



LOS CORREDORES ALTITUDINALES: UNA ESTRATEGIA PARA LA ADAPTACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD EN LOS ANDES

David Suárez-Duque ⁽¹⁾, Tania Delgado ⁽²⁾, Cesar Cisneros ⁽¹⁾ y Susan V. Poats ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Corporación Grupo Randi Randi, Quito-Ecuador, davsua@gruporandi.org.ec

⁽²⁾ Departamento de Biología, Universidad de Cádiz, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Cádiz-España, tania.delgado@uca.es

INTRODUCCIÓN

Fue en los años 70 del siglo pasado cuando se incrementaron las recomendaciones prácticas para la conservación de la biodiversidad. Muchas surgieron de los estudios de la fragmentación, en el sentido de establecer o favorecer la conexión entre hábitats fragmentados a través de “corredores” del mismo tipo de hábitat. Según esta visión se entiende que los hábitat fragmentados, pero interconectados por corredores, tienen mayor valor de conservación que los puros fragmentos aislados (Bennett, 2003). Sin duda, el concepto de corredor, como medida o estrategia de manejo, ha tenido éxito en capturar la atención y apoyo de planificadores, manejadores de recursos y políticos, lo cual ha dado lugar a numerosos conceptos similares o derivados (corredor biológico, de hábitat, de paisaje, entre otros). En todo el mundo se están estableciendo “corredores” para una amplia gama de propósitos, bien sea para beneficiar alguna especie en particular, comunidades biológicas completas, e incluso para que, paralelamente, rindan beneficios ambientales, recreacionales y sociales. El tamaño y forma de tales corredores o vínculos varían enormemente, así como los objetivos que persiguen.

Los corredores biológicos han sido utilizados tradicionalmente para contrarrestar la fragmentación de hábitats y facilitar los movimientos de especies entre áreas protegidas. La Corporación Grupo Randi Randi (CGRR) ha estado promoviendo un corredor para conectar dos áreas protegidas, la Reserva Ecológica El Ángel y el Bosque Protector Golondrinas, en la sierra norte de Ecuador. Este corredor es importante a nivel mundial porque conecta dos “hotspots”: el Tumbes-Chocó-Magdalena y el Andes-Tropical. Además toda la zona se encuentra dentro de una área de importancia para las aves (IBA). A nivel nacional la zona es estratégica porque protege ecosistemas categorizados como importantes para la conservación del Ecuador. En el estudio de vacíos y áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad del Ecuador (Campos *et al.*, 2007) fue evaluada con prioridad alta y media alta para establecer sitios de conservación. Este corredor, aparte de conectar dos áreas protegidas, promueve la conectividad de varios ecosistemas andinos como bosque siempre verde montano alto (Ceja Andina), bosque de neblina montano, bosque siempre verde montano bajo, bosque altimontano norandino de *Polylepis*, matorral seco montano y páramo de frailejones, todo ubicado en un rango altitudinal de 900 a 4 720 msnm.

Los rápidos cambios climáticos que se han registrado durante los últimos 30 años a nivel mundial han provocado numerosas transformaciones en la distribución y abundancia de las especies, causando alteraciones en una gran variedad de ecosistemas (Chapin *et al.*, 2000; Walther *et al.*, 2002; Parmesan y Yohe, 2003; Root *et al.*, 2003). En los modelos propuestos de escenarios de cambio global para el Ecuador se estima que el cambio climático podría causar importantes modificaciones a los actuales ecosistemas (Cuesta-Camacho *et al.*, 2006; Delgado, 2008). Por ejemplo,



probablemente las especies vegetales van aumentar o disminuir su área de distribución potencial en distinta proporción, provocando diferentes respuestas, como desplazamientos, adaptación o extinción (Delgado, 2008).

Para analizar si los corredores altitudinales son una estrategia para la conservación de biodiversidad en ecosistemas tropicales de montaña en escenarios de cambio climático, el presente estudio analiza la zona propuesta para el corredor entre el Bosque Protector Golondrinas y la Reserva Ecológica El Ángel en el norte de Ecuador.

MATERIALES Y METODOS

El área establecida como Corredor de Conservación Comunitaria Bosque Protector Golondrinas - Reserva Ecológica El Ángel se encuentra dentro de la jurisdicción de los cantones Mira, Espejo, Tulcán, y Montufar de la provincia del Carchi en el norte de Ecuador. La investigación contempló dos análisis: el de fragmentación y de escenarios de cambio climático.

Análisis de fragmentación

Para elaborar los mapas de vegetación de la zona de estudio se recopilaron imágenes satelitales de distintas fechas entre el año 1991 y 2007, y de diferentes sensores satelitales, como Landsat5-TM, Landsat7 – ETM+ y Aster VNIR-SWIR. Como cada una de las imágenes fue tomada bajo diferentes condiciones atmosféricas y provienen de diferentes sensores satelitales, fue necesario realizar un pre-proceso de homogenización de las imágenes. Este pre-proceso tuvo como objetivo asegurar al intérprete que los cambios detectados estén en mayor grado relacionados con un cambio en la cobertura de la superficie terrestre, antes que por las condiciones particulares de las imágenes.

Una vez que las imágenes seleccionadas fueron homogenizadas, el siguiente proceso fue la clasificación de la imagen, para obtener los mapas de cobertura vegetal para el año 2007 y 1991. Para verificar la clasificación de la imagen actual (Aster de febrero del 2007) se realizaron visitas a 40 lugares que fueron seleccionados aleatoriamente a lo largo del área de estudio, de acuerdo a la representatividad para cada tipo de cobertura vegetal. En cada lugar se verificó la información de la cobertura vegetal (tipo de formación vegetal, presencia de cultivos, y estado de conservación, entre otra información). Debido a la diferente resolución de las imágenes utilizadas, 30 m en el caso de la Landsat5-TM y 15 m en Aster 2007, los productos resultantes se mantuvieron en la resolución más baja (30 m). Por esta razón la información sobre la cobertura vegetal está a escala 1:50 000.

El análisis de fragmentación del paisaje fue hecho a través del cálculo de índices de fragmentación, utilizando el software FRAGSTATS 3.3 (McGarigal y Marks, 1995). Los índices describen la fragmentación del paisaje caracterizando cada parche (su tamaño, forma, aislamiento) y la totalidad del paisaje (proporción y arreglo espacial de los elementos que lo componen).



Análisis de escenarios de cambio climático¹

Para estimar el impacto del cambio climático en el corredor se utilizaron modelos de distribución potencial generados con el algoritmo MARS de 413 especies de plantas vasculares. Las proyecciones futuras fueron estimadas de acuerdo al modelo de circulación general HadCM3 bajo el escenario A2, modelo también utilizado en los últimos informes del IPCC. El presente análisis de escenarios fue basado en un trabajo realizado por Delgado (2008) para el Ecuador continental donde la autora analizó la evolución de la diversidad vegetal del país en un escenario de cambio global estimado para el año 2080.

Para generar los modelos de distribución potencial se utilizaron dos tipos de variables: variables independientes (datos climáticos actuales y futuros), variables dependientes (registros de herbario) y el algoritmo MARS (Multivariate Adaptive Regression Splines). El algoritmo MARS es un método estadístico que ha demostrado ser fiable en modelamiento ecológico (Moisen y Frescino, 2002; Muñoz y Felicísimo, 2004; Leathwick *et al.*, 2006; Elith y Leathwick, 2007; Delgado, 2008). El MARS intenta explicar los patrones de presencia/ausencia actual de la especie en función de un conjunto de variables independientes, construyendo valores de idoneidad para cada punto del terreno.

La capacidad de migración de cada especie fue analizada con dos proyecciones. Una asumiendo dispersión ilimitada y otra asumiendo dispersión nula. Para el supuesto de dispersión ilimitada se tomó el área ganada más la que se ha mantenido estable con respecto a la ocupación inicial. Para el supuesto de dispersión nula sólo se consideró el área que se ha mantenido estable. El área ganada es la que aparece como idónea en el futuro pero no en la actualidad, el área perdida es la que aparece como idónea en el presente pero no en el futuro, y el área estable se define como la que se mantiene idónea tanto en el presente como en el futuro. El porcentaje de hábitat idóneo ganado o perdido en el futuro con respecto al área potencial actual, permite determinar el grado de amenaza de las especies según su habilidad de dispersión.

RESULTADOS

Cambios de la cobertura vegetal

De todo el procesamiento de las imágenes se obtuvieron dos mapas de cobertura vegetal derivados de la clasificación supervisada de la imagen LANDSAT-TM 1991, y de la imagen ASTER 2007. Los mapas fueron clasificados usando las categorías presentadas en el Cuadro 1, y también se muestra como cada categoría ha variado durante el periodo de análisis (16 años).

¹Para más información sobre esta sección ver: Delgado, T. y Suárez, D. 2009. Efectos del cambio climático en la diversidad vegetal del corredor de conservación comunitaria Reserva Ecológica El Ángel – Bosque Protector Golondrinas en el norte del Ecuador. *Ecología Aplicada* 8(1,2).

www.lamolina.edu.pe/ecolapl/Articulo_4_vol_8.pdf



Cuadro 1. Área (ha) de cada cobertura vegetal para los años 1991-2007²

Cobertura vegetal	1991		2007		Cambio porcentual	Tasa anual de cambio
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	(%)	(ha/año)
Bosque Andino	57 924,81	41,09	54 945,45	38,98	-5,14	-198,62
Áreas Intervenidas	32 368,68	22,96	42 922,08	30,45	32,60	70,56
Suelo desnudo	1 590,66	1,13	1 114,92	0,79	-29,91	-31,71
Páramo Frailejones	39 104,46	27,74	36 470,7	25,87	-6,74	-175,58
Quemas	4 416,84	3,13	990,18	0,70	-77,58	-228,44
Nieve	245,79	0,17	265,59	0,19	8,06	1,32
Roca	132,84	0,09	118,98	0,08	-10,43	-0,92
Matorral	4 937,13	3,50	3 924,9	2,78	-20,50	-67.482
Cuerpos de Agua	65,61	0,05	68,13	0,05	384	0,17
Bosque de <i>Polylepis</i>	165,69	0,12	88,74	0,06	-46,44	-5,13
Plantaciones Forestales	11,34	0,01	56,07	0,04	394,44	2,98

Los mapas de coberturas de los años 1991 y 2007 fueron sobrepuestos para poder observar aquellas zonas donde se ha producido cambios, principalmente en los ecosistemas de bosque andino y páramo de frailejones. Es notoria también la disminución de bosque andino que tiene una tasa anual de cambio de -198,6 ha/año, y el páramo de frailejones de -175,58 ha/año. Hay que considerar que la tasa de aumento de las áreas intervenidas también ha afectado considerablemente a las zonas de matorral seco que se encuentran presentes en la parte sur del área de estudio, en la margen derecha del Río Mira.

Un indicador interesante al analizar la fragmentación producida (Cuadro 2), es la densidad de parches en el bosque andino, el cual para el año de 1991 indica un valor de 0,1866 parches/100ha, mientras que para el 2007 es de 0,2418 parches/100ha. La baja diferencia en el período de estudio indica que a pesar de haber una disminución en el área de bosque andino, los fragmentos han permanecido conectados. Es así, que el parche de bosque andino de mayor extensión para el año de 1991 disminuye para el año 2007, pero el índice de parche más grande, decrece levemente en un

² Del total del área de estudio se han agrupado y excluido las zonas cubiertas por nubes y sus respectivas sombras tanto para el año de 1991 como para 2007. Por lo tanto la superficie total no coincide con la sumatoria de las coberturas presentes en el Cuadro 1.



3,55%. La fragmentación también se ha producido en menor grado para la clase de páramo de frailejones. El número de parches disminuye de 131 para el año de 1991 que ocupaban un 27,33% a 102 parches que en el 2007 ocuparon un 25,49%. La densidad de parches disminuye tan solo en un 0,02 parches/ha, indicando mayor conexión en este tipo de cobertura.

Cuadro 2. Principales métricas por clase, calculadas para la zona del corredor

		Área (ha)	Porcentaje de paisaje	Número de parches	Densidad de parches	Índice de parche más grande	Tamaño medio de parche	Índice de cohesión
AÑO	TIPO	CA	PLAND	NP	PD	LPI	AREA_MN	COHESION
1991	Bosque andino	57 924,81	40,4879	267	0,1866	36,3397	216,9469	99,8748
2007	Bosque andino	54 945,45	38,4049	346	0,2418	32,7873	158,8019	99,8525
1991	P. Frailejones	39 104,46	27,333	131	0,0916	26,2106	298,5073	99,8754
2007	P. Frailejones	36 470,7	25,4917	102	0,0713	24,4893	357,5559	99,8722
1991	A. Intervenidas	32 368,68	22,6248	410	0,2866	3,775	78,948	99,1679
2007	A. Intervenidas	42 922,08	30,001	492	0,3439	8,5994	87,24	99,5338
1991	Matorral seco	4 937,13	3,4509	26	0,0182	3,3207	189,8896	99,5424
2007	Matorral seco	3 924,9	2,7434	16	0,0112	2,6747	245,3062	99,5465

Simbología: Área total (TA/CA), Porcentaje de paisaje (PLAND), Número de parches (NP), Densidad de parches (PD), Índice del parche más grande (LPI)

El índice de cohesión calculado indica que la conectividad se presenta en un alto porcentaje para las coberturas de bosque y páramo, al igual que para las áreas intervenidas. Este es un claro indicador que la fragmentación se ha producido sobre zonas agregadas que no han variado durante el período de estudio. Además se puede detectar tres zonas importantes que se han consolidado como áreas de intervención, especialmente por aumento de asentamientos humanos y aumento de la frontera agrícola. Estas tres zonas, representadas en Figura 1, indican los frentes de mayor intervención que se producen sobre el área de estudio y las zonas con una buena conectividad.

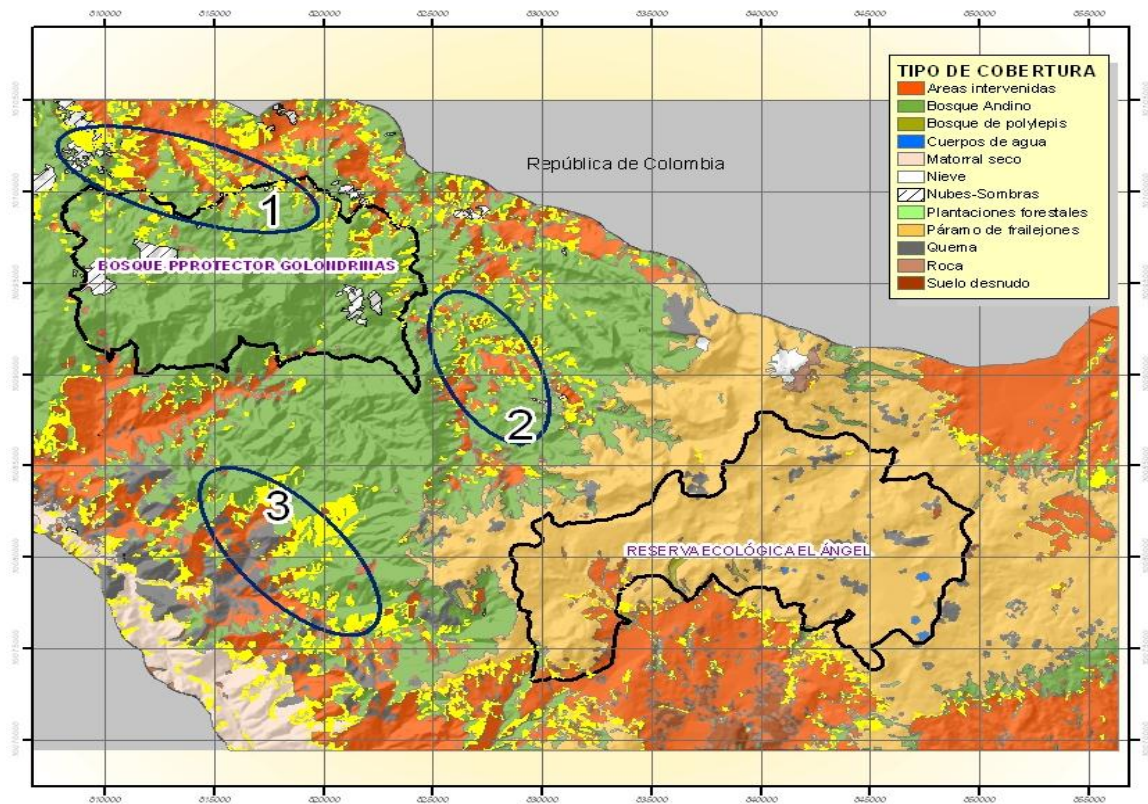


Figura1. Mapa de principales frentes de intervención en el período 1991-2007

Como muestra el análisis de fragmentación, las dos áreas protegidas, a pesar de que tienen diferentes categorías de conservación según la legislación ambiental ecuatoriana, mantienen áreas de conexión con vegetación natural no intervenida. Estas zonas aun no tienen acceso de carreteras, están en las líneas de cumbre de la cordillera o son zonas con pendientes pronunciadas. Por esta razón los ecosistemas del corredor están relativamente bien conservados y podrían ser propicios para una declaratoria de áreas naturales de conservación. De esta forma se permitirá el flujo de la biodiversidad entre la Reserva Ecológica El Ángel y el Bosque Protector Golondrinas, a la vez que impulsará la consolidación del corredor.

Escenarios de cambio climático y su efecto en la vegetación

Para el área del corredor se identificaron zonas donde se estima que haya cambios de riqueza y donde potencialmente las especies podrían colonizar nuevas áreas o donde se extinguirán, en base de mapas de riqueza tanto para el presente como para el 2080. Esto permitió determinar el grado de perturbación que sufrirán los ecosistemas por efecto del cambio climático. La tendencia general de las especies estudiadas muestra que colonizarán altitudes más elevadas, cambiando la estructura de los ecosistemas naturales actuales.

Al comparar la riqueza potencial actual y futura, bajo el supuesto de dispersión ilimitada, se puede observar que a pesar de la disminución de riqueza futura que experimentará el área de estudio, si conservará el mismo patrón de riqueza (Figura 2).



En la actualidad, las áreas con la más alta riqueza potencial de especies de plantas están en altitudes entre 1 000 y 2 500 msnm. Estas zonas están cubiertas por bosque andino, dentro del Bosque Protector Golondrinas y su zona de amortiguamiento. También existen zonas con alta riqueza en altitudes superiores a los 4 000 msnm, localizadas en la Reserva Ecológica El Ángel en áreas cubiertas por diferentes tipos de páramo. De igual forma, se destaca una alta riqueza en la zona que conecta estas dos áreas protegidas, que constituye el corredor de conservación (zonas cubiertas por bosque andino, bosque siempre verde montano alto y áreas de páramo).

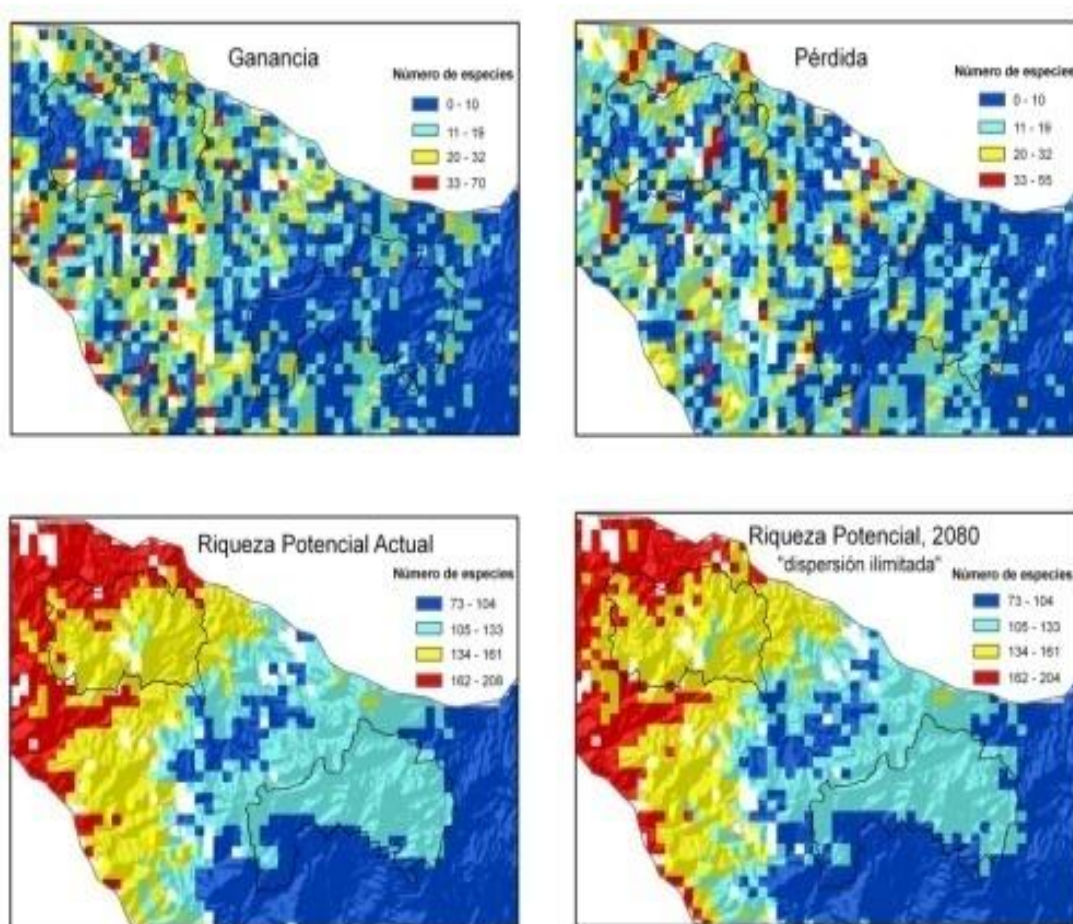


Figura 2. Variación de la riqueza potencial en el tiempo (HadCM3-A2, 2080)

Bajo el supuesto de dispersión ilimitada se estimó que las especies, frente a los cambios climáticos futuros, responden de forma particular. Sus respuestas afectan a su vez al resto de los componentes del ecosistema, siendo capaces de migrar a distintos sitios a lo largo de la gradiente altitudinal, dando lugar a notables cambios en la estructura y composición de las comunidades, lo que ocasionará en el futuro la formación de “nuevos ecosistemas”. De acuerdo a los resultados existirá un desplazamiento de las especies a mayores altitudes.

Además del conocimiento de la distribución futura de las especies, es fundamental conocer y cuantificar donde las especies podrán potencialmente ganar nuevas áreas y



donde se extinguirán, dando como resultado la tasa de recambio temporal de las especies (“species turnover”), tasa que permite determinar el grado de perturbación de los ecosistemas (Figura 3). Para el año 2080, el modelo predice que cada píxel podría ganar como máximo 70 nuevas especies, representando una ganancia relativa del 34% con respecto a la riqueza potencial actual. Las mayores ganancias se darían entre 1 000 – 1 500 msnm, 2 500 – 3 000 msnm, y sobre los 4 500 msnm de altitud, en zonas que están fuera de las áreas protegidas. Estos terrenos actualmente están cubiertos por bosque andino, bosque siempre verde montano alto, matorral seco, áreas intervenidas y suelo desnudo. El Bosque Protector Golondrinas tiene una mayor ganancia de especies en zonas cubiertas por bosque andino, y también existirán ganancias, aunque en menor escala, en la Reserva Ecológica El Ángel en zonas que actualmente están cubiertas por páramo de frailejones, seguido de páramo de almohadillas, páramo lacustre, y las áreas intervenidas.

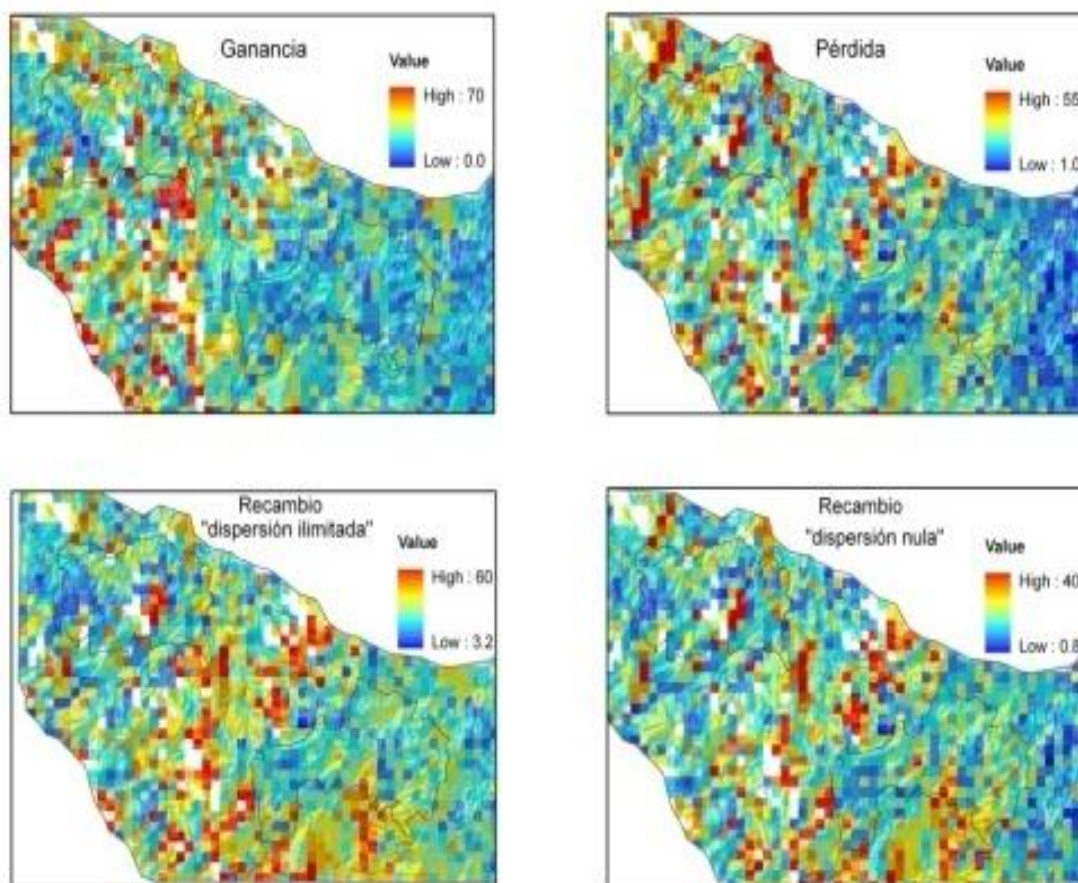


Figura 3. Patrones espaciales de cambio (HadCM3-A2, 2080).

La riqueza potencial futura del área de estudio varía de acuerdo a los datos empleados para proyectar las posibles distribuciones futuras de las especies. Es decir, la riqueza futura de la zona podría experimentar una ligera pérdida bajo el supuesto de dispersión ilimitada, pero podría haber una pérdida importante bajo el supuesto de dispersión nula. Sin embargo, bajo cualquiera de estas dos presunciones extremas de dispersión, se mantiene estable la alta riqueza de la parte occidental del área en estudio. Aunque las pérdidas son relativamente pocas, en la Figura 3 se aprecia que la



alta tasa de recambio (56% bajo dispersión ilimitada y 40% bajo dispersión nula) revela que algunos de los principales ecosistemas existentes en el área de estudio (bosque andino, bosque siempre verde montano alto y todos los tipos de páramos) estarían en el futuro fuertemente amenazados. La ganancia y pérdida de especies ocurridas en una misma área con la misma intensidad, provocan un cambio en la composición florística inicial y una consecuente alteración de los ecosistemas existentes en la actualidad. Las zonas con tasas de recambio alto son la parte central y oriental del Bosque Protector Golondrinas, el centro y oriente de la Reserva Ecológica El Ángel y los ecosistemas que están conectando estas dos áreas protegidas. El alto recambio esperado para la zona de estudio ofrece nuevos retos al potenciar la aparición de comunidades vegetales nuevas con características funcionales desconocidas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La mayoría de las zonas a las que las especies podrían migrar según el modelamiento realizado, estaban fuera de las dos áreas protegidas. Además se prevé la colonización de las áreas protegidas por otras especies, con el consiguiente cambio en la actual estructura de estos ecosistemas naturales. En todo caso, los movimientos reales dependerán de la capacidad de dispersión de las especies, de las barreras de migración y de la disponibilidad de hábitat. Esto ha llevado a reconsiderar la propia opinión de los corredores. Si bien la intención inicial era simplemente conectar las dos áreas protegidas a través de la conservación comunitaria, ahora se entiende que este corredor altitudinal es una importante estrategia para la adaptación de las especies al cambio climático. Esto es particularmente cierto en el caso de esta zona, porque los ecosistemas de altura son más susceptibles que las zonas bajas.

El cambio climático es inevitable. Sin embargo, creando corredores altitudinales entre áreas naturales protegidas, al menos se puede asegurar que las especies tengan zonas naturales a las que migrar, ayudando así a evitar su extinción por la pérdida de hábitat. Hasta ahora, los corredores han sido considerados interesantes estrategias de conservación, pero no se han transformado en opciones de política para la gestión de la biodiversidad. Esta experiencia induce a proponer que los corredores biológicos o de conservación altitudinales en los Andes sean convertidos en estrategias prioritarias para la adaptación al cambio climático.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación y las actividades que la respaldaron fueron realizadas gracias al soporte de Proyecto Conservación Comunitaria financiado por la John D. and Catherine T. MacArthur Foundation y ejecutado por la Corporación Grupo Randi Randi.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Bennett, A. 2003. Linkages in the Landscape: the Role of Corridors and Connectivity in Wildlife Conservation. IUCN, Gland, Switzerland.



Campos, F., Peralvo, O M., Cuesta-Camacho, F. y Luna, S. (Eds.). 2007. Análisis de vacíos y áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad en el Ecuador continental. Instituto Nazca de investigaciones marinas. EcoCiencia, Ministerio del Ambiente, The Nature Conservancy, Conservación Internacional, Proyecto GEF: Ecuador Sistema Nacional de Áreas Protegidas, BirdLife Internacional y Aves & Conservación. Quito, Ecuador.

Chapin, F.S.III., Zavaleta, E.S., Eviner, V.T., Naylor, R.L., Vitousek, P.M., Reynolds, H.L., Hooper, D.U., Lavorel, S., Sala, O.E., Hobbie, S.E., Mack, M.C. y Díaz, S. 2000. Consequences of changing biodiversity. *Nature*. 405: 234-242.

Cuesta-Camacho, F., Ganzenmüller, A., Peralvo, M.F., Sáenz, M., Novoa, J. y Riofrío, G. 2006. Predicting specie's niche distribution shifts and biodiversity change within climate change scenarios. A regional assessment for bird and plant species in the Northern Tropical Andes. National Institute for Public Health and the Environment (RIVM-NEAA). *EcoCiencia/MNP. Andes*:1-36.

Delgado, T. 2008. Evolución de la diversidad vegetal en Ecuador ante un escenario de cambio global. Memoria de Tesis Doctoral. Departamento de Publicaciones, Universidad Complutense de Madrid. <http://www.kraken.unex.es/kraken>

Elith, J. y Leathwick, J. 2007 Predicting species distributions from museum and herbarium records using multiresponse models fitted with multivariate adaptive regression splines. *Diversity and Distributions* 13: 265-275.

McGarigal, K. y Marks, B.J. 1995. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Pacific Northwest Research Station, Gen. Tech. Report PNW-GTR-351, USDA Forest Service. Portland, Oregon, USA.

Moisen, G.G. y Frescino, T.S. 2002. Comparing five modelling techniques for predicting forest characteristics. *Ecological Modelling* 157: 209-225.

Muñoz, J. y Felicísimo, A.M. 2004. Comparison of statistical methods commonly used in predictive modelling. *Journal of Vegetation Science* 15(2): 285-292.

Leathwick J.R., Elith, J. y Hastie, T. 2006. Comparative performance of generalized additive models and multivariate adaptive regression splines for statistical modelling of species distributions. *Ecological Modelling* 199: 188-196.

Parmesan, C. y Yohe, G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*. 421: 37-42.

Root, T.L., Price, J.T., Hall, K.R., Schneider, S.H., Rosenzweig, C. y Pounds, J.A. 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421: 57-60.

Walther, G.R., Post, E., Convery, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T.J.C., Fromentin, J.C., Hoegh-Guldberg, O. y Bairlein, F. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature*. 416: 389-395.