar la comparación de las áreas prioritarias de restauración, de modo que se conozca el nivel de fragmentación, es necesario que exista más información, por lo que solo se volvió a calcular el índice entre los años 2016 y 2018.
- Una vez que se aplicó el plan de reforestación, se evidenció un aumento en el índice de conectividad, lo que traduciría a que la calidad paisajística del Distrito Metropolitano de Quito mejore enormemente.

- Con el plan de reforestación, las condiciones en función de la fragmentación en el Distrito Metropolitano de Quito se mantendrían iguales, por lo que se debería aplicar otra estrategia para mejorar este índice.

5.2 Recomendaciones

- Para conocer el estado actual del Distrito Metropolitano de Quito, es necesario que las entidades encargadas de la cartografía, actualicen sus bases de datos, porque solo existen mapas de cobertura y uso de la tierra hasta el año 2018, lo que no permite saber cómo se encuentran las zonas de estudio en la actualidad.
- Para trabajar con el software fragstats, es necesario que se delimite bien el borde de un área de estudio, porque esto puede resultar perjudicial para estudios en los que se calculen métricas de paisaje.

6. BIBLIOGRAFÍA

Aguilera, F., & Botequilha, A. (2012). Selección de métricas de ecología del paisaje mediante ACP para la caracterización de los procesos de alteración del paisaje del Algarve (Portugal). *Rev. Int. Ciencia y Tecnología de a Información Geográfica*, *12*(May 2016), 93–121. https://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/240

Alonso-F., A. M., Finegan, B., Brenes, C., Günter, S., & Palomeque, X. (2017). Evaluación de la conectividad estructural y funcional en el corredor de conservación Podocarpus-Yacuambi, Ecuador. *Caldasia*, *39*(1), 140–156. https://doi.org/10.15446/caldasia.v39n1.64324

Alonso, A. M., Finegan, B., Brenes, C., Günter, S., & Palomeque, X. (2017). Evaluación de la conectividad estructural y funcional en el corredor de conservación Podocarpus-Yacuambi, Ecuador. *Caldasia*, *39*(1), 140–156. https://doi.org/10.15446/caldasia.v39n1.64324

Altamirano, A., Echeverría, C., & Lara, A. (2007). Efecto de la fragmentación forestal sobre la estructura vegetacional de las poblaciones amenazadas de Legrandia concinna (Myrtaceae) del centro-sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, *80*(1), 27–42. https://doi.org/10.4067/s0716-078x2007000100003

Auffret, A. G., Rico, Y., Bullock, J. M., Hooftman, D. A. P., Pakeman, R. J., Soons, M. B., Suárez-Esteban, A., Traveset, A., Wagner, H. H., & Cousins, S. A. O. (2017). Plant functional connectivity – integrating landscape structure and effective dispersal. *Journal of Ecology*, *105*(6), 1648–1656. https://doi.org/10.1111/1365-2745.12742

Ayram, C. A., Mendoza, M. E., & López Granados, E. (2014). Analysis of changes in landscape structural connectivity (1975-2008) of Cuitzeo Lake basin, Michoacan, Mexico. *Revista de Geografia Norte Grande*, *59*, 7–23. https://doi.org/10.4067/S0718-34022014000300002

Beita, C. M., Murillo, L. F. S., & Alvarado, L. D. A. (2021). Ecological corridors in Costa Rica: An evaluation applying landscape structure, fragmentation-connectivity process, and climate adaptation. *Conservation Science and Practice*, *3*(8). https://doi.org/10.1111/csp2.475

Bizama, G., Torrejón, F., Aguayo, M., Muñoz, M. D., Echeverría, C., & Urrutia, R. (2011). Pérdida y fragmentación del bosque nativo en la cuenca del río aysén (patagonia-chile) durante el siglo xx. *Revista de Geografia Norte Grande*, *138*(49), 125–138. https://doi.org/10.4067/s0718-34022011000200008

Blanco, R., Serrada, J., González, S., Gómez, Á., Dolores, M., Díez, F., & Campos, E. (2020). *Análisis de la conectividad y fragmentación ecológicas en el Parque Nacional de Cabañeros.* http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conama2020/CT2020/5304.pdf

Boraschi, S. F. (2009). Corredores biológicos : una estrategia de conservación en el manejo de cuencas hidrográficas. *KURÚ*, *6*(17), 1–5. file:///C:/Users/DELL/Downloads/Dialnet-CorredoresBiologicos-5293045.pdf

Borges, J. G., Nordstrom, E. M., Garcia-Gonzalo, J., Hujala, T., & Trasobares, A. (2014).

Computer-based tools for supporting forest management. The experience and the expertise world-wide. In *Forest Management Decision Support Systems*. https://pub.epsilon.slu.se/11417/7/borges_jg_etal_140825.pdf

Briceño, M., Contreras, W., & Owen, M. (2012). Atributos Eco-Estéticos Del Paisaje Urbano. *Luna Azul*, *34*, 26–49. https://doi.org/10.17151/luaz.2012.34.3

Chen, B., & Iannone, B. (2020). FRAGSTATS: A Free Tool for Quantifying and Evaluating Spatial Patterns. *IFAS Extension*, 9. https://doi.org/doi.org/10.32473/edis-fr431-2020

Correa, J. J., Volante, J. N., & Seghezzo, L. (2012). Análisis de la fragmentación y la estructura del paisaje en bosques nativos del norte argetino. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, *16*(0329–5184), 97–103. http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-analisis_fragmentacion.pdf

De León, D., Pinedo, A., & Martínez, J. (2013). Aplicación de sensores remotos en el análisis de la fragmentación del paisaje en Cuchillas de la Zarca, México. *Investigaciones Geográficas*, 42.53. https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0188461114708908?token=B634362BDCB3B7F5835428C3F962CA4A347ACC52C26AF266FD7D158B00326CA4E29631C2DAC98924A3140A627BAD435F&originRegion=us-east-1&originCreation=20220423205819

Ferrero, R. (2012). *Modelos espacio - temporales*. The R Journal. http://statisticalecology-met.blogspot.com/

Figueroa, E. P., Carvajal, M. F., Corral-rivas, J. J., & Ramírez, R. (2019). Protocolo de reforestación. *ResearchGate*, *March 2020*. https://www.researchgate.net/publication/340310352_PROTOCOLO_DE_REFORESTACION

García Quiroga, F., & Abad Soria, J. (2014). Los corredores ecológicos y su importancia ambiental: propuestas de actuación para fomentar la permeabilidad y conectividad aplicadas al entorno del río Cardeña (Ávila y Segovia). *Observatorio Medioambiental*, *17*(0), 46. https://doi.org/10.5209/rev_obmd.2014.v17.47194

GOBIERNO DE PICHINCHA. (2017). *Distrito Metropolitano de Quito*. http://www.pichincha.gob.ec/pichincha/cantones/item/23-distrito-metropolitano-de-quito.html%0Ahttps://www.quito.gob.ec/%0Ahttp://www.in-quito.com/

Goodwin, B. J., & Fahrig, L. (2002). How does landscape structure influence landscape connectivity? *Oikos*, *99*(3), 552–570. https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2002.11824.x

Guerrero, J. J., Ghislanzoni, M., Romero, D., Cáceres, F., Giménez de Azcarate, F., & Moreira, J. M. (2010). Identificación y caracterización del paisaje mediante parámetros visuales del relieve. REDIAM. *Tecnologías de La Información Geográfica: La Información Geográfica Al Servicio de Los Ciudadanos.*, 841–860.

Gurrutxaga, M. (2004). *Conectividad ecológica del territorio y conservación de la biodiversidad. Nuevas perspectivas en Ecología del Paisaje y Ordenación territorial* (Eusko Jaurlaritzaren Argitalpen Zerbitzu Nagusia, Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, D. San Sebastián, & V. Gasteiz (eds.); Issue May). DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA Y PESCA.

https://www.researchgate.net/publication/302252844_Conectividad_ecologica_del_territorio_y_conservacion_de_la_biodiversidad_Nuevas_perspectivas_en_ecologia_del_paisaje_y_ordenacion_territorial

Gurrutxaga, Mikel, & Lozano, P. J. (2007). Criterios para contemplar la conectividad del paisaje en la planificación territorial y sectorial. *Investigaciones Geográficas*, *44*, 75–88.

Herrera, J. (2011). El papel de la matriz en el mantenimiento de la biodiversidad en hábitats fragmentados. De la teoría ecológica al desarrollo de estrategias de conservación. *Ecosistemas*, *20*(2), 21–34.

Herrera, P., & Díaz, E. (2013). Ecología del paisaje, conectividad ecológica y territorio. Una aproximación al estado de la cuestión desde una perspectiva técnica y científica. *Ciudades*, *1*(2013), 29. http://www3.uva.es/iuu/DOSSIER/Dossier 01/Dossier 01 043-070 HERRERA CALVO.pdf

Herrero, T., Estada, P., Ferreras, J., García, V., Amador, S., Velasco, R., García, Á., & Recio, S. (2019). *Reforestación Participativa* (Consejería de Medio Ambiente & JUNTA DE ANDALUCÍA (eds.)). Egondi Artes Gráficas, S.A. https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/web/temas_ambientales/educacion_ambiental_y_formacion_nuevo/voluntariado_ambiental/quieres_saber_mas/gpv_reforestacion_participativa.pdf

Hilty, J., Worboys, G. L., Keeley, A., Woodley, S., Lausche, B. J., Locke, H., Carr, M., Pulsford, I., Pittock, J., White, W. J., Theobald, D. M., Levine, J., Reuling, M., Watson, J. E. M., Ament, R., Groves, C., & Tabor, G. M. (2021). Lineamientos para la conservación de la conectividad a través de redes y corredores ecológicos. In *UICN* (Issue 30). https://doi.org/10.2305/iucn.ch.2020.pag.30.es

Huang, A., Shen, R., Jia, G., & Xu, X. (2022). Reforestation enhanced landscape connectivity for thermal buffering in China. *Environmental Research Letters*, *17*(1). https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac3fda

Irastorza, P. (2006). *Integración de la ecología del paisaje en la planificación territorial. Aplicación a la comunidad de Madrid*. https://oa.upm.es/468/1/PEDRO_IRASTORZA_VACA.pdf

Jiménez, J., & López, H. (2021). Análisis de conectividad del paisaje para tres especies de mesodepredadores altoandinos como herramienta para su conservación. *Revista de Geografía Norte Grande,*. chrome-extension://dagcmkpagjlhakfdhnbomgmjdpkdklff/enhanced-reader.html?openApp&pdf=https%3A%2F%2Fwww.scielo.cl%2Fpdf%2Frgeong%2Fn80%2F0718-3402-rgeong-80-271.pdf

Junta de Andalucía. (2002). La fragmentación del paisaje como principal amenaza a la integridad del funcionamiento del territorio. In *Integración territorial de espacios naturales protegidos y conectividad ecológica en paisajes mediterraneos.* (p. 73). http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/documentos_tecnicos/integra_territorial/integterri.html 17.

Kindlmann, P., & Burel, F. (2008). Connectivity measures: A review. *Landscape Ecology*, *23*(8), 879–890. https://doi.org/10.1007/s10980-008-9245-4

Lamine, S., Petropoulos, G. P., Singh, S. K., Szabó, S., Bachari, N. E. I., Srivastava, P. K., & Suman, S. (2018). Quantifying land use/land cover spatio-temporal landscape pattern dynamics from Hyperion using SVMs classifier and FRAGSTATS®. *Geocarto International*, *33*(8), 862–878. https://doi.org/10.1080/10106049.2017.1307460

Landeros, J., & Badii, M. (2007). Cuantificación de la fragmentación del paisaje y su relación con Sustentabilidad. *Daena*, *2*(1), 26–38. http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Cuantificaci?n+de+la+fragmentaci?n+del+paisaje+y+su+relaci?n+con+Sustentabilidad#0

Leija, E. G., & Mendoza, M. E. (2021). Landscape connectivity studies in latin america: Research challenges. *Madera y Bosques*, *27*(1), 1–19. https://doi.org/10.21829/myb.2021.2712032

Lorenz, G., Figueroa, M. E., Giannuzzo, A. N., & Ludueña, M. E. (2017). El paisaje entre ciencia, educación y planificación: el legado que dejamos. In *VI Jornadas y III Congreso Argentino de Ecología de Paisajes* (Issue May). http://fcf.unse.edu.ar/archivos/publicaciones/CAEP_2017_ebook.pdf

Lucio, I., & Gutiérrez, J. (2011). LA CIENCIA DEL PAISAJE, UN CRITERIO DE INTERVENCIÓN Y ORDENACIÓN DE LAS CIUDADES. UNA PROPUESTA DE ACTUACIÓN SOBRE LA VIALIDAD SOLIDARIDAD LAS TORRES, CIUDAD DE TOLUCA MÉXICO. *QUIVERA*, *13*, 156–166. https://www.redalyc.org/pdf/401/40118420009.pdf

Mander, Ü., Uuemaa, E., Roosaare, J., Aunap, R., & Antrop, M. (2010). Coherence and fragmentation of landscape patterns as characterized by correlograms: A case study of Estonia. *Landscape and Urban Planning*, *94*(1), 31–37. https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2009.07.015

Mateo, M., de la Fuente Martín, B., González, A., & Martínez, S. (2018). *Propuesta de WWF España para una Red Estratégica de Corredores Ecológicos entre espacios Red Natura 2000*. http://conservationcorridor.org/cpb/Mateo-Sanchez_2018.pdf

McGarigal, K. (2015). FRAGSTATS HELP. In *European University Institute*. https://ibis.geog.ubc.ca/courses/geob479/labs/fragstats.help.4.pdf

McGarigal, K., & Marks, B. (1995). *FRAGSTATS: Programa de análisis de patrones espaciales para cuantificar la estructura del paisaje.* (1538th ed.). https://www.umass.edu/landeco/pubs/mcgarigal.marks.1995.pdf

Midha, N., & Mathur, P. K. (2010). Assessment of forest fragmentation in the conservation priority Dudhwa landscape, India using FRAGSTATS computed class level metrics. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, *38*(3), 487–500. https://doi.org/10.1007/s12524-010-0034-6

Mimet, A., Houet, T., Julliard, R., & Simon, L. (2013). Assessing functional connectivity: A landscape approach for handling multiple ecological requirements. *Methods in Ecology and Evolution*, *4*(5), 453–463. https://doi.org/10.1111/2041-210x.12024

Morláns, M. (2005). Introducción a la arquitectura del paisaje. *Editorial Científica Universitaria - Universidad Nacional de Catamarca*, 33. http://www.editorial.unca.edu.ar/Publicacione on line/Ecologia/imagenes/pdf/001-Introd-ecologia-del-paisaje.pdf

Morláns, M. C. (n.d.). Estructura del paisaje (Matriz, parches, bordes, corredores) sus funciones fragmentación del hábitat y su efecto borde. *ÁREA ECOLOGÍA*, 12. http://editorial.unca.edu.ar/Publicacione on line/Ecologia/imagenes/pdf/004-estructuradepaisaje.pdf

Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, Dirección Metropolitana Ambiental, & Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales. (2010). *Políticas y Estrategia del Patrimonio Natural del Distrito Metropolitano de Quito 2009-2015*. http://inabio.biodiversidad.gob.ec/wp-content/uploads/2018/12/L_Politicas_Estrategias_Patrimonio_Natural_DMQ-1.pdf

Puebla, A., Rodríguez, Y., & Álvarez, P. (2020). Propuesta de rutas de conectividad para la conservación de la biodiversidad en Sierra Maestra, Cuba. *Revista de Ciencias Ambientales*, *54*(2), 51–67. https://doi.org/10.15359/rca.54-2.3

Raines, G. L. (2002). Description and comparison of geologic maps with FRAGSTATS - A spatial statistics program. *Computers and Geosciences*, *28*(2), 169–177. https://doi.org/10.1016/S0098-3004(01)00030-9

Robles De Benito, R. (2009). *Corredor Biológico Mesoamericano México Rafael Robles de Benito*. https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/versiones_digitales/A2UMA.pdf

Rodeles, A. A., Leunda, P. M., Elso, J., Ardaiz, J., Galicia, D., & Miranda, R. (2019). Consideration of habitat quality in a river connectivity index for anadromous fishes. *Inland Waters*, *9*(3), 278–288. https://doi.org/10.1080/20442041.2018.1544817

Rojas, C., De la Barrera, F., Aranguíz, T., Munizaga, J., & Pino, J. (2017). Efectos de la urbanización sobre la conectividad ecológica de paisajes metropolitanos. *Revista Universitaria de Geografía*, *26*(2), 155–182. http://www.scielo.org.ar/pdf/reuge/v26n2/v26n2a07.pdf

Schtickzelle, N., Mennechez, G. G., & Baguette, M. (2006). Dispersal Depression With Habitat Fragmentation In The Bog Fritillary Butterfly. *Ecology*, *87*(4), 1057–1065. http://www.esajournals.org/doi/abs/10.1890/0012-9658(2006)87[1057:DDWHFI]2.0.CO;2

Secretaría de Territorio Hábitat y Vivienda. (2022). *Plan Metropolitano De Ordenamiento Territorial Secretaría De Territorio*. Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda. https://uisrael.edu.ec/wp-content/uploads/2019/10/C_PLANES_LOCALES-_5-min.pdf

Singh, S. K., Pandey, A. C., & Singh, D. (2014). Land Use Fragmentation Analysis Using Remote Sensing and Fragstats. *Springer*, 151–176. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05906-8_9

Snäll, T., Hagström, A., Rudolphi, J., & Rydin, H. (2004). Distribution pattern of the epiphyte Neckera pennata on three spatial scales - Importance of past landscape structure, connectivity and local conditions. *Ecography*, *27*(6), 757–766. https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2004.04026.x

Tian, Y., Liu, Y., Jim, C., & Song, H. (2017). Assessing Structural Connectivity of Urban GreenSpaces in Metropolitan Hong Kong. *Sustainability*, 16. chrome-extension://dagcmkpagjlhakfdhnbomgmjdpkdklff/enhanced-

reader.html?pdf=https%3A%2F%2Fbrxt.mendeley.com%2Fdocument%2Fcontent%2F56481792-4ba1-3b81-8d96-c71f0db6ec4e

Troll, C. (2003). Ecologia del paisaje. *Gaceta Ecológica*, *68*, 71–84. https://www.redalyc.org/pdf/539/53906808.pdf

Valdés, A. (2011). Modelos de paisaje y análisis de fragmentación : de la biogeografía de islas a la aproximación de paisaje continuo. *Ecosistemas*, *20*(2), 11–20. https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/19/13

Vega-Vela, V., Muñóz-Robles, C. A., Rodríguez-Luna, E., López-Acosta, J. C., & Serna Lagunes, R. (2018). Análisis de la fragmentación del paisaje de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas, Veracruz, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, *5*(14), 227–238. https://doi.org/10.19136/era.a5n14.1442

Velásquez, P. (2017). Caracterización de la Estructura del Paisaje y su Estado de Conservación en las Cuencas de Cabecera de Medellín. *Facultad de Ingenier*, 31. https://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/3690/1/Caracterizacion_Estructura_Paisaje_Velasquez_2017.pdf

Vila, J., Varga, D., Llausàs, A., & Ribas, A. (2006). Conceptos y métodos funadamentales en ecología del paisaje (landscape ecology). Una interpretación desde la geografía. *Documents d'Analisi Geografica*, *48*, 151–166. http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2328164&info=resumen&idioma=ENG%5Cnhttp://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19999412

WWF. (2015). Buenas prácticas para la definición de redes ecológicas en España. *Universidad de Alicante y WWF España*, 1–11. http://awsassets.wwf.es/downloads/buenas_practicas_para_la_definicion_de_redes_ecologicas_en_espana_gr.pdf

Yuab, M., Huanga, Y., Chengc, X., & Tiana, J. (2019). Un complemento de ArcMap para calcular métricas de paisaje de datos vectoriales ÿ. *ELSEVIER*, *50*, 13. https://www.sciencedirect.com/journal/ecological-informatics

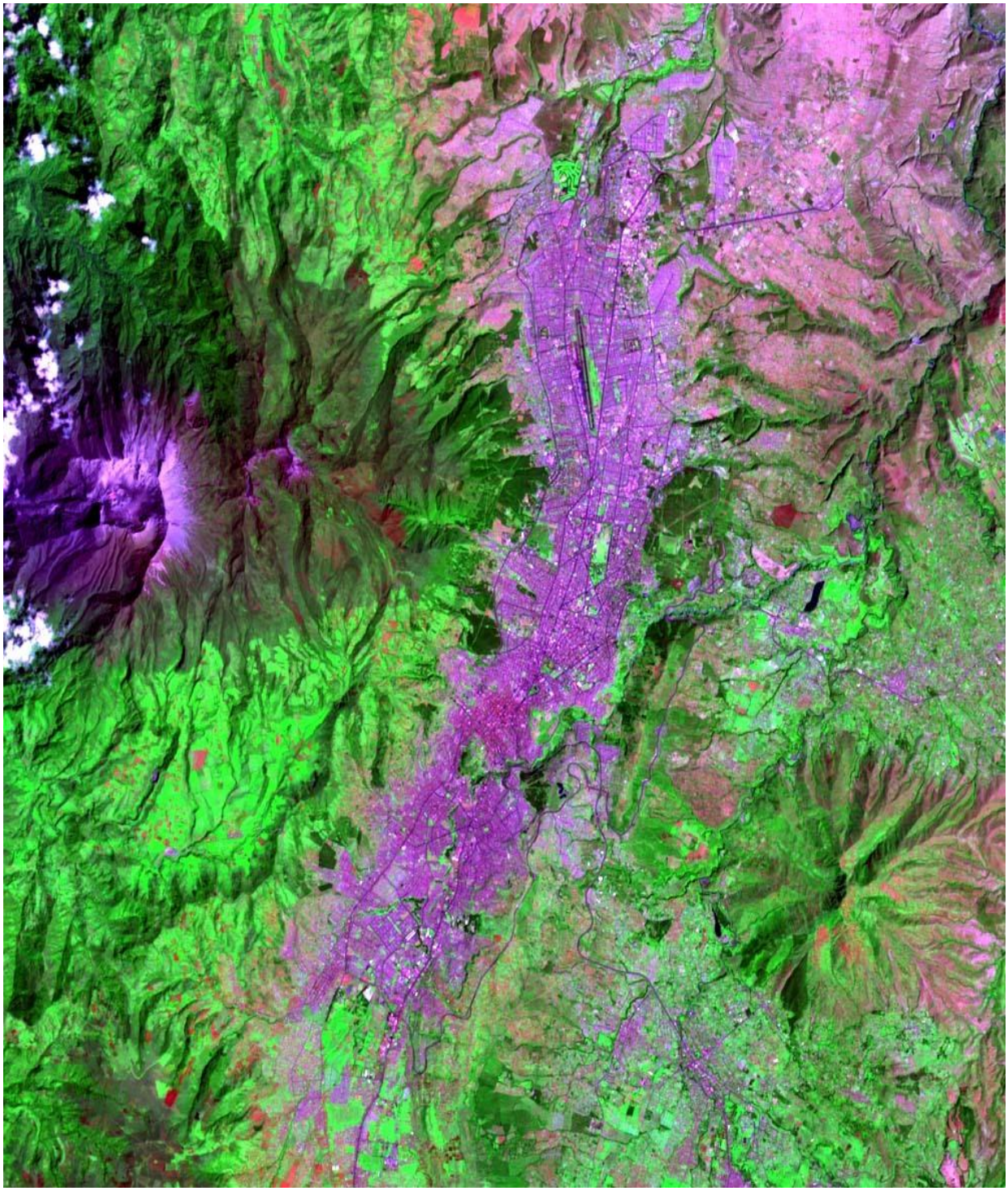
Zeller, K. A., Lewsion, R., Fletcher, R. J., Tulbure, M. G., & Jennings, M. K. (2020). Understanding the importance of dynamic landscape connectivity. *Land*, *9*(9), 15. https://doi.org/10.3390/LAND9090303

Zubelzu, S., & Allende, F. (2015). El concepto de paisaje y sus elementos constituyentes: requisitos para la adecuada gestión del recurso y adaptación de los instrumentos legales en España. *REVISTA COLOMBIANA DE GEOGRAFÍA*, *24*, 29–42. chrome-extension://dagcmkpagjlhakfdhnbomgmjdpkdklff/enhanced-reader.html?openApp&pdf=http%3A%2F%2Fwww.scielo.org.co%2Fpdf%2Frcdg%2Fv24n1%2Fv24n1a3.pdf

7. ANEXOS

Anexo 1

Satellite image of the Metropolitan District of Quito



Fuente: gifex, 2022