

Metodología de la identificación de corredores de conservación en el santuario de flora y fauna Galeras y el cerro Morasurco en el municipio de Pasto (Nariño)

Diana Carolina Cabrera García

Heraldo Emmanuel Morales Lozano

Estudiantes del Programa de Ingeniería Ambiental

Universidad Mariana

Daisy Gabriela Guerrero Obando

Docente del Programa de Ingeniería Ambiental

Universidad Mariana

Introducción

La necesidad del ser humano por satisfacer sus necesidades ha llevado a la disminución de los recursos naturales, debido a las actividades antropogénicas que este realiza, lo cual trae unas desventajas a la naturaleza, teniendo en cuenta que afecta gran biodiversidad de flora y fauna nativa del territorio. Por lo anterior, las entidades gubernamentales como SINAP y SILAP han establecido espacios que, por sus características distintivas, puedan considerándose como áreas resguardadas o protegidas, estos lugares son designados, administrados y regulados por estas instituciones para cumplir el objetivo de conservación. La presente investigación se realizó en el departamento de Nariño en las áreas protegidas del santuario flora y fauna Galeras (SFF Galeras) y el cerro Morasurco, las cuales poseen gran variedad de riquezas comprendiendo aspectos físicos y bióticos; estas zonas, al presentar corredores de conservación, disminuyen los impactos ambientales y facilitan el intercambio genético y energético generando un equilibrio ecosistémico adecuado. En este artículo se describirá la metodología que se utilizó para identificar los corredores de conservación entre las áreas de estudio, utilizando las herramientas de SIG.

Palabra clave: áreas protegidas, coberturas de suelo, corredor de conservación, fragmentación, SIG.

La identificación de corredores en áreas protegidas es de vital importancia para conservar espacios nativos de un territorio en específico, esto se debe a la diversidad de recursos naturales que se encuentra en cada zona; para identificar los corredores de conservación, la metodología se desarrollará en tres etapas, las cuales son: determinar la cobertura del suelo, analizar la fragmentación de ecosistemas y delimitar los corredores de conservación; esto con el objetivo de establecer la más óptima forma de comunicación en el santuario flora y fauna Galeras y el cerro Morasurco, se logra alcanzar mediante la implementación de las herramientas de Sistemas de Información Geográfica. Esta problemática surge debido a que en las zonas protegidas se encuentran cerca de asentamientos humanos, por lo tanto, son vulnerables a la explotación de los recursos naturales, por actividades como la minería, la deforestación, la captación de fuentes hídricas, entre otras.

El presente trabajo se realiza en el departamento de Nariño-Colombia, específicamente donde se encuentra el santuario de flora y fauna Galeras. Esta área protegida se encuentra ubicada entre las coordenadas geográficas: "Latitud norte 1°9'09,21" y 1°15'41,16" y Longitud oeste 77°19'37,10" y 77°26'28,73" (Equipo de Trabajo Santuario de Flora y Fauna Galeras, 2015, p. 27), se encuentra a una altitud de 1.950 y 4.276 m s.n.m., tiene una extensión de 8.240 hectáreas (PNN); por otro lado, se encuentra el cerro Morasurco, el cual está localizados en ciudad de San Juan de Pasto, sus coordenadas geográficas son: 1°16'14" N y 77°14'2" O (Erazo y Guerrero, 2012).

Tabla 1. Identificación de coberturas

Ca.	Leyenda Nacional de coberturas de la Tierra		Presentes en las áreas de estudio		
2	Territorios Agrícolas	Pastos	Pastos limpios		
		Mosaico de pastos y cultivos			
	Áreas agrícolas heterogéneas	Mosaico de pastos con espacios naturales			
3	Bosques y Áreas seminaturales	Bosque	Bosque denso	Bosque denso alto de tierra firme	
			Bosque frag- mentado	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	
		Áreas con vegetación herbácea y/o arbusiva.	Herbazal denso	Herbazal denso de tierra firme	Herbazal denso de tierra firme no arbolado
				Herbazal denso de tierra firme con arbustos	
		Arbustal	Arbustal abierto		
			Arbustal denso		
		Vegetación secundaria o en transición			
		5	Superficies agua	Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	Zonas arenosas naturales
Afloramiento Rocoso					
Aguas conti- nentes	Aguas continen- tales			Lagunas, lagos y ciénagas naturales.	

Fuente: Metodología Corine Land Cover (CLC), adaptada para Colombia por el IDEAM.

- **Territorios agrícolas:** “Son los terrenos dedicados principalmente a la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales, (...), cultivos, con pastos, en rotación y en descanso o barbecho. Comprende las áreas como pastos y zonas agrícolas heterogéneas” (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2010, p. 21).
- **Pastos:** Son los territorios que se encuentra protegidos con hierba densa de estructura florística como gramíneas, de la familia Poaceae, las cuales son destinadas para pastoreo fijo por ciclos de dos o más años, estos pueden clasificarse por pastos naturales, arbustos y matorrales (IDEAM, 2010). Para su categorización, el IDEAM (metodología CLC, 2010) la determina de la siguiente forma:
 - **Pastos limpios:** Son aquellos territorios que su cobertura de pasto es mayor al 70 %; en estos se ejecuten prácticas agrícolas (limpieza, enclamiento y/o fertilización, etc.), además, por el uso de tecnologías, se dificulta la presencia o el crecimiento de otras coberturas (IDEAM, 2010).
 - **Áreas agrícolas heterogéneas:** Son superficies que reúnen dos o más coberturas agrícolas y naturales, estas se organizan en patrones de mosaicos geométricos que hace complicada su separación en coberturas particulares; estos arreglos geométricos se relacionan con el tamaño de los predios, los escenarios locales de los terrenos, las prácticas agrícolas empleadas y las formas locales de la tierra (IDEAM, 2010). Esta unidad se clasifica en: mosaicos de cultivos, mosaico de pastos y cultivos, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, que se definen de la siguiente manera:
 - **Mosaicos de pastos y cultivos:** Se refiere a un uso de suelo con pastos y cultivos, donde el tamaño de las parcelas es pequeño (inferior a 25 ha) y el esquema de distribución de estas propiedades son complicadas para representarlos cartográficamente de manera individual (IDEAM, 2010).
 - **Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales:** Estas coberturas relacionan los territorios donde

se combinan cultivos y pastos en espacios naturales, cuyo patrón de distribución no puede ser simbolizado individualmente, pero con espacios menores a 10 hectáreas; en cuanto a espacios naturales son áreas que su estructura son bosques naturales, arbustos y matorrales, bosque de galería y/o riparios, pantanos y otras áreas no intervenidas o poco transformadas, que debido a restricciones de uso por sus particularidades físico-bióticas continúan en estado natural o casi natural (IDEAM, 2010).

- **Bosques y áreas seminaturales:** Comprende coberturas vegetales de estructura boscosa, arbustiva y herbácea, crecen en diferentes pisos altitudinales, esta unidad no infiere si ha presentado intervención antrópica o si son constituidos por suelos desnudos y afloramiento rocosos y arenosos, proveniente de la recuperación de procesos naturales que han sido impulsados a la degradación (IDEAM, 2010). Esta categoría se clasifica en bosques, áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva y áreas abiertas, sin o con poca vegetación.

- **Bosques:** Se refiere a coberturas naturales o seminaturales, con estructuras arbóreas de especies nativas o exóticas. Los árboles son especies arbóreas con características leñosas, el cual posee una copa aproximadamente definida (IDEAM, 2010).

- **Bosque denso alto de tierra firme:** Hace referencia a superficies con vegetación de espécimen arbóreo representada por un estrato aproximadamente continuo, donde la cobertura arbórea constituye más de 70 % de la zona total de la unidad, presenta características como altura del dosel superior a 15 metros y se sitúa en áreas que no demuestran procesos de inundación periódicos (IDEAM, 2010).

- **Bosque fragmentado con vegetación secundaria:** Se relaciona con superficies cubiertas por bosques naturales que han sufrido intervención humana y que a través del tiempo se han recuperado, volviendo a su estructura original. Su origen se debe al abandono de terrenos donde se realizaban actividades como pasto y cultivos, donde el ecosistema se restaura naturalmente (IDEAM, 2010).

- Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva: Son territorios protegidos por vegetación herbácea y arbustiva, los cuales crecieron de forma natural en los diferentes pisos altitudinales (IDEAM, 2010); Esta unidad se divide así:

- **Herbazal denso de tierra firme:** Se refiere a un territorio natural conformado por herbazales densos, crece en zonas que no presentan etapas de inundaciones, esta unidad puede presentar o no especies arbóreas y/o arbustivos dispersos (IDEAM, 2010). Puede ser subdividida en las siguientes categorías:

- **Herbazal denso de tierra firme no arbolado:** Es la cobertura natural conformada por herbazales densos de tierra firme, donde no se evidencia estructuras arbóreas y/o arbustivas o en caso de existir es menor al 2 % del área total de la unidad. Se ubican en territorios con condiciones de suelos y de clima, como son las zonas de páramo y subpáramo de la alta montaña (IDEAM, 2010).

- **Herbazal denso de tierra firme con arbustos:** Son aquellas coberturas conformadas por vegetación natural herbácea con características arbustivas, pero distribuidas de forma dispersa, ocupando el 2 % y 30 % del área total de la unidad, presentando condiciones edáficas y climáticas limitadas en alturas entre 3.000 a 3.800 m s.n.m., se presentan en ecosistemas de páramo y subpáramo de la alta montaña (IDEAM, 2010).

- **Arbustal:** Son superficies con vegetación arbustiva de crecimiento natural; siendo una especie de planta perenne, con características de tallo leñoso, altura entre 0,5 y 5 m, robustamente ramificado en la base y sin una copa concreta (IDEAM, 2010). Esta unidad puede ser dividida en las siguientes clases:

- **Arbustal abierto:** Está conformada por conjuntos vegetales donde predomina las especies arbustivas normalmente distribuidos, su forma estructural es de estratos de copas (dosel) intermitentes, además, puede presentar características de intervención o no, pero esto no infiere en su estructura original (IDEAM, 2010).

- **Arbustal denso:** Comprende territorios con especies vegetales arbustivas, cuyas características se presentan por tener un dosel irregular, también puede presentar vegetación arbórea con distribución dispersa, estas zonas no presentan intervenciones humanas, pero si se realizan intervenciones estas son seleccionadas para así no alterar su estructura original y sus características funcionales (IDEAM 2010).
- **Vegetación secundaria o en transición:** Son superficies que se encuentran en un proceso de sucesión vegetal natural, que se ocasionan posterior a la intervención o destrucción de la vegetación primaria, esto se presenta debido a que el entorno natural entra en un periodo de recuperación; pueden ser provocados por el ser humano o por efectos naturales (IDEAM, 2010).
- **Áreas abiertas, sin o con poca vegetación:** Se refiere a coberturas donde no existe vegetación o es insuficiente, constituida generalmente por suelos desnudos (IDEAM, 2010). Se clasifica en las siguientes coberturas:
 - **Zonas arenosas naturales:** Son territorios bajos y planos conformados generalmente por suelos arenosos y pedregosos, en su mayoría carentes de vegetación o protegidos por una vegetación arbustal rala y baja. Está relacionado con terrenos cubiertos por arenas, limos o guijarros, localizados en áreas planas de los ambientes litoral y continental, En la actualidad no están asociadas con la actividad de los ríos, el mar o el viento (IDEAM, 2010).
 - **Afloramientos rocosos:** Son coberturas que están compuestas por capas de rocas visibles con presencia de vegetación, están localizadas en zonas de “fuerte pendiente, donde predominan los sustratos de rocas duras y resistentes, asociadas con fallas y deformaciones geológicas, volcanes y glaciares de montaña” (IDEAM, 2010, p. 56). En estos territorios se puede observar depósitos de sedimentos finos y gruesos, de bloques o de cenizas.
- **Superficies de agua:** Son superficies hídricas que pueden ser permanentes, intermitentes y estacionales,

ubicadas en el interior del continente (IDEAM, 2010). Se clasifican de la siguiente manera:

- **Aguas continentales:**

Son cuerpos de aguas permanentes, intermitentes y estacionales que comprenden lagos, lagunas y cuerpos de agua en movimiento, como los lagos, lagunas, ciénagas, depósitos y estanques naturales o artificiales de agua dulce (no salina), embalses y cuerpos de agua en movimiento, como los ríos y canales. (IDEAM, 2010, p. 65)

Se clasifican en:

- **Lagunas, lagos y ciénagas naturales.** Estas superficies de agua natural se caracterizan por estar conectadas con un río o pueden estar de forma estática. El origen de la mayoría de las lagunas es glaciar; aunque la unidad identifica lagos y ciénagas naturales (IDEAM, 2010).

Esta metodología se realiza para las dos áreas de estudio SFF Galeras y cerro Morasurco (ver Figura 2), esto con el propósito de determinar los diferentes tipos de coberturas que se localizan en estos territorios.

Tabla 2. Formas de fragmentos según el índice de formas de Patton

Forma	Indice (D.I)
Redondo	<1.25
Oval-redondo	1.25≤1.50
Oval-oblondo	1.50≤1.75
Rectangular	1.76≤ 2
Amorfo o irregular	>2

Fuente: Patton, 1975.

Posteriormente, se calcula el índice de compactación, esta metodología propuesta por Unwin (1979), indica el nivel de fragilidad o compactación del fragmento con relación a la matriz próxima; este indicador se lo puede calcular con la ecuación 2, los valores se encuentran entre 0 y 1, los rangos iguales a cero (0) o más cercanos a este número, los resultados próximos o igual a uno (1) son considerados menos frágiles.

$$CI = \frac{1}{DI}$$

Ecuación 2: índice de compactación

Donde:

DI= Índice de diversidad de Patton

Además, se calcula los grados de fragmentación (ver Tabla 3) mediante la evaluación de la fragmentación total de bosque, donde se realiza una relación entre al área total de bosque y la zona fragmentada en conjunto, empleando la ecuación 3, cuyos resultados serán confrontados con los valores para el índice de fragmentación.

$$F = \frac{\text{área de bosque (ha)}}{\text{área total (ha)}}$$

Ecuación 3: grados de fragmentación

Tabla 3. Valores para el índice de fragmentación

Grado de fragmentación	Rangos F
Sin fragmentación	F=1
Fragmentación moderada	F=<1 ≤0.7
Altamente fragmentado	F= 0.7≤0.5
Insularizado	F=<0.5

Fuente: Patton, 1975.

Por otro lado, se evalúa el índice de continuidad empleando la metodología de Vogelmann (1995), esto con el fin de estimar la continuidad espacial como un indicativo de fragmentación boscosa, el cual se lo puede calcular empleando la ecuación 4:

$$FCI = \ln(\Sigma A/\Sigma P)$$

Ecuación 4: índice de continuidad

Donde:

ΣA = Área total de parches de bosque (m2)

ΣP = Perímetro total de parches de bosque (m)

Para realizar el análisis del paisaje fue necesario emplear el software Fragstas (McGarigal et al., 2002) el cual brinda información para realizar el análisis cuantitativo del paisaje, tomando dos puntos de vista, el primero, considerando el paisaje natural como un único componente en el área de investigación (métricas del paisaje) y el segundo, desde la estructura.

Complementando lo anterior, se empleó los índices generados por la extensión Patch Analyst de ArcGIS 10.6 realizando los análisis del paisaje; los índices seleccionados para dichos análisis fueron: número de parches, índice de fragmentación, índice de forma, índice de compactación y grado de fragmentación.

La fragmentación se ocasiona cuando grandes fracciones de flora son extraídas, lo cual causa parches que son procedentes de bosques naturales y, a su vez, generan una desintegración del hábitat, lo que implica una disminución en el tamaño de los fragmentos remanentes de los ecosistemas boscosos (Alarcón, 2017). Habitualmente este fenómeno produce efectos perjudiciales y son provocados por las actividades antropogénicas que conllevan a una transformación de la matriz nativa del área. Además, esta perturbación causa un desplazamiento energético de las especies que se encuentran en estas zonas, generando una disminución de flora y fauna originarias del territorio, y en casos extremos puede llegar a la extinción, alterando rigurosamente la biodiversidad, especialmente en entornos frágiles como lo son bosques alto andinos.

Para realizar el análisis de fragmentación fue necesario aplicar dos métricas del paisaje propuestas por Patton

(1975), las cuales se complementan para obtener los resultados más óptimos de la desintegración del paisaje, estas características son el índice de forma y el grado de fragmentación que se describe a continuación.

Índice de forma

Patton afirma que la fragmentación paisajística presenta un índice de forma, dependiendo de la desintegración a la que ha sido expuesto el ecosistema, esto puede ser por causas naturales o antropogénicas, se clasifican de la siguiente manera:

Redondo.



Figura 3. Índice de forma redondo.

Hace referencia que su índice de diversidad es <1.25 , el cual presenta forma de círculo o circunferencia (ver Figura 3). Además, presenta una apariencia o diseño de esfera o similar cuando tiende a ser redonda (Strahler, 1957; Horton, 1932).

Oval-redondo.



Figura 4. Índice de forma oval-redondo.

Su índice de diversidad esta entre $1.25 \leq 1.50$, tiene forma de ovalo que hace referencia a una forma geométrica convexa y redondeada (ver Figura 4), que se asemeja al perfil de un huevo, conservando una estructura circular, pero esta forma de los ecosistemas perjudica en la conectividad de flora, fauna y afectaciones en los ciclos biológicos (Strahler, 1957; Horton, 1932).

Oval-Oblongo.

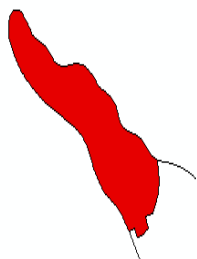
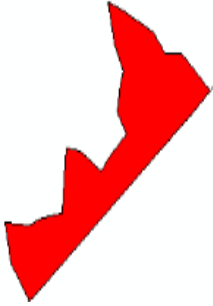


Figura 5. Índice de forma oval-oblongo.

Su índice de diversidad esta entre $1.50 \leq 1.75$, está constituido por una forma ovalada (ver Figura 5), pero esta tiende a ser más larga que ancha o es más larga de lo habitual entre la misma estructura (Alarcón, 2017).

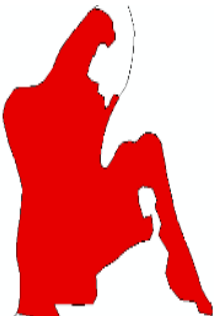
Rectangular.



Su índice de diversidad esta entre $1.76 \leq 2$, un rectángulo es un paralelogramo cuyos lados forman ángulos rectos entre sí; se observa en la Figura 6 que tiene varios lados rectos, pero que en la realidad no existen formas totalmente que sean rectangulares (Alarcón, 2017).

Figura 6. Índice de forma rectangular.

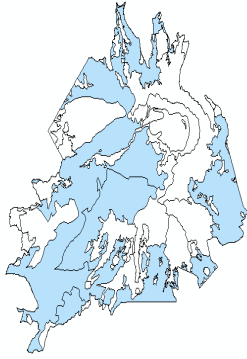
Amorfo o Irregular.



Su índice de diversidad >2 , esta figura utiliza líneas y arcos concretos no poseen regla alguna, suelen ser unión de dos o más formas geométricas regulares (ver Figura 7); las formas amorfas o formas irregulares pueden tener un perímetro más largo por unidad de área y ser significativamente sensibles a los efectos negativos externos (Alarcón, 2017).

Figura 7. Índice de forma rectangular.

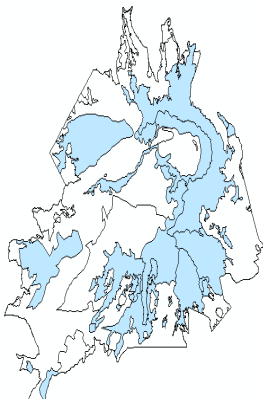
Fragmentación alta.



Se atribuye a las zonas que a través de los años se han desintegrado por diferentes razones (ver Figura 10), otorgando a las actividades antropogénicas su principal factor, pero también puede ser ocasionado por fenómenos naturales, como deslizamientos, erupciones volcánicas y precipitaciones, entre otras; por lo que se interrumpe la conectividad natural de este lugar de conservación.

Figura 10. Tipo de fragmentación alta.

Fragmentación insularizado.



Son las áreas que presentan perturbaciones de su estado natural, lo cual ocasiona una pérdida del ecosistema nativo, estos son posibles de diferenciar debido a la gran cantidad de islas que se presentan alrededor del área de estudio (ver Figura 11), lo cual ha causado una sucesión secundaria. Esta desintegración puede ser ocasionada por actividades antropogénicas (aumento de la frontera agrícola, tala indiscriminada, etc.) o por fenómenos naturales (incendios, inundaciones, deslizamientos, entre otros).

Figura 11. Tipo de fragmentación Insularizado

Esta metodología se realiza para las dos áreas de estudio SFF Galeras y cerro Morasurco, con el propósito de identificar el índice de forma de fragmentación que se encuentra en estos territorios. La Figura 12 representa el índice de fragmentación de SFF Galeras y el cerro Morasurco.

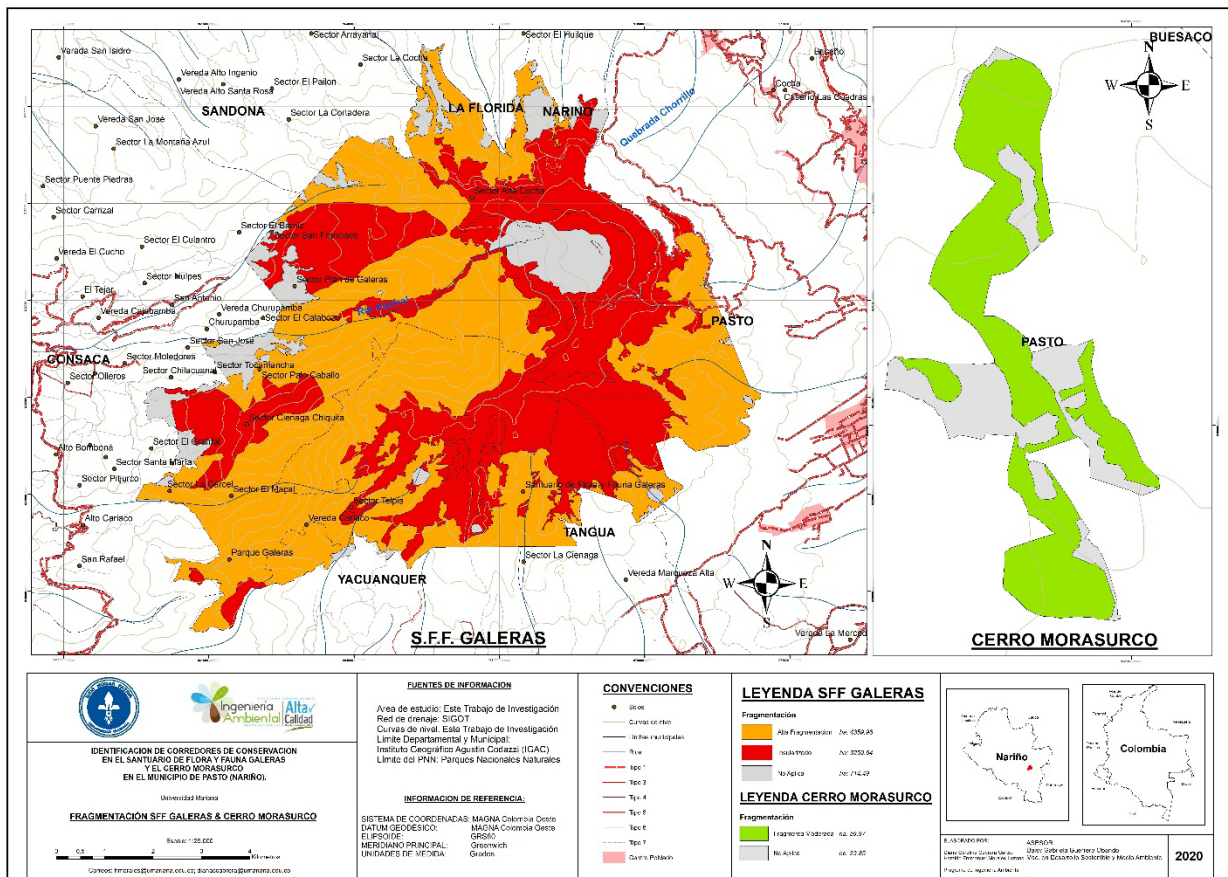


Figura 12. Índice de fragmentación del SFF Galeras y cerro Morasurco.

Delimitación de corredores

Para cumplir con el tercer objetivo, se delimitan los corredores de conservación en las áreas protegidas a través de ArcGIS 10.6, los cuales se generan con ayuda de los datos obtenidos en el índice de fragmentación, índice de forma, índice de compactación y el grado de fragmentación.

De manera investigativa se seleccionan los parches que no han sufrido perturbaciones drásticas (Feoli, 2009) para el diseño de corredor de conservación y que muestran las diferentes tipologías de ecosistemas, como son el bosque alto de tierra firme, vegetación secundaria o en transición, herbazal denso de tierra firme no arbolado, arbustal abierto, arbustal denso y bosques; por otro lado, fue necesario que la distribución espacial sea heterogénea (García y Adad, 2014), así mismo, se tuvo en cuenta el índice de compactación o fragilidad del terreno con relación al área de estudio.

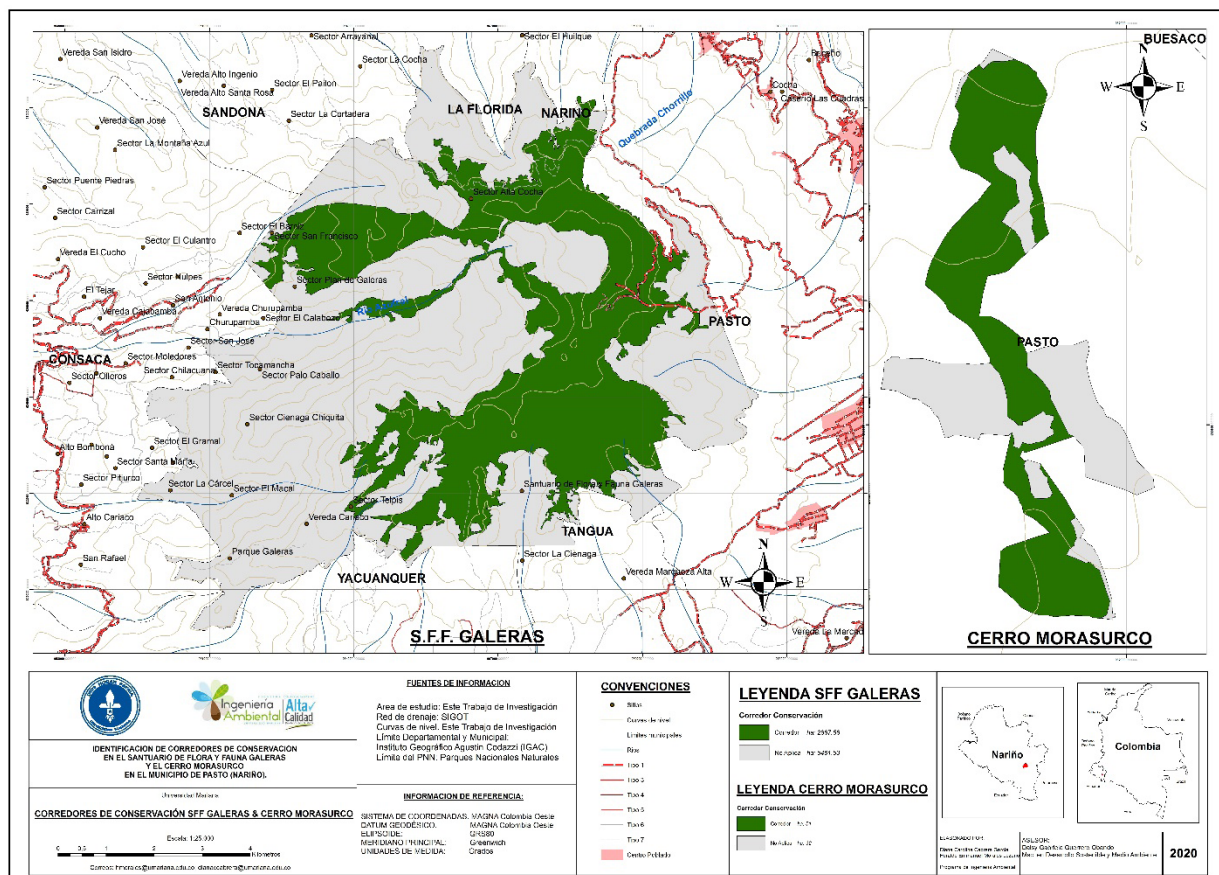


Figura 13. Corredores de conservación SFF Galeras y cerro Morasurco.

Estas metodologías ayudarán a identificar los posibles corredores en las diferentes áreas de estudio, para arrojar datos explícitos y así ayudar a la conservación de los espacios naturales que presenta cada territorio y obtener un equilibrio en los servicios ecosistémicos.

Es importante que las imágenes satelitales que se toman o se descarguen no presenten ninguna alteración para así obtener excelentes resultados, tanto para la identificación de coberturas, fragmentación paisajística y delimitación de corredores óptimos para el estudio de conservación en áreas protegidas.

Referencias

- Equipo de Trabajo Santuario de Flora y Fauna Galeras. (2015). Plan de manejo SFF Galeras, parques nacionales de Colombia. Recuperado de http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2013/12/PM-SFF-Galeras_Adoptado_junio_6_2015.pdf
- Erazo, Y. y Guerrero, L. (2012). *Estado actual de los ecosistemas de páramo y selva Altoandino Morasurco, municipio de Pasto* (Tesis de pregrado). Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia. Recuperado de <http://sired.udenar.edu.co/1984/>
- García, F. y Adad, 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, 253-298.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2010). Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover Adaptada para Colombia, Escala 1:100.000. Recuperado de <https://bit.ly/2A19uqs>
- Patton, D. (1975). A diversity index for quantifying habitat "Edge". *Wildlife Society Bulletin*, 3(4), 171-173. Doi: 10.2307/3781151