



Diseño de rutas ecológicas de conectividad para la conservación de la biodiversidad a nivel de paisaje en la provincia Granma, Cuba

Structural design of ecological connectivity for biodiversity conservation at landscape level in the province of Granma, Cuba

Historial del Artículo

Recibido:

9 de julio de 2022

Revisado:

14 de noviembre de 2022

Aceptado:

12 de diciembre de 2022

Adonis Ramón Puebla^a, Yandy Rodríguez Cueto^b, Eduardo Salinas Chávez^c

^a Universidad Nacional Autónoma de México, México. Correo electrónico: adonis.maikel@gmail.com.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2515-2508>

^b Academia Nacional de Investigación y Desarrollo A.C., México. Correo electrónico: yandyro84@gmail.com.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1792-6737>

^c Universidad de Granada, España. Correo electrónico: esalinas@yahoo.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5976-0475>

Palabras clave

Áreas protegidas, mapa de dificultad al desplazamiento, modelo costo-distancia, rutas ecológicas de conectividad, sistema de información geográfica

RESUMEN

Una de las estrategias para la conservación de la biodiversidad a nivel de paisaje son las rutas ecológicas de conectividad entre los parches de vegetación con altos valores de conservación. Sin embargo, el establecimiento de las áreas protegidas en la provincia Granma carece del diseño de redes de conectividad. Esta investigación presenta una propuesta de rutas ecológicas de conectividad entre los parches de vegetación dentro de 15 áreas protegidas, 11 de la provincia y cuatro adyacentes de provincias vecinas; mediante un modelo de costo-distancia basado en un mapa de fricción, elaborado a partir de la evaluación de cinco variables críticas. Se analizan las características de las rutas identificadas y se categorizan las áreas protegidas como: de tránsito o de origen-destino, con base en la cantidad de rutas que pasan por estas. El trabajo realizado permite identificar 56 nodos de conectividad en las áreas protegidas y obtener 3080 rutas de conectividad, de las cuales el 59% son altitudinales y el 41% longitudinales. La densidad de rutas refleja las zonas más propicias para la conectividad ecológica en la provincia y permite clasificar las áreas protegidas como: cinco de origen-destino y cuatro de tránsito. Esto permite identificar rutas potenciales de conectividad y la factibilidad de estas para el diseño de corredores biológicos.

Keywords

Cost-distance model, ecological connectivity routes, friction map, geographic information system, protected areas

ABSTRACT

One of the strategies for the biodiversity conservation at the landscape level is a network of structural connectivity among core areas of conservation. However, the design of the protected areas has lacked analysis among them in the province of Granma, Cuba. This paper presents a proposal for connectivity routes between vegetation patches within the 15 protected areas in Granma by using a cost-distance model based on a friction map that was developed from the evaluation of five critical variables. The characteristics of the identified routes were analyzed, and the 15 protected areas were categorized as transit or origin-destination based on the number of routes that pass through them. The work carried out makes it possible to identify 56 connectivity nodes in the whole protected areas and obtain 3080 connectivity routes, which are 59% altitudinal and 41% longitudinal. The density of routes reflects the most-conducive areas to connectivity in the province and allows the classification of protected areas in five as origin-destination and four as transit. It makes possible to identify the potential connectivity routes and their feasibility for the design of corridors of biodiversity.

Introducción

Las actividades antrópicas en los últimos siglos, expone Bennett (2004), han modificado, destruido y simplificado la cobertura de nuestro planeta; dividiendo y disminuyendo el área de los hábitats naturales y transformando el paisaje en un mosaico de parches compuesto por: asentamientos humanos, tierras agrícolas y remanentes aislados de vegetación natural. Muchos de estos últimos remanentes se han convertido en áreas protegidas que subsisten en la actualidad, y que siguen siendo hasta hoy la manera más eficaz para conservar la biodiversidad.

El concepto de “parche” en ecología usualmente se refiere a áreas relativamente discretas, con condiciones ambientales homogéneas en relación con una o más variables relevantes para la escala y el organismo o fenómeno ecológico de estudio (Wiens, 1976). Los territorios que han sufrido cambios de uso de suelo como consecuencia de actividades productivas (agricultura, ganadería), usualmente presentan parches de vegetación nativa embebidos en una matriz antrópica compuesta por parches de diferentes coberturas (tierras agrícolas, pastizales y asentamientos humanos). Fue en este contexto que surgió el concepto de “paisaje” para referirse a una porción de territorio, espacialmente heterogénea, compuesta por un mosaico de parches de distintos tipos de coberturas (Arroyo-Rodríguez et al., 2017).

En este mosaico, los parches menos alterados por la mano del hombre se convirtieron en su mayoría en áreas protegidas, consideradas históricamente como los sitios ventajosos para conservar los remanentes de biodiversidad, resultan insuficiente según Correa et al. (2016) y Daigle et al. (2020), quienes afirman que la falta de conectividad entre estos espacios puede malograr el objetivo fundamental de su creación, que es la conservación de los atributos naturales de una región; debido al fuerte proceso de fragmentación a que se ven sometidos los hábitats naturales.

En la actualidad, las estrategias internacionales para la conservación de la biodiversidad reconocen la necesidad de mantener los sistemas ecológicos conectados, con base en la teoría del *Equilibrio Biogeográfico de las Islas* de (MacArthur & Wilson, 1967). Estos autores fundamentan dicha conexión en la existencia de rutas ecológicas de conectividad, bajo el supuesto de que los fragmentos conectados por estas rutas disminuyen la tasa de extinción y contribuyen a incrementar el valor para la conservación más que los hábitats aislados.

El concepto de “conectividad”, fundamenta Bennett (2004), se refiere a la conexión de hábitats, especies, comunidades

y procesos ecológicos, empleándose comúnmente para describir los arreglos espaciales y la calidad de los elementos en el paisaje que afectan el desplazamiento de los organismos entre los fragmentos de hábitats. Para restablecer y mantener la conectividad en un paisaje, Correa et al. (2016, 2019) y Daigle et al. (2020) proponen crear enlaces entre los fragmentos de paisaje, los cuales denominan de diferentes formas, siendo el más usual el de *corredores biológicos*, que constituyen una herramienta para favorecer la conectividad; incorporando en su diseño el concepto de redes de conectividad ecológica, las cuales se crean en función de la distribución espacial de los diferentes tipos de hábitat en el paisaje.

De acuerdo con los autores anteriormente citados, la conectividad se relaciona con el acceso de las diferentes especies a todos los hábitats y recursos necesarios para completar sus ciclos de vida, así como su capacidad de movimiento y adaptación en caso de cambios abruptos de los factores ecológicos, que no siempre está restringida al espacio físico que representa un área protegida aislada. De esta forma queda claro que, para el mantenimiento de los procesos ecológicos y de las especies, la implementación de medidas de conectividad ecológica se convierte en un factor indispensable de la planificación sistémica y estratégica para la biodiversidad, sobre todo en paisajes vulnerables al impacto humano o donde la integridad ecológica se encuentra fuertemente afectada por procesos antrópicos de diversa índole.

En este contexto, Cuba, a pesar de contar con una amplia red de áreas protegidas que va desde las zonas marino-costeras hasta las montañas más elevadas del país, carece hasta hoy del diseño e implementación de rutas de conectividad ecológica que permitan la movilidad de las especies y mantener su variabilidad genética, que es, a juicio de Alía et al. (2003), la que permite adaptarse a los cambios del medio ambiente a través de la selección natural; señalando que poblaciones con poca variación genética son más vulnerables al asedio de nuevas enfermedades o plagas, cambios en el clima y destrucción del hábitat debido a efectos antrópicos o naturales. En este sentido, el sistema nacional de áreas protegidas resulta incompleto, si consideramos que todo sistema, de acuerdo con Bennett (2004), debe considerar funciones, enlaces y orden, siendo necesaria la incorporación de rutas de conectividad ecológica que vinculen las unidades territoriales de conservación. Por lo tanto, un sistema de áreas protegidas debe de contar con unidades territorialmente conectadas entre sí.

Queda clara, entonces, la necesidad de establecer estrategias para la conservación de la biodiversidad, mediante rutas

de conectividad ecológica. Pues sin restar importancia al rol que tienen las áreas protegidas en dicha función, los territorios aislados son insuficientes para mantener los procesos y patrones ecológicos en nuestro planeta. De ahí la necesidad expuesta por Bennett (2004) y Correa et al. (2019) de garantizar los flujos de materia, energía y organismos vivos, algo de gran importancia para el funcionamiento del paisaje, y la necesidad de una conexión adecuada entre estos espacios, mediante el establecimiento de corredores que faciliten el movimiento de los organismos vivos entre las áreas, con la consiguiente viabilidad de sus poblaciones.

En el caso de Cuba, podemos señalar, a partir de la revisión y análisis de los trabajos del Centro Nacional de Áreas Protegidas (2013) y Ramón et al. (2020), que la conservación *in situ* de la biodiversidad está solamente concebida mediante la declaración de áreas protegidas que, no obstante conformar un sistema nacional bien estructurado y funcional, carece del necesario diseño e implementación de rutas de conectividad que permitan la movilidad de las especies y el correspondiente flujo genético entre las mismas. Esto denota un vacío en las recomendaciones de las estrategias para la conservación de la biodiversidad, que reconocen la necesidad de mantener los sistemas ecológicos conectados, tal como enuncia la Meta 11 de Aichi del Convenio sobre la Diversidad Biológica, que propone alcanzar al menos el 17% de la superficie terrestre cubierta por un sistema de áreas protegidas bien conectadas para el año 2020 (López, 2013).

Hasta hoy, solo se ha seguido este enfoque de forma experimental en contadas áreas protegidas de algunos de los macizos montañosos del país, a partir de la implementación del proyecto del GEF-PNUD “Conectando Paisajes” que busca la implementación de este enfoque en los principales macizos montañosos de Cuba a partir de las experiencias y resultados que se generen de este proyecto, según las referencias de Ramón et al. (2020). Sin embargo, no existen aun experiencias que vinculen las zonas montañosas con las zonas costeras o entre las zonas costeras y las llanuras interiores.

A partir de estas consideraciones, la investigación se plantea como objetivo fundamental desarrollar una metodología que contribuya al trazado de rutas de conectividad ecológica entre los parches de bosques considerados viables para el mantenimiento de la biodiversidad dentro de las áreas protegidas y sus zonas adyacentes. Se espera que dichas áreas y zonas sean la base para el diseño de futuros corredores biológicos, que contribuyan al cambio en el manejo de las áreas protegidas en el país, permitiendo pasar de la

planificación individual a la planificación integral sobre grandes territorios, donde las áreas protegidas formen parte de un sistema más amplio de conservación.

Materiales y métodos

Para cumplir con su objetivo, el trabajo implementa una metodología basada en tres elementos fundamentales que son:

1. delimitar los parches de bosques dentro de las áreas protegidas, a partir del análisis de métricas, que son viables para sostener especies y demás elementos naturales de interés para la conservación, y que representan las zonas a conectar;
2. identificar las variables y criterios que permiten establecer los niveles de dificultad para la conectividad según los tipos de cobertura y las actividades existentes en el territorio, entre las áreas protegidas de categoría de conservación más estricta;
3. desarrollar un modelo, que contribuya al trazado de las rutas de conectividad entre los parches de bosque dentro de las áreas protegidas; y entre estas y los de las áreas protegidas cercanas, mediante un modelo de costo-distancia, a partir de la impedancia de los costes asociados al desplazamiento, con base en la elaboración del mapa de dificultad al desplazamiento de las especies, entre los parches de bosques de las áreas protegidas.

Modelo para el diseño de redes de conectividad ecológica

Uno de los modelos más usados para el diseño de redes ecológicas de conectividad es el propuesto por Finegan et al. (2008), aplicado en Cuba, para la región de la Sierra Maestra, por Ramón et al. (2020). Estos autores concuerdan en la existencia de tres componentes fundamentales para el diseño de dichas redes:

- Identificación de los fragmentos de bosques o áreas/nodos a conectar.
- Establecimiento de los niveles o grados de dificultad al desplazamiento entre los fragmentos de bosques o áreas/nodos a conectar.
- Modelación de la red de conectividad integrada por los fragmentos de bosques o áreas/nodos, mediante el establecimiento de rutas de menor dificultad al desplazamiento.

Selección de las áreas núcleos o nodos de conectividad

La selección de los parches de bosques o áreas/nodos a conectar, es el primer punto de la metodología. Este procedimiento, según Finegan et al. (2008), Correa et al. (2019) y Daigle et al. (2020), es parte fundamental del diseño de las redes ecológicas de conectividad, ya que es en estos núcleos donde se considera que están presentes la mayor parte de las comunidades, especies y otros elementos naturales de interés para la conservación. Como áreas núcleo se consideran los remanentes de hábitat naturales con diferentes grados de conservación que se interconectarán en el diseño de las rutas.

A efectos de este trabajo, se seleccionaron las áreas protegidas de la provincia con categorías de manejo más estrictas, 11 en total, con objetivos de manejo equivalentes a las categorías I y II de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). Adicionalmente, y dado que la provincia no es una isla y tiene vínculos terrestres con 3 provincias vecinas, también se tomaron 4 áreas protegidas de provincias colindantes, con similar categoría de manejo, situadas a menos de 10 km de distancia de las áreas protegidas de la provincia Granma, dada la posibilidad de existir algún tipo de conectividad.

Otro aspecto a señalar, con respecto a la selección y delimitación de los nodos de conectividad, es que, en el caso de esta investigación, se decidió no tomar los bordes de las áreas protegidas como origen de las rutas de conectividad, por no siempre coincidir los límites del área protegida con los fragmentos de bosques en su interior y al ser posible la existencia de un fragmento de bosque al borde exterior del área protegida y una zona no boscosa a su interior; por lo que se consideró más apropiado evaluar

Tabla 1

Criterios para que un parche de bosque sea considerado viable para el sostenimiento de comunidades y especies de fauna

Criterio	Planteamiento	Referencia
Tamaño del hábitat	Para este estudio se decidió tomar como viables los fragmentos iguales o mayores a 7 ha.	Corredor (2019)
Efecto de borde	Se tomó como criterio un ancho de borde de 94 m, considerando la dinámica de la pérdida de cobertura boscosa en la provincia Granma, según Del Risco (1995).	Newmark (2001)
Área interior absoluta	Áreas interiores superiores a 1 ha.	Hilty et al. (2006)

Fuente: elaborada con base en Corredor (2019), Newmark (2001) y Hilty et al. (2006).

la conectividad real a partir de los fragmentos de bosques considerados viables dentro de los espacios protegidos y de paso ver cómo se comporta la conectividad entre los fragmentos de bosques al interior de estos espacios, lo que puede jugar un papel importante al diseñar la zonificación de las áreas protegidas.

Al respecto, un fragmento de bosque para ser considerado viable para el sostenimiento de comunidades y especies de fauna debe tomar en cuenta una serie de aspectos relacionados con el área interior, borde y grado de aislamiento; los cuales guardan una estrecha relación con la supervivencia o extinción de las especies (Kattan, 2002). Con base en esto, se tomaron una serie de criterios para la selección de los fragmentos de bosques considerados viables, que se presentan en la Tabla 1.

A partir de los criterios anteriormente señalados en la Tabla 1, se tomó el centroide de los fragmentos de bosque dentro de las áreas protegidas que cumplen los criterios propuestos, que serán tratados en lo adelante como los *nodos de conectividad*.

Criterios para establecer los niveles de dificultad para la conectividad

El criterio para establecer los niveles de dificultad para la conectividad es el segundo punto de la metodología, según Chacón (2016), Colorado et al. (2017) y Ramón et al. (2020), los niveles de dificultad para el desplazamiento están determinados por el tipo de cobertura y uso del suelo, y la presencia de elementos y actividades de carácter antrópico que se desarrollan en el territorio. La dificultad más alta la imponen aquellas áreas donde la presencia de infraestructuras, cobertura existente y/o las actividades que se desarrollan se alejan de las condiciones naturales o constituyen un factor de estrés para la biota. Señalan los autores anteriormente citados que las áreas con gran número de asentamientos humanos y la presencia de infraestructuras viales son las que imponen la dificultad más alta para la conectividad, mientras que las áreas de bosques sin grandes afectaciones de carácter antrópico serán las que menos dificultades imponen.

En nuestro estudio, los valores de dificultad fueron determinados mediante el análisis de criterios y experiencias de expertos internacionales y nacionales vertidas por Arias et al. (2008), Finegan et al. (2008), Colorado et al. (2017) y Ramón et al. (2020) y los estudios sobre la biodiversidad realizados por Borroto-Páez & Mancina (2011), González et al. (2012) y Mancina & Cruz (2017). Hay que destacar que, para esta investigación, no se realizó la modelación

para grupos de especies, que es lo comúnmente realizado, sino que se evaluó la conectividad del paisaje de forma general, estableciendo rangos generales basados en el comportamiento de la biota por referencias de los autores anteriormente citados.

El análisis realizado a partir de estos trabajos permitió identificar cinco variables fundamentales que, a juicio de los autores, pueden incidir en la conectividad del paisaje, los cuales son:

- **Cobertura del suelo:** las coberturas naturales y menos alteradas por las actividades humanas son, para Bennet (2004), las que ofrecen la menor dificultad al movimiento de las especies; ocurriendo lo contrario con aquellas coberturas donde predominan los usos agropecuarios, industriales o urbanos.
- **Dinámica espacio-temporal de la cobertura del suelo:** con la finalidad de lograr rutas de conectividad más estables en el tiempo, se evaluó la dinámica espacio-temporal de la cobertura del suelo a partir de lo expuesto por Finegan et al. (2008). Estos autores evalúan la permanencia de las coberturas naturales y poco alteradas, y los cambios positivos en las mismas. Es decir, cuando pasa de una cobertura alterada a otra poco alterada en un intervalo de tiempo, o cuando se mantiene estable en el tiempo una cobertura favorable.
- **Red hídrica:** en términos generales, Bennet (2004) y Arias et al. (2008) asumen que las zonas que se ubican cerca de la red hídrica ofrecen una menor dificultad para el movimiento de las especies. Lo anterior se debe, a su juicio, al hecho de que muchas especies

requieren de agua en alguna etapa de su vida o la utilizan como agente dispersor. Para fines de este estudio, se tuvo en cuenta que los grandes cuerpos de agua pueden funcionar como barreras a la dispersión de las especies terrestres no aladas cuando exceden una longitud determinada, que en este caso se asumió como un ancho superior a los 30 m.

- **Asentamientos humanos:** la presencia de estos, independientemente de poder considerarse un tipo de uso del suelo, se le da un tratamiento separado, porque además del obstáculo que representan al desplazamiento de las especies, existen efectos negativos sobre la biota, por la depredación, el ruido y la fuerte modificación del hábitat. Según Arias et al. (2008) y Chacón (2016), esta variable es un obstáculo para el desplazamiento de algunas especies y dichos autores asumen que los efectos negativos de los asentamientos para proporcionar conectividad en un paisaje disminuyen cuando aumenta la distancia entre una zona de tránsito y un lugar poblado.
- **Infraestructura vial:** la presencia de infraestructura vial, según Arias et al. (2008) y Chacón (2016), genera dificultad para el movimiento de las especies a través del paisaje, ya que significan un obstáculo para su desplazamiento, no solo por su trazado, sino también porque este tipo de infraestructura incorpora en el paisaje perturbaciones asociadas al ruido, por lo que sus efectos van más allá del área por donde transitan los vehículos o trenes. En esta investigación se asumió, a sugerencia de estos autores, que los efectos negativos de la infraestructura vial disminuyen cuando aumenta la distancia entre una zona en el paisaje y este tipo de infraestructura.

Tabla 2
Categorías de dificultad al desplazamiento establecida para cada clase

Variable	Valores ordinales según dificultad para el desplazamiento					Peso
	1	2	3	4	5	
Cobertura del suelo	Bosques y humedales	Matorrales	Herbazales y pastizales	Áreas de cultivos	Superficies desnudas y cuerpos de agua	0.4
Dinámica espacio-temporal de la cobertura boscosa	Mantiene la cobertura de bosques y humedales o cambia a estas.	Mantiene la cobertura de matorrales o cambia a estas.	Mantiene la cobertura de herbazales y pastizales o cambia a estos.	Mantiene la cobertura de áreas cultivables o cambia a estos.	Se mantiene la superficie desnuda, o cambia a estas.	0.2
Distancia a la red fluvial (m)	menos de 30	de 31 a 60	de 61 a 100	de 101 a 200	mayor a 200	0.2
Distancia a los asentamientos humanos (m)	mayor a 1001	de 501 a 1000	de 201 a 500	de 51 a 200	menos de 50	0.1
Distancia a la red vial (m)	mayor a 1001	de 501 a 1000	de 201 a 500	de 51 a 200	menos de 50	0.1

Fuente: elaborado con base a la propuesta de Ramón et al. (2020).

Para la evaluación de estos criterios y generar el mapa de fricción, se establecieron pesos para ponderar su comportamiento favorable o desfavorable al desplazamiento de las especies en el territorio, estableciéndose la posición jerárquica de cada variable con base en la importancia relativa o nivel de significación que tiene uno con relación a otro; apoyado en la escala ordinal y método de clasificación ya usado por Ramón et al. (2020) para parte de este territorio. Los criterios de clasificación obtenidos a partir de este método, así como la jerarquía, el peso y la ponderación de cada variable, se presentan en la Tabla 2.

Modelación de la red ecológica de conectividad

La modelación de la red ecológica de conectividad es el tercer punto de la metodología, se realiza mediante un modelo de costo-distancia, en el cual se calcula el menor costo-distancia acumulativo para cada celda desde o hasta el origen de menor costo por una superficie de costo, que constituye la superficie de dificultad al desplazamiento, combinando herramientas disponibles en el *software* ArcGIS 10.4 y funciones de Python, versión 3.6; buscando las rutas de máxima conectividad entre los centroides de los parches de bosques con altos valores de biodiversidad (nodos) sobre el mapa de dificultad al desplazamiento. En este modelo, las superficies de dificultad describen la conectividad del paisaje como su inverso, es decir, la dificultad al movimiento y a la dispersión de las especies, como refieren Sawyer et al. (2011) y Zeller et al. (2012). Utilizando cada nodo como punto de origen a conectar sobre la superficie de costos creada para cada punto de destino, se generan redes de conectividad desde el nodo elegido como el origen hacia los nodos de destino por las rutas con menor dificultad al desplazamiento.

Para la realización de este trabajo se identificaron las coberturas del suelo para los años 2000 y 2020¹. Una vez establecidas las coberturas, se identificaron las zonas de dinámica de las coberturas, tanto aquellas que cambian como las estables, entre los años 2000 y 2020. En paralelo, se llevó a cabo la reclasificación de las capas correspondientes a los demás criterios, mediante el empleo de la herramienta Euclidean Distance, para calcular un ráster de distancias a cada uno de los elementos analizados. Una vez que los ráster estuvieron elaborados, con el uso de la herramienta Weighted Sum se elaboró el ráster de fricción y mediante el empleo de la herramienta Cost Distance se obtuvo el ráster de los costos al desplazamiento.

Finalmente, con la capa de sitios de parches de vegetación natural que cumplieron los requerimientos establecidos para ser considerados viables dentro de cada área protegida y el ráster de costos (dificultad al desplazamiento), se identificaron las rutas de conectividad con el empleo de funciones basadas en las librerías de Python: *os*, *numpy*, *itertools*, *osgeo*, *math* y *skimage*. Dichas funciones fueron empleadas mediante la elaboración de un *script* que permite el trazado de rutas de conectividad sobre un ráster de costos al desplazamiento. Para ello se empleó la interfaz de PyCharm, en su versión 2020.1.

Una vez obtenidas las rutas, se elaboró el ráster de densidad de rutas, con la finalidad de conocer cuáles eran las regiones con mayor coincidencia espacial de rutas con la herramienta Line Density. Posteriormente, se calcularon las estadísticas para cada área protegida, con el empleo de las herramientas Tabulate intersection y Summary Statistics. Las estadísticas para cada ráster de categoría ordinal en cada variable se obtuvieron mediante el uso de funciones elaboradas con base en librerías de Python, tales como: *os*, *numpy*, *pandas* y *geopandas*.

El análisis de las condiciones altitudinales y longitudinales de las rutas identificadas se realizó con base en los pisos altimétricos de la vegetación de Capote & Berazain (1984), para evaluar el rango altitudinal en función de las fajas que conforman los ecosistemas de la provincia, los cuales se correspondieron con los siguientes rangos: 0 m \leq h < 150 m; 150 m \leq h < 450 m; 450 m \leq h < 550 m; 550 m \leq h < 850 m; 850 m \leq h < 1000 m y h \geq 1000 m. Una vez obtenidas las rutas, se realizaron los perfiles topográficos y se identificaron los valores máximos y mínimos de altura y dichos valores se compararon con los pisos altitudinales anteriormente definidos, mediante la herramienta Stack Profile, de ArcMap; y las funciones de Python anteriormente mencionadas.

Área de estudio

El área de estudio considera toda la provincia Granma (Figura 1), localizada en la parte sur oriental de Cuba, entre los 19°49' 9.0" y los 20°45' 43.8" de latitud norte, y los 76°11' 45.7" y 77°44' 27.9" de longitud oeste, con una superficie de 8 362 km² de extensión, lo que representa el 7.57% del área total de la isla de Cuba y con una población de 834 380 habitantes, para una densidad poblacional de 99.76 hab/km², siendo considerada la quinta provincia más densamente poblada de Cuba. Esta provincia limita al norte con las provincias de Las Tunas y Holguín, al este

¹ Disponible en http://www.globallandcover.com/home_en.html?type=data

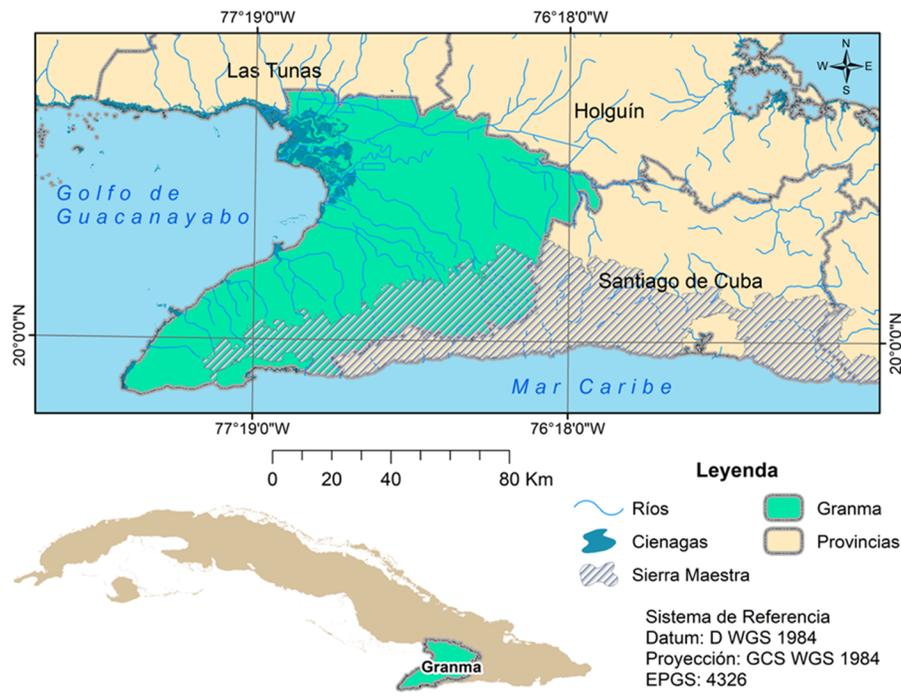


Figura 1. Situación geográfica de la provincia Granma. Fuente: elaborado con base en la información brindada por la Oficina Nacional de Estadísticas e Información (2019).

con las provincias de Holguín y Santiago de Cuba, al sur con la provincia Santiago de Cuba y el mar Caribe y al oeste con el golfo de Guacanayabo, con el cual comparte 260 km de litoral (Oficina Nacional de Estadísticas e Información, 2019).

Desde el punto de vista morfoestructural, Iturralde-Vinent (2010) divide esta región en dos morfoestructuras de primer orden: el Anticlinorio de la Sierra Maestra, formado mayoritariamente por rocas vulcanógenas y vulcanógeno-sedimentarias; y el Sinclinorio del Cauto-Guantánamo, constituido principalmente por depósitos terrígeno-sedimentarios del Mioceno y depósitos pliocuaternarios principalmente aluviales y aluvio-marinos; evolucionando desde el paleógeno con un estilo tectónico caracterizado por el levantamiento continuo y la separación en bloques, lo que condiciona una gran diversidad litológica.

El clima se caracteriza, según los datos de Oficina Nacional de Estadísticas e Información (2019), por la influencia marítima y de los vientos alisios del noreste. Las lluvias son de carácter estacional, con una temporada lluviosa de mayo a octubre y una de seca de noviembre a abril. Las precipitaciones alcanzan un promedio anual de 1.600 mm,

existiendo zonas de muy alta pluviosidad en la parte montañosa que se extiende perpendicular al flujo de los alisios con valores superiores a los 2.000 mm y zonas semisecas, en la costa sur oriental, con valores medios anuales de 800 mm.

Estas características condicionan para González et al. (2012) una cobertura vegetal diversa, en la que pueden encontrarse gran parte de las formaciones boscosas y complejos de vegetación presentes en el país, además de una biota muy rica en endémicos vegetales y animales, restringidos principalmente a los macizos montañosos, y las costas bajas cenagosas, dando una destacada diversidad biológica al territorio. Por esta razón, se elige este territorio como zona de estudio.

Toda esta riqueza natural y valores ecológicos no han escapado de los procesos de fragmentación y degradación provocados por la transformación de más de cuatro siglos a que ha estado sometida la región, como consecuencia de una prolongada e intensa asimilación económica, en la que predominó según Mateo (2017) el uso irracional e intensivo del suelo, con prácticas agropecuarias y forestales inadecuadas, caracterizadas por una excesiva

explotación de los recursos forestales y su extinción para el establecimiento de cultivos varios, café, caña de azúcar y arroz, y el desarrollo ganadero; tanto en las zonas llanas como montañosas. A lo que se suma el posterior desarrollo de la urbanización y la infraestructura de comunicación entre la amplia red de asentamientos que evolucionó de forma paralela a este intenso proceso de asimilación socioeconómica del territorio.

No obstante, partiendo de los resultados del trabajo de Estrada et al. (2011), podemos señalar la existencia en la provincia de áreas de vegetación natural y seminatural, cuyos principales fragmentos componen hoy parte de los núcleos de conservación del sistema de áreas protegidas; con un claro predominio de bosques fragmentados. Tal situación atenta contra la probabilidad de mantener la biodiversidad por sí sola, en su carácter de "islas", en ocasiones con reducido tamaño, en medio de una matriz de uso predominantemente agropecuario.

Resultados y discusión

Selección de las áreas núcleos o nodos de conectividad

Como elemento de origen y destino para la creación o identificación de las rutas ecológicas de conectividad se emplearon los parches de vegetación natural incluidos

dentro de los límites de las áreas protegidas de la provincia de Granma, y de las contiguas seleccionadas que cumplieran los criterios para ser considerados viables. Para un total de 15 áreas protegidas existentes en el territorio, 11 de la provincia Granma y 4 de provincias contiguas; se identificaron 94 parches de vegetación natural, de los cuales solamente 56 cumplen con las condiciones de viabilidad, y se convirtieron, por tanto, en los nodos de origen y destino de las rutas ecológicas de conectividad (Figura 2).

El área protegida con mayor cantidad de parches de vegetación natural es Delta del Cauto, con 33, lo que sugiere una alta fragmentación de sus formaciones vegetales interiores; mientras que 6 áreas protegidas presentaron un solo parche de vegetación natural, mostrando una baja fragmentación. El área protegida con mayor cobertura boscosa es Pico Bayamesa, con 225 km², seguida de Turquino, con 207 km²; la que menor cobertura presenta es Monte Natural Cupaynicú, con 0.5 km². En cuanto a los parches de cobertura que cumplen con las condiciones establecidas, o de viabilidad, el área protegida que mayor número de parches presentó fue Delta del Cauto, mientras que ocho áreas protegidas presentaron solamente un nodo para la creación de rutas de conectividad (Tabla 3, con asterisco se marcan las áreas protegidas en las provincias colindantes).

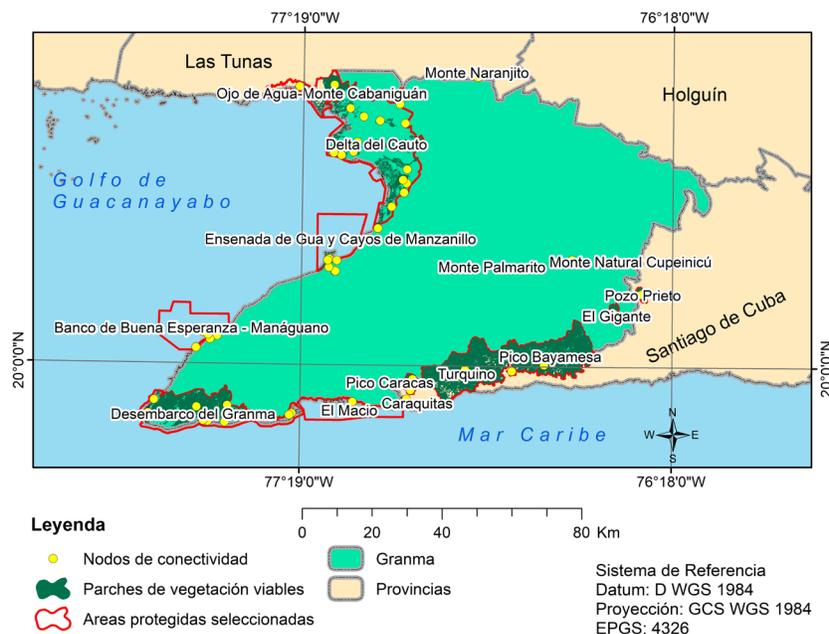


Figura 2. Parches de vegetación viables y nodos obtenidos para cada uno de ellos. Fuente: elaborado con base en la información proporcionada por el Centro Nacional de Áreas Protegidas (2013) y la información obtenida del http://www.globallandcover.com/home_en.html?type=data

Superficie de fricción al movimiento y ráster de costos

La creación de las capas ráster de fricción y costos al desplazamiento comenzó con la reclasificación de las variables consideradas dentro del análisis, siendo normalizadas en los cinco niveles o categorías ordinales indicadas en las Tablas 2 y 4.

En el caso de la cobertura de uso del suelo, la Categoría 4, correspondiente a áreas de cultivos, es la que mayor representación presenta en el área de estudio, seguida de bosques y humedales (Categoría 1); mientras que la que menor área presenta es la Categoría 2 (matorrales). Para la dinámica de la cobertura de uso del suelo, la Categoría 1 es la que mayor representación posee en el área de estudio, aunque muy similar a la Categoría 4, lo que muestra que

Tabla 3

Cantidad de parches de vegetación natural, superficie que ocupan y nodos generados en cada una de las áreas protegidas

No.	Área protegida	Parches	Área (km ²)	% del área total	Nodos
1	Banco de Buena Esperanza-Managuano	8	3.85	0.43	6
2	Caraquitas*	1	4.20	96.86	1
3	Delta del Cauto	33	142.54	24.57	18
4	Desembarco del Granma	18	180.04	55.20	12
5	El Gigante	1	12.22	86.59	1
6	El Macío	11	5.51	3.85	3
7	Ensenada de Gua y Cayos de Manzanillo	6	7.72	4.67	5
8	Monte Naranjito*	1	3.40	79.81	1
9	Monte Natural Cupaynicú	1	0.50	86.34	1
10	Monte Palmarito	1	0.87	93.07	1
11	Ojo de Agua-Monte Cabaniguán*	5	41.92	40.10	2
12	Pico Bayamesa	2	225.08	92.99	2
13	Pico Caracas	2	8.31	86.03	1
14	Pozo Prieto*	1	7.00	94.07	1
15	Turquino	3	207.38	91.56	1

Fuente: elaborado a partir de los resultados del procesamiento.

Tabla 4

Porcentaje del área con respecto a la superficie total del área de estudio ocupada por cada categoría ordinal de variable analizada en la creación del ráster de fricción

Categoría	Área (%)				
	Dinámica de la cobertura	Cobertura del suelo	Distancia a la red vial	Distancia a los asentamientos	Distancia a los cuerpos de agua
1	42.6	36.6	42.6	30.0	63.8
2	0.1	0.2	0.1	22.9	17.5
3	11.4	12.8	11.4	23.4	10.1
4	42.5	47.6	42.5	16.0	4.6
5	3.3	2.8	3.3	7.7	4.0

Fuente: elaboración propia a partir del procesamiento de la información.

hay una tendencia al cambio hacia, o estabilidad de, las coberturas boscosas, de humedales y de áreas cultivadas; mientras que la que menor representación posee es la Categoría 2, correspondiente a matorrales.

En la distancia a la red vial, las categorías 1 y 4 igualmente presentan valores muy similares, correspondiendo con distancias mayores a 1.001 metros y distancias de 51 a 200 metros, respectivamente. Las distancias mayores a 1.001 metros (Categoría 1) predominan en el caso de la variable distancia a asentamientos, mientras que la menos representativa es la Categoría 5 (menores de 50 metros). En el caso de la distancia a la red hídrica, hay un predominio de las distancias menores a 30 metros, con más del 60 % del área de estudio. A partir de esta reclasificación de las variables referidas, y su posterior ponderación (basada en los pesos jerárquicos indicados en la Tabla 2), se obtuvo el mapa de fricción (Figura 3), como se explicó anteriormente en la metodología.

El mapa de fricción muestra que los mayores valores se localizan al centro de la provincia, con zonas al norte y sur donde los valores de fricción son mínimos, o

cercanos a 1, sobre todo en las zonas correspondientes a la Sierra Maestra y la desembocadura del río Cauto. En la zona central se observan parches con valores mínimos de fricción, mientras que, en la parte sur, al oeste de la Sierra Maestra y bordeando la zona costera, se observa una región donde la fricción adquiere valores superiores a las zonas montañosas y las costeras del suroeste.

El análisis del mapa de fricción al desplazamiento ilustra que hay dos grupos de valores de fricción con predominio espacial en el área de estudio: aquellos entre 1.8 y 2.2, y aquellos entre 3.6 y 4.2; con la mayor representación correspondiendo al valor único de 1.8 (Figura 4). Destaca que los valores muy bajos (entre 1 y 1.7) y los muy altos (mayores a 4.5) tienen poca representatividad en el área de estudio, lo que sugiere que el área no ofrece ni mucha resistencia ni mucha favorabilidad. En cambio, ofrece "Alta" resistencia, y zonas de interés por baja resistencia (1.8) al desplazamiento de las especies, dada las características de las variables analizadas en este trabajo, o quizás que dicha dificultad al desplazamiento está fraccionada debido a las condiciones de las variables empleadas.

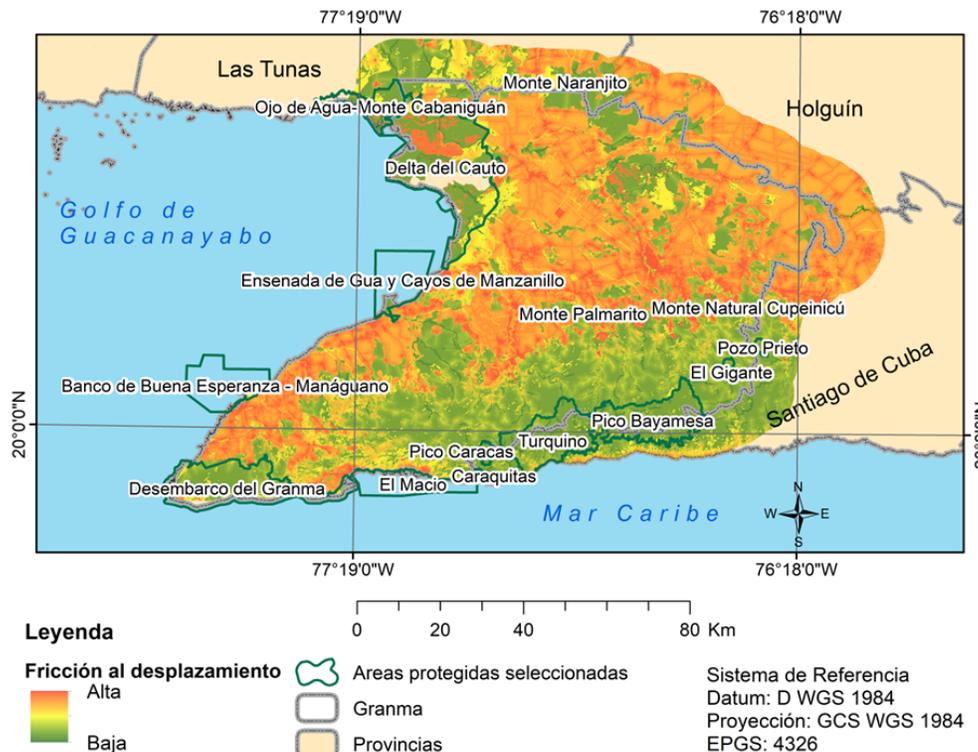


Figura 3. Mapa de fricción al desplazamiento. Fuente: elaboración propia a partir de la información entregada por el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (2013) y los resultados del procesamiento de las variables.

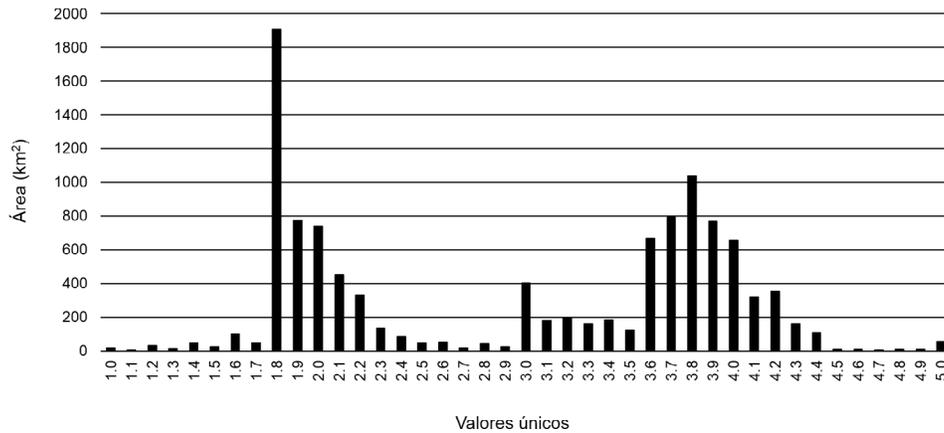


Figura 4. Área en km² de los valores únicos del mapa de fricción. Fuente: elaboración propia a partir de los valores del mapa de fricción.

A partir del mapa de fricción y los nodos identificados dentro de los parches de vegetación natural en las áreas protegidas, se genera el ráster de costos al desplazamiento (Figura 5).

El análisis espacial ilustra que las zonas de mayor costo se encuentran en la parte norte y este del territorio, con una zona de alta fricción en la región suroeste, que se extiende desde la costa del golfo de Guacanayabo hasta las inmediaciones de la costa sur de la provincia. Las zonas costeras de la desembocadura del río Cauto y al norte de esta, así como las zonas al sur del área, en ambas

vertientes de la Sierra Maestra, y el extremo suroccidental de la provincia, presentan valores de costos que están en los rangos inferiores. Estas condiciones de costo y fricción sugieren que la conexión entre las zonas norte y oeste, y sur, tanto al oriente como al occidente de la provincia, puede producirse por lugares específicos, influenciada por el costo del desplazamiento entre ambas regiones.

Rutas ecológicas de conectividad

Se generaron un total de 3.080 conexiones en el área de estudio (Figura 6), como resultado de la existencia de

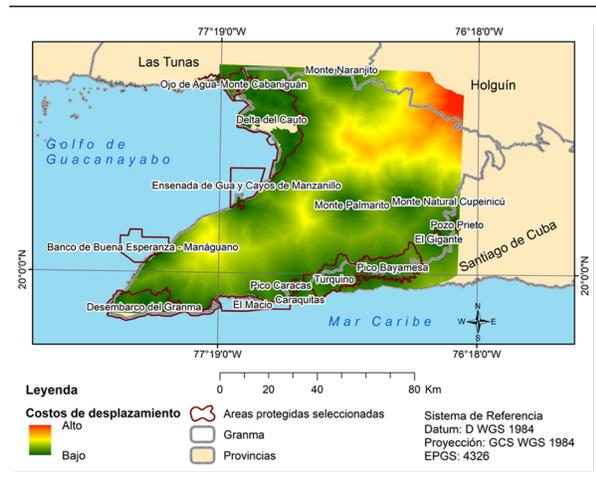


Figura 5. Costo al desplazamiento. Fuente: elaborado a partir de la información entregada por el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (2013) y los resultados del procesamiento de las variables.

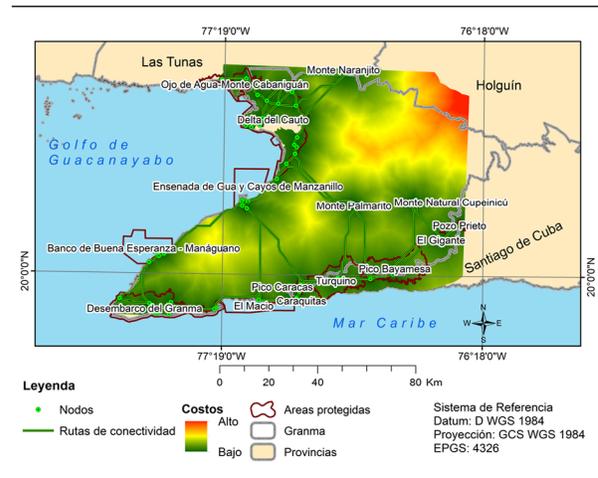


Figura 6. Rutas de conectividad entre los nodos determinados para las áreas protegidas. Fuente: elaborado a partir de la información entregada por el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (2013) y los resultados del procesamiento de las variables.

56 nodos de origen-destino en las áreas protegidas de la provincia.

El análisis de las rutas identificadas llevado a un mapa de calor de rutas (Figura 7), muestra que la mayor distancia de ruta entre dos sitios es de 178 km, mientras que la menor distancia resulta ser de 0.58 km. El promedio de distancia de todas las rutas identificadas es de 80 km. Es

observable que existen agrupaciones o clúster de sitios que están muy lejanos o cercanos unos de otros, lo que es el resultado de la existencia de varios parches de vegetación en una misma área protegida, los cuales están cercanos unos de otros y a su vez lejos de otros nodos en otras áreas protegidas; o la sola presencia de un sitio en un área protegida alejado o cercano a otros sitios en otras áreas protegidas.

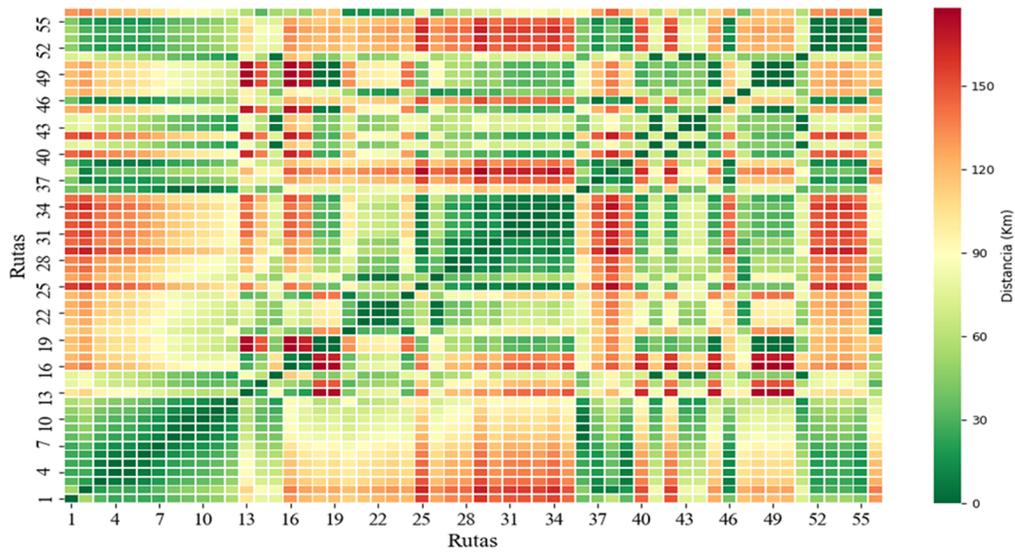


Figura 7. Mapa de calor de las longitudes de las rutas identificadas. Fuente: elaborado a partir de análisis de las rutas identificadas.

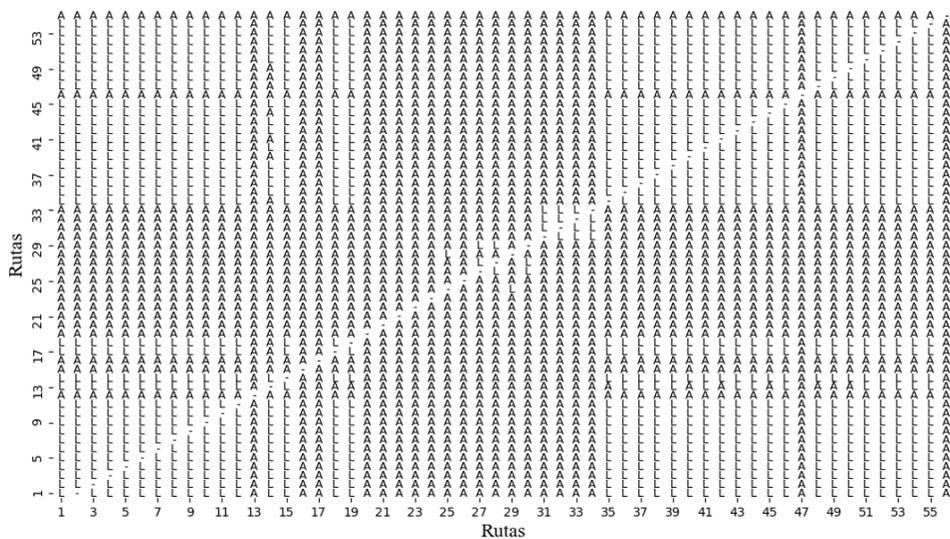


Figura 8. Matriz de las condiciones altitudinales y longitudinales de las rutas identificadas. Fuente: elaborado a partir de análisis de las rutas identificadas.

El mapa de calor de las condiciones altitudinales y longitudinales de las rutas (Figura 8) muestra que hay regiones que generan rutas totalmente altitudinales, mientras que otras que poseen predominio de rutas longitudinales. De todas las rutas identificadas, un total de 1.818 (59 %) resultaron tener características altitudinales, lo que implica que conectan áreas protegidas que están en zonas bajas con las áreas protegidas que están en zonas más elevadas. El otro 41 % (1.262) poseen condiciones longitudinales, lo que implica conexiones en un mismo piso altitudinal.

Los sitios cuyas rutas son totalmente altitudinales son: 13, 16, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 47 y 56; para un total de 11, lo que representa el 20 % de todos los sitios identificados en el área de estudio. No se identificaron sitios cuyas rutas sean totalmente longitudinales. Esto implica que cualquiera de las rutas identificadas propiciará el intercambio o a la conectividad entre áreas protegidas en diferentes pisos altitudinales, lo que es una ventaja para la región, pues favorece el movimiento de especies entre las zonas costeras y montañosas; lo que para Chacón (2016) asegura el mantenimiento de la biodiversidad y la migración de especies ante el cambio climático.

La existencia de estas 3.080 rutas genera una densidad de rutas considerablemente alta (Figura 9), en las zonas costeras, así como en las montañas, por donde pasan muchas de estas rutas y que propicia la abundancia de rutas altitudinales. Las zonas costeras del golfo de Guacanayabo llegan a tener hasta un máximo de 1.138 rutas/km², con valores que son superiores a las 234 rutas/km². Estos valores se presentan también en la región sur de la provincia.

Las zonas que conectan el oeste con el sur de la provincia poseen una densidad de rutas que oscila entre 1 y 234 rutas/km², mientras que las menores densidades se observan en la zona centro y este del área. Con base en este resultado de densidad, se pueden identificar zonas de origen-destino, así como zonas de tránsito en el área. Las zonas con mayor densidad de rutas pueden identificarse como zonas de tránsito, mientras que las zonas con baja densidad de rutas pueden identificarse como zonas de origen y destino, pues por ellas solamente pasan aquellas rutas cuyo origen y destino son los sitios cercanos a ellas. En tal sentido, las zonas costeras, tanto del oeste como del sur de la provincia, son zonas de tránsito, mientras que las zonas del norte y centro-este son zonas de origen-destino.



Figura 9. Densidad de rutas. Fuente: elaborado a partir de la información entregada por el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (2013) y los resultados del procesamiento de las variables.

La zona de mayor conexión entre la costa del golfo de Guacanayabo y la costa sur del territorio ocurre en el extremo suroeste del área, y dichas conexiones van disminuyendo en la medida que nos desplazamos hacia el centro de la provincia, lo que implica que las zonas más importantes desde el punto de vista de la conectividad entre ambas costas están en el extremo y centro oeste de la provincia.

El análisis de la cantidad de rutas por área protegida (marcadas con asteriscos aquellas que pertenecen a territorios contiguos a la provincia), así como la densidad de estas, arroja resultados interesantes (Tabla 5). El área protegida con mayor número de rutas dentro de ella es Delta del Cauto, lo que evidencia una alta fragmentación por ser el área protegida que mayor cantidad de sitios en parches de vegetación natural posee, así como la que mayor longitud total de rutas presenta. Tres áreas protegidas presentan la menor cantidad de rutas a través de ellas, mientras que la que menor longitud de rutas posee en su interior es Monte Naranjito, lo que evidencia una mayor compacidad de esta área protegida. En cuanto a la densidad de rutas, el área protegida que mayor valor de rutas por km² posee es El Macío, con 369; mientras que la que menor número de rutas por kilómetro cuadrado posee es Monte Palmarito, con 19 rutas.

Estos valores muestran que, al igual que las zonas o regiones del área de estudio, hay indicios para identificar áreas protegidas cuya función es de origen-destino y áreas protegidas cuya función es de tránsito, en relación con la conectividad en el área de estudio. Aquellas áreas con cantidades de rutas bajas, cercanas a 110, son áreas que solamente poseen las rutas que sale de ellas y que entran a ellas, pues si tenemos en cuenta que son 55 sitios potenciales de conexión para cada sitio identificado en el área de estudio, entonces de las 110 rutas, 55 serían rutas de salida y 55 rutas de entrada al área protegida. Existen nodos que sirven para articular, ecológicamente, los distintos sectores de la provincia, porque ocupan una posición más central (y por ende concentran más rutas). Por otro lado, aquellas áreas protegidas cuyo número de rutas es elevado, se pueden considerar áreas protegidas de tránsito, pues por ellas pasan muchas de las rutas identificadas.

Esta lógica nos deja con ciertas áreas protegidas cuya función es solamente de entrada y salida de rutas, tales como: Monte Naranjito, Monte Natural Cupaynicú, Pozo Prieto, Ojo de Agua-Monte Cabaniguán y El Gigante, pues los valores del número de rutas son muy bajo, iguales o cercanos al mínimo posible. Por el contrario, las áreas

Tabla 5
Cantidad de rutas, longitud total y densidad promedio en las áreas protegidas

No.	Área protegida	Cantidad	Longitud (km)	Densidad promedio (rutas/km ²)
1	Banco de Buena Esperanza-Managuano	1098	5357.2	219
2	Caraquitas*	550	1039.0	103
3	Delta del Cauto	1908	57561.6	83
4	Desembarco del Granma	1332	22465.4	36
5	El Gigante	218	508.3	193
6	El Macío	804	3927.7	369
7	Ensenada de Gua y Cayos de Manzanillo	1542	13493.5	46
8	Monte Naranjito*	110	37.5	35
9	Monte Natural Cupaynicú	110	47.3	176
10	Monte Palmarito	326	358.1	19
11	Ojo de Agua-Monte Cabaniguán*	218	1410.7	24
12	Pico Bayamesa	382	6211.5	173
13	Pico Caracas	574	1787.5	27
14	Pozo Prieto*	110	132.2	39
15	Turquino	430	8730.3	304

Nota: las áreas protegidas marcadas con * son las que se encuentran fuera del territorio de la provincia Granma. Fuente: elaboración propia.

protegidas Delta del Cauto, Banco Buena Esperanza-Managuano, Ensenada de Gua y Cayos de Manzanillo y Desembarco del Granma se pueden considerar áreas protegidas de tránsito, pues presentan elevados valores del número de rutas a través de ellas, que en algunos casos es superior a la media de la cantidad total de rutas identificadas para el área de estudio.

Finalmente es necesario señalar que corresponde a los especialistas en biodiversidad y ecólogos analizar estas potenciales rutas de conectividad y la factibilidad de cada una de ellas para elaborar una propuesta de corredores biológicos para el sistema de áreas protegidas de la provincia Granma.

Conclusiones

La conectividad ecológica entre los polígonos o parches de vegetación natural es un elemento primordial en la conservación, así como para garantizar el flujo de especies de un lugar a otro dentro de una región. La presencia de 56 nodos de conexión, coincidiendo con los parches de vegetación natural dentro de las 15 áreas protegidas estudiadas, posibilitaron la identificación de 3080 rutas de conectividad en la provincia Granma. Dichas rutas poseen longitudes que oscilan entre los 0.58 y los 178 kilómetros, con un promedio de 80 km. El 59 % de las rutas identificadas poseen condiciones altitudinales, lo que implica que conectan parches de vegetación natural en diferentes pisos de altura. De igual forma, el 20 % de los sitios identificados en el área de estudio generan rutas 100 % altitudinales, lo que implica que cualquier movimiento o desplazamiento desde y hacia ellos garantiza intercambio entre formaciones vegetales en diferentes condiciones de altura.

La densidad de rutas muestra regiones con valores elevados ubicadas en las zonas costeras, tanto del oeste como del sur del área estudiada. Con base en ello, se identificaron tres regiones de conexión entre el oeste y norte y el sur y centro del área: una ubicada al suroeste, otra al centro y otra más al centro-norte, en las cuales la densidad de rutas disminuye en la medida que nos desplazamos hacia el centro y norte de la provincia, por lo que la zona de conexión más significativa se localiza al sur y oeste de la misma, de acuerdo con la densidad de rutas en ella. El área protegida con mayor número de rutas resultó ser Delta del Cauto, mientras que tres áreas protegidas presentan el menor número de rutas posibles a identificar. Las áreas protegidas nombradas Monte Naranjito, Monte Natural Cupaynicú, Pozo Prieto, Ojo de Agua-Monte Cabaniguán y El Gigante se pueden considerar como

áreas de origen-destino; mientras que las áreas protegidas Delta del Cauto, Banco Buena Esperanza-Managuano, Ensenada de Gua y Cayos de Manzanillo y Desembarco del Granma se pueden considerar áreas protegidas de tránsito, si consideramos la cantidad de rutas de conectividad que pasan a través de ellas.

Por último, el trabajo realizado permitió identificar los parches de vegetación natural existentes en las áreas protegidas del área estudiada, identificando las rutas de conectividad entre dichos parches, así como el análisis de las condiciones altitudinales de las rutas identificadas. La densidad de rutas permitió establecer las zonas de importancia para la conexión, mientras que el análisis de las rutas por área protegida permitió clasificar las áreas protegidas de acuerdo con su función dentro de la conectividad en: áreas de tránsito y áreas de origen-destino.

Referencias

- Alía, R., Agúndez, D., Alba, N., González-Martínez, S. C., & Soto, A. (2003). Variabilidad genética y gestión forestal. *Ecosistemas*, 12(3), 1-8. <https://www.redalyc.org/pdf/540/54012307.pdf>
- Arias, E., Chacón, O., Herrera, B., Induni, G., Acevedo, H., Coto, M., & Barborak, J. R. (2008). Las redes de conectividad como base para la planificación de la conservación de la biodiversidad: propuesta para Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente*, (54), 43-37. <http://bco.catie.ac.cr:8087/portal-revistas/index.php/RRNA/article/view/153>
- Arroyo-Rodríguez, V., Moreno, C.E., & Galán-Acedo, C. (2017). La ecología del paisaje en México: logros, desafíos y oportunidades en las ciencias biológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, 42-51. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.004>
- Bennett, A. (2004). *Linkages in the landscape: the role of corridors and connectivity in wildlife conservation*. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources.
- Betancourt, A. & Chacón, E. (2015). Corredores ecológicos como estrategia para la conservación de los ecosistemas boscosos de la Reserva Forestal de Caparo, Venezuela. *Interciencia*, 40(4), 281-275. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33935906007>
- Borroto-Páez, R. & Mancina, C. (2011). *Mamíferos en Cuba*. UPC Print.

- Capote, R. & Berazain, R. (1984). Clasificación de las formaciones vegetales de Cuba. *Revista del Jardín Botánico Nacional* 5 (2), 75-27. <http://www.jstor.org/stable/42596743>
- Centro Nacional de Áreas Protegidas. (2013). *Plan del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Cuba 2014-2020*. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente.
- Chacón, I. (2016). *Rutas de conectividad entre las áreas protegidas del Área de Conservación Arenal-Tempisque bajo diferentes escenarios de cambio climático* [Tesis para optar al grado de máster, Universidad Nacional de Costa Rica, San José, Costa Rica]. <http://repositorio.conicit.go.cr:8080/xmlui/handle/123456789/244?show=full>
- Colorado Zuluaga, G. J., Vásquez Muñoz, J. L., & Mazo Zuluaga, I. N. (2017). Modelo de conectividad ecológica de fragmentos de bosque andino en Santa Elena (Medellín, Colombia). *Acta biológica colombiana*, 22(3), 379-393. <https://doi.org/10.15446/abc.v22n3.63013>
- Correa, C. A., Mendoza, M. E., Etter, A., & Pérez-Salicrup, D. R. (2019). Effect of the landscape matrix condition for prioritizing multispecies connectivity conservation in a highly biodiverse landscape of Central Mexico. *Regional Environmental Change*, 19(1), 149-163. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1393-8>
- Correa, C. A., Mendoza, M. E., Etter, A., & Salicrup, D. R. P. (2016). Habitat connectivity in biodiversity conservation: A review of recent studies and applications. *Progress in Physical Geography*, 40(1), 7-37. <https://doi.org/10.1177/0309133315598713>
- Corredor, S. (2019). *Revisión y comparación del índice de fragmentación de coberturas naturales para cuatro cuencas hidrográficas en estudio* [Proyecto de grado en modalidad investigación-innovación presentado como requisito para optar al título de ingeniero ambiental. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Colombia]. <http://hdl.handle.net/11349/22764>
- Daigle, R. M., Metaxas, A., Balbar, A. C., McGowan, J., Treml, E. A., Kuempel, C. D., ... & Beger, M. (2020). Operationalizing ecological connectivity in spatial conservation planning with Marxan Connect. *Methods in Ecology and Evolution*, 11(4), 570-579. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13349>
- Del Risco, E. (1995). *Los bosques de Cuba: su historia y características*. Editorial Científico-Técnica.
- Estrada, R., Martín, G. & Martínez, P. (2011). *Mapa (BD-SIG) de vegetación natural y seminatural de Cuba v.1 sobre Landsat ETM 7 slc-off gap filled, circa 2011*. IV "Congreso de Manejo de Ecosistemas y Biodiversidad", La Habana, Cuba.
- Euskirchen, E. S., Chen, J., & Bi, R. (2001). Effects of edges on plant communities in a managed landscape in northern Wisconsin. *Forest Ecology and Management*, 148(1-3), 93-108. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00527-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00527-2)
- Finegan, B., Herrera Fernández, B., Delgado, D., Campos Arce, J. J., Céspedes, M. V., & Velásquez, S. (2008). Diseño de una red ecológica de conservación entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas del Área de Conservación Osa, Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente*, (54), 44-50. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6057>
- González, H., Rodríguez, L., Rodríguez, A., Mancina, C. & Ramos, I. (2012). *Libro Rojo de los Vertebrados Terrestres de Cuba*. Editorial Academia.
- Hilty, J. A., Brooks, C., Heaton, E., & Merenlender, A. M. (2006). Forecasting the effect of land-use change on native and non-native mammalian predator distributions. *Biodiversity & Conservation*, 15(9), 2853-2871. <https://doi.org/10.1007/s10531-005-1534-5>
- Iturralde-Vinent, M. (2010). *Geología de Cuba para todos*. Editorial Científico Técnica.
- Kattan, G. (2002). Fragmentación: patrones y mecanismos de extinción de especies. Ecología y Fragmentación de Bosques Tropicales. En M. R. Guariguata & G.H. Kattan (Eds.), *Ecología y conservación de bosques neotropicales* (pp. 559-590). Libro Universitario Regional. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- López, J. G. (2013). Convenio sobre la Diversidad Biológica: la última oportunidad de evitar la tragedia, acorralada. *Ecología política*, (46), 25-35. <https://www.jstor.org/stable/43526882>
- Mancina, C. & Cruz, D. (2017). *Diversidad biológica de Cuba: métodos de inventario, monitoreo y colecciones biológicas*. Agencia de Medio Ambiente.

- Mateo, J. (2017). *Regiones y paisajes geográficos de Cuba. Primera Parte: Macro región oriental*. Ministerio de Educación Superior.
- McArthur, R. & Wilson, E. (1967). *The theory of island biogeography*. Princeton University Press. <https://doi.org/10.1515/9781400881376>
- Newmark, W. (2001). Tanzania forest edge microclimatic gradients: dynamic patterns. *Biotropica*, 33 (1), 2-11-2. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2001.tb00152.x>
- Oficina Nacional de Estadísticas e Información. (2019). *Anuario Estadístico de Cuba 2018*. Oficina Nacional de Estadísticas e Información.
- Ramón, A., Rodríguez, Y., & Álvarez-Amargos, P. M. (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>
- Sawyer, S. C., Epps, C. W., & Brashares, J. S. (2011). Placing linkages among fragmented habitats: do least-cost models reflect how animals use landscapes? *Journal of Applied Ecology*, 48(3), 668-678. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.01970.x>
- Wiens, J. (1976). Population responses to patchy environments. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 7, 81-120. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.07.110176.000501>
- Wilson, E. O., & MacArthur, R. H. (2016). *The theory of island biogeography*. Princeton University Press.
- Zeller, K. A., McGarigal, K., & Whiteley, A. R. (2012). Estimating landscape resistance to movement: a review. *Landscape ecology*, 27(6), 777-797. <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9737-0>