

POSIBLE EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA DISTRIBUCIÓN ACTUAL Y FUTURA DE MOLUSCOS TERRESTRES ENDÉMICOS CUBANOS

Daily MARTÍNEZ BORREGO* y Maike HERNÁNDEZ QUINTA

Instituto de Ecología y Sistemática. Carretera Varona No. 11835 e/ Oriente y Lindero, Boyeros, La Habana, CP 11900, Cuba.

* Autor para correspondencia: daily@ecologia.cu

RESUMEN: El cambio climático está emergiendo como una de las principales amenazas para las comunidades naturales de los ecosistemas del mundo, y los puntos calientes de biodiversidad, tales como el archipiélago cubano, podrían ser de los más afectados. Los moluscos terrestres se consideran uno de los grupos más vulnerables ante el efecto de este fenómeno por su poca vagilidad y distribución restringida en muchos casos. Los modelos de nicho ecológico, junto con los Sistema de Información Geográfica y los escenarios de cambio climático han sido muy útiles para entender las relaciones entre la distribución de especies y las condiciones ambientales. En este estudio se realizaron los primeros pasos para analizar el posible impacto del cambio climático sobre las áreas de adecuación climática de 11 especies de moluscos endémicos cubanos. Con el uso del programa MaxEnt, se obtuvieron cambios importantes en las áreas de adecuación climática actual y futura de las especies estudiadas. La variable Precipitación del trimestre más cálido fue la de mayor contribución a los modelos para la mayoría de las especies. Las áreas de adecuación climática actual variaron entre las 11 especies siendo en algunas más restringidas a las regiones donde se conoce su distribución real y en otras con una distribución casi pancubana. Las proyecciones hacia el futuro mostraron pérdida del área de adecuación climática actual para todas las especies en los escenarios 2,6 y 8,5 para los años 2050 y 2070. Las especies más críticas fueron *Liguus blainianus*, *Eurycampta pinarensis* y *Farcimen tortum*. De manera general, en este estudio se evidencia el efecto negativo que potencialmente tiene el cambio climático sobre los moluscos terrestres y la necesidad de incluir este tipo de análisis en estudios enfocados a la conservación de especies.

PALABRAS CLAVES: Mollusca, áreas de adecuación climática, MaxEnt, Cuba.

ABSTRACT: POSSIBLE EFFECT OF THE CLIMATIC CHANGE ON THE CURRENT AND FUTURE DISTRIBUTION OF CUBAN ENDEMIC TERRESTRIAL MOLLUSKS. Climate change is emerging as one of the main threats to natural communities of the world's ecosystems; and biodiversity hotspots, such as Cuban archipelago, could be among the

most affected. Terrestrial mollusks are considered one of the most vulnerable groups in view of the effect of this phenomenon due to their low vagility and restricted distribution in many cases. The ecological niche models, together with the Geographic Information System and the climate change scenarios have been very useful for understanding the relationships between the distribution of species and environmental conditions. In this study, the first steps were taken to analyze the possible impact of climate change on the climatic suitability areas of 11 species of Cuban endemic mollusks. With the use of the MaxEnt program, important changes were obtained in the current and future climate suitability areas of the species studied. The variable Precipitation of the warmest quarter was the one with the highest contribution to the models for most of the species. The current climate suitability areas varied among the 11 species, some being more restricted to the regions where its actual distribution is known and in others with an almost Pancuban distribution. Projections to the future showed loss of the current climate suitability area for all species in scenarios 2.6 and 8.5 for 2050 and 2070 years. The most critical species were *Liguus blainianus*, *Eurycampta pinarensis* and *Farcimen tortum*. In general, this study shows the negative effect that climate change potentially has on terrestrial mollusks and the need to include this type of analysis in studies focused on species conservation.

KEYWORDS: MOLLUSCA, CLIMATIC SUITABILITY AREA, MAXENT, CUBA.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático se prevé como uno de los principales desencadenantes de grandes extinciones en el futuro (Thomas *et al.*, 2004). En particular, los moluscos terrestres se consideran uno de los grupos más vulnerables ante el efecto de este fenómeno (Vogler *et al.*, 2013). Los cambios asociados con el calentamiento global afectarán el régimen de temperatura y precipitaciones (IPCC, 2007) lo cual conllevaría a graves consecuencia sobre la supervi-

vencia, fertilidad y longevidad de este grupo al afectar su tasa de procesos fisiológicos (Clarke, 2003). La poca vagilidad que caracteriza a los moluscos terrestres no le permitiría la expansión y colonización de nuevos hábitats con condiciones climáticas adecuadas (Kramarenko, 2014). Además, la mayoría de las especies presentan una distribución restringida que de conjunto con el aumento de la actividad antrópica en los ecosistemas naturales lo convierten en un grupo con un alto riesgo de extinción ante el cambio climático, según los cinco criterios propuestos por la IUCN (Foden *et al.*, 2008).

Cuba presenta un alto porcentaje de endemismo de moluscos terrestres, alrededor de 96 % (Espinosa y Ortea, 2009). La distribución de la mayoría de las especies se encuentra restringida a los principales sistemas montañosos del país, caracterizados por altos valores de riqueza de la malacofauna (Espinosa y Ortea, 1999). Por lo que cambios mínimos en las condiciones climáticas de estas regiones podrían afectar el nicho climático de estas especies y podrían conllevar a la reducción y futura extinción de sus poblaciones, tal como se ha predicho para otros organismos (Parmesan y Yohe, 2003; Thomas *et al.*, 2008).

Ante el declive acelerado de la diversidad biológica, muchas veces como consecuencias de actividades antrópicas, el empleo de herramientas novedosas ha permitido obtener información sobre este fenómeno de manera rápida y eficaz. En este sentido, los modelos de nicho ecológico (MNE) de conjunto con los Sistemas de Información Geográfica han permitido realizar predicciones sobre el posible impacto del cambio climático en la distribución de las especies (Peterson, 2001; Dangermond y Artz, 2010). A su vez, la disponibilidad de proyecciones climáticas futuras y modelos de circulación, creados por varios laboratorios del clima, han permitido predecir cómo podría afectarse esta distribución en el futuro.

En años recientes, el uso de estas herramientas en estudios de molusco terrestres ha tenido un ligero incremento, mayormente enfocados en la predicción de áreas susceptibles a la invasión por plagas (Hof, 2011; Cardoso, 2013; Vogler *et al.*, 2013). En Cuba solo ha sido empleada en la evaluación del impacto del cambio climático en el género endémico y amenazado *Polymita* (Mancina *et al.*, 2017). Por lo que se propone como objetivo predecir el posible impacto del cambio climático sobre las áreas de adecuación climática de especies endémicas de moluscos terrestres cubanos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Toma y manejo de datos

Los datos de presencia fueron obtenidos de la Colección Malacológica del Instituto de Ecología y Sistemática (IES) y de la literatura científica (Clench y Jacobson, 1971; Hernández y Reyes-Tur, 2013). A partir de estas fuentes se recopilaron los datos de 11 especies de moluscos terrestres (Tabla 1). Para el criterio de selección de las especies se tuvo en cuenta que fueran endémicas, con una relativa amplia distribución en los lugares donde habitan y con hábitos diferentes (rupícola, arborícola, entre otros). Además, que fueran representativas de los dos grupos informales Pulmonata y Prosobranchia (Bouchet y Rocroi,

2005), dentro de los que se clasifican los moluscos terrestres presentes en Cuba. Todas las especies seleccionadas, con excepción de *Liguus blainianus*, contaron con más de 10 registros de presencia. Los registros de presencia fueron georreferenciados en coordenadas decimales mediante el uso de hojas cartográficas georreferenciadas de escala de 1:50 000 y bases de datos de localidades georreferenciadas (Anexo 1). Todo el proceso se realizó en el programa Global Mapper ver. 15 (www.globalmapper.com). Los ejemplares sin localidad de recolecta o con datos poco precisos fueron excluidos.

TABLE 1. Especies y número de registros de presencia utilizados para la confección de los modelos de nicho ecológico de moluscos terrestres endémicos cubanos.

TABLE 1. Species and number of presence records used for the preparation of the ecological niche models of Cuban endemic terrestrial mollusks.

Especie (Grupo Informal)	No. registros
<i>Emoda submarginata</i> (Prosobranchia)	26
<i>Emoda pulcherrima</i> (Prosobranchia)	11
<i>Helicina adspersa</i> (Prosobranchia)	20
<i>Chondropoma pictum</i> (Prosobranchia)	16
<i>Farcimen auriculatum</i> (Prosobranchia)	12
<i>Farcimen tortum</i> (Prosobranchia)	15
<i>Liguus blainianus</i> (Pulmonata)	9
<i>Oleacina straminea</i> (Pulmonata)	32
<i>Jeanneretia bicincta</i> (Pulmonata)	16
<i>Eurycampta pinarensis</i> (Pulmonata)	12
<i>Caracolus sagemon</i> (Pulmonata)	16

Obtención de los modelos de nicho ecológico

Para la obtención de los MNE se utilizaron variables de tipo bioclimática que describen las características del hábitat de las especies estudiadas. Las variables bioclimáticas fueron tomadas de la base de datos *WorldClim* (Hijmans *et al.*, 2005) y su selección fue especie – específica (Tabla 2). Para evitar el uso de variables que aportaran la misma información se realizó un análisis de correlación en el programa Statistica ver. 8.0 (Stat Soft Inc., 2007) y fueron eliminadas aquellas cuyo valor de $r \geq 0,8$. El área de calibración de los modelos para todas las especies se obtuvo mediante un búfer de 5 km², con centro en cada punto de presencia. Dentro del búfer se generaron 100 puntos aleatorios, los cuales fueron utilizados como *background*.

Para cada una de las especies se realizaron 50 réplicas en el programa MaxEnt 3.3.3 k (Phillips *et al.*, 2006). Se utilizó el 75 % de los datos de presencia como muestra de entrenamiento para generar los modelos y el 25 % restante para validarlo. El desempeño de los modelos fue evaluado a partir del índice AUC (área bajo la curva) y se siguió el criterio de Broennimann *et al.* (2007), quienes califican los modelos en pobres (AUC= 0,5-0,7), útiles (AUC= 0,7-0,9) y excelentes (AUC>0,9). Además, fue calculada la diferencia entre el AUC de entrenamiento y el AUC de validación como medida de la existencia o no de sobrea-

juste en los modelos obtenidos (Warren y Seifert, 2011). Todos los mapas de probabilidad de presencia por especie se convirtieron a mapas binarios de presencia-ausencia en el programa ArcGis ver. 10.1 (ESRI, 2011). El valor umbral seleccionado para esto fue la media del menor valor de probabilidad de presencia en puntos de entrenamiento con presencia conocida (*Minimum Training Presence*).

TABLA 2. Variables bioclimáticas utilizadas para la construcción de los modelos de nicho ecológico de 11 especies de moluscos terrestres endémicos cubanos. Ver Anexo 2.

TABLE 2. Bioclimatic variables used for the construction of the ecological niche models of 11 species of Cuban endemic terrestrial mollusks. See Appendix 2.

Especie	Variabes bioclimáticas
<i>Emoda submarginata</i>	BIO 2, 3, 4,13,14,15
<i>Emoda pulcherrima</i>	BIO 4, 7, 8,11,14,15
<i>Helicina adspersa</i>	BIO 1,5,9,12,16,18
<i>Chondropoma pictum</i>	BIO 3, 4, 9,14,16,18
<i>Farcimen auriculatum</i>	BIO 7,14,17,18,19
<i>Farcimen tortum</i>	BIO 3, 4, 9,14,17,18
<i>Liguus blainianus</i>	BIO 4,9,11,16,18
<i>Oleacina straminea</i>	BIO 7, 9,11,14,18, 19
<i>Jeanneretia bicincta</i>	BIO 3,4,9,16,17,18
<i>Eurycampta pinarensis</i>	BIO 4, 6, 9,16,17,18
<i>Caracolus sagemon</i>	BIO 4, 7, 8,14,15,18

Evaluación del posible impacto del cambio climático en el futuro

Para evaluar el posible impacto del cambio climático, las Áreas de Adecuación Climática (AAC) actual de cada especie fueron transferidas a dos escenarios (RCP 2,6 y 8,5), para los años 2050 y 2070. Según el IPCC (2013) el escenario RCP 2,6 se caracteriza por representar niveles muy bajos de concentración y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), con un pico máximo de emisión en el año 2040; un crecimiento poblacional medio y una concentración de CO₂ de 490 ppm. Este escenario se considera optimista. Por otra parte, el escenario RCP 8,5 representa el caso más extremo de las condiciones climáticas suponiendo que no se tome ninguna medida para limitar las emisiones de GEI. La concentración de GEI en este caso sería de alrededor de 1000 ppm y la temperatura media podría elevarse en 2 °C para el año 2050. Las proyecciones se realizaron a partir de diez modelos de circulación atmosférica (Anexo 3) y empleando las mismas variables bioclimáticas obtenidas de la base de datos de *WorldClim*.

Cálculo de los valores del AAC para el presente y futuro

Se calculó el AAC actual (sumatoria del área de cada uno de los píxeles de presencia en el modelo obtenido) de cada especie a partir de los mapas binarios obtenidos de los modelos logísticos resultantes (0 = ausencia, 1 = presencia). Además, fueron calculadas las áreas de pérdida, ganancia y estabilidad en cada escenario y año analizado. Con el propósito de reconocer las regiones climáticamente

idóneas tanto actuales como futuras que recaen dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Cuba (SNAP), fueron superpuestos los mapas obtenidos para cada especie con el mapa vectorial del SNAP (CNAP, 2013) y llevado a cabo el mismo análisis antes mencionado. Todo este procesamiento se realizó en el programa ArcGis ver. 10.1 (ESRI, 2011).

RESULTADOS

Los valores de AUC de entrenamiento obtenidos para los MNE variaron entre pobres y útiles. Los MNE de siete especies mostraron valores de AUC que oscilaron entre 0,60 y 0,70 (Tabla 3), con el valor más bajo para *Farcimen auriculatum* (AUC= 0,6044). Los valores para las restantes especies fueron superiores a 0,70; con el valor más alto para *Emoda submarginata* (AUC= 0,7550). Las diferencias entre los valores de AUC de entrenamiento y de validación estuvieron entre 0,07 y 0,14 (Tabla 3).

La variable Precipitación del trimestre más cálido (BIO18) fue la de mayor contribución a los modelos para la mayoría de las especies (7), durante el proceso de calibración, a partir del método de remuestreo *Jackknife*. Otras variables como la Estacionalidad de la temperatura (BIO 4) y Precipitación del mes más seco (BIO 14) también se encontraron entre las de mayor contribución para los modelos, en la mayoría de las especies analizadas (Ver Tabla 2).

TABLA 3. Valores de AUC obtenidos para 11 especies de moluscos terrestres endémicos cubanos. AUC-E: AUC de Entrenamiento, AUC-V: AUC de Validación.

TABLE 3. Values of AUC obtained for 11 species of Cuban endemic terrestrial mollusks. AUC-E: AUC of Training, AUC-V: AUC of Validation.

Especie	AUC-E	AUC-V	Diferencia AUC
<i>Emoda submarginata</i>	0,7550	0,6065	0,14
<i>Emoda pulcherrima</i>	0,6953	0,5663	0,12
<i>Helicina adspersa</i>	0,7259	0,5811	0,14
<i>Chondropoma pictum</i>	0,6752	0,5827	0,09
<i>Farcimen auriculatum</i>	0,6044	0,5156	0,08
<i>Farcimen tortum</i>	0,6468	0,5466	0,10
<i>Liguus blainianus</i>	0,6078	0,5097	0,09
<i>Oleacina straminea</i>	0,7498	0,6620	0,08
<i>Jeanneretia bicincta</i>	0,6467	0,5204	0,12
<i>Eurycampta pinarensis</i>	0,7165	0,6267	0,08
<i>Caracolus sagemon</i>	0,6420	0,5683	0,07

Las AAC actual variaron entre las 11 especies siendo en algunas más restringidas a las regiones donde se conoce su distribución real y en otras con una distribución casi pancubana (Fig. 1-11). De manera general, la especie con el AAC actual más restringida fue *Eurycampta pinarensis* (3430 km²) mientras que el AAC actual de mayor extensión fue de *Chondropoma pictum* (63861 km²).

Dentro del grupo de prosobranquios (Fig. 1-6), además de *Chondropoma pictum*, las especies *Farcimen auriculatum* (61878 km²) y *Emoda submarginata* (42841 km²) fueron las que presentaron mayores AAC actual. En el caso de *F. auriculatum* estas áreas estuvieron distribuidas al sur de algunas regiones de la parte occidental y oriental del país, mientras que la región central la abarcó casi en su totalidad. Las áreas idóneas climáticamente para *E. submarginata* abarcaron la región occidental y central, incluyendo la

Isla de la Juventud y la cayería al norte de Ciego de Ávila. El resto de las especies: *E. pulcherrima* (19353 km²), *Helicina adspersa* (18231 km²) y *F. tortum* (14541 km²) presentaron menores valores de AAC actual. La distribución en la primera estuvo reducida a las regiones montañosas del norte y sur de Oriente, mientras que en las restantes dos las áreas idóneas climáticamente estuvieron fundamentalmente en las regiones occidental y central.

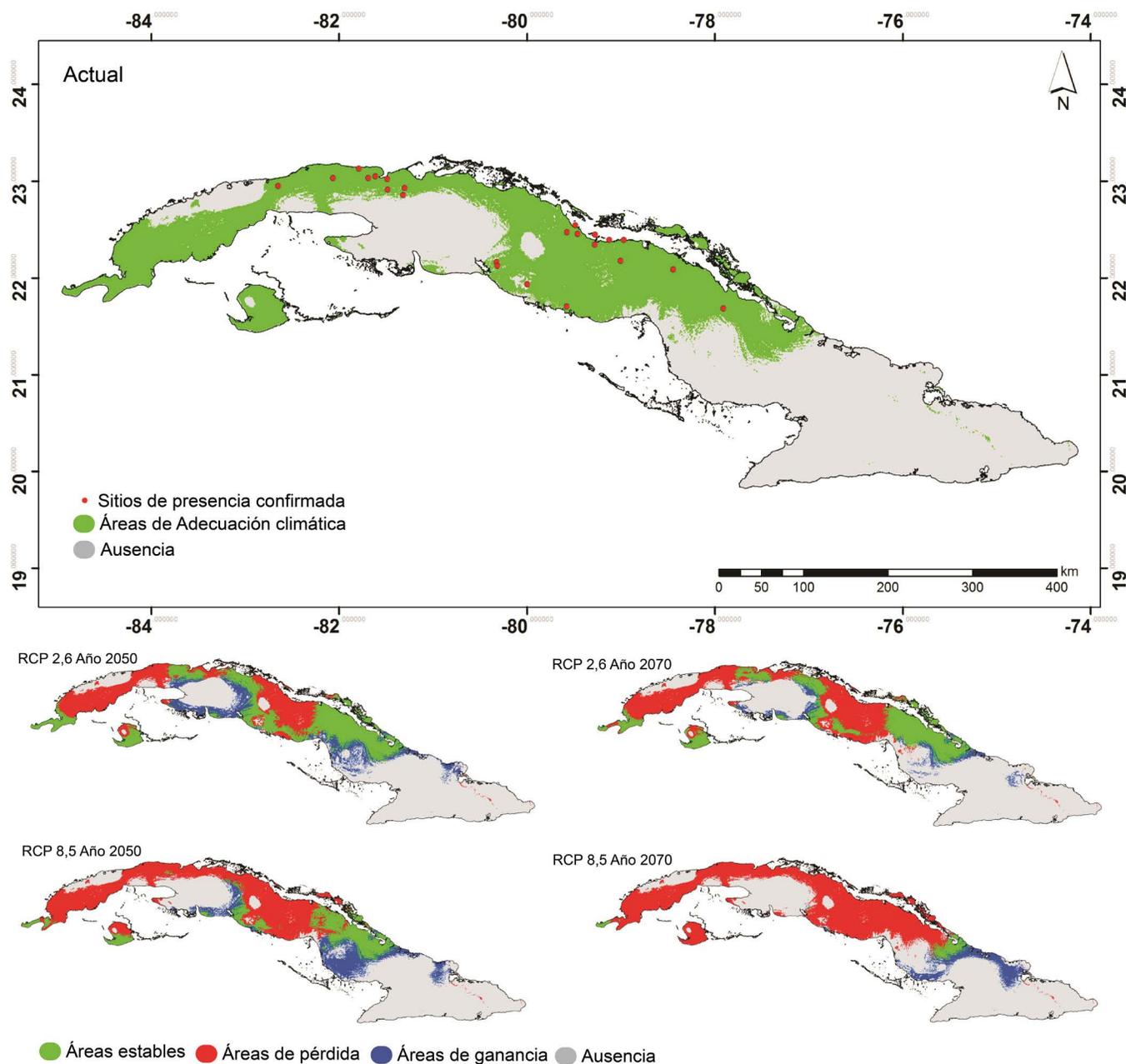


FIGURA 1. Áreas de adecuación climática actual y futura de *Emoda submarginata* (Prosobranchia: Helicinidae) en el archipiélago cubano. Las áreas futuras corresponden a proyecciones obtenidas a partir del promedio de 10 modelos de circulación atmosférica.

FIGURE 1. Current and future climatic suitability area of *Emoda submarginata* (Prosobranchia: Helicinidae) in the Cuban archipelago. Future areas correspond to projections obtained from the average of 10 atmospheric circulation models.

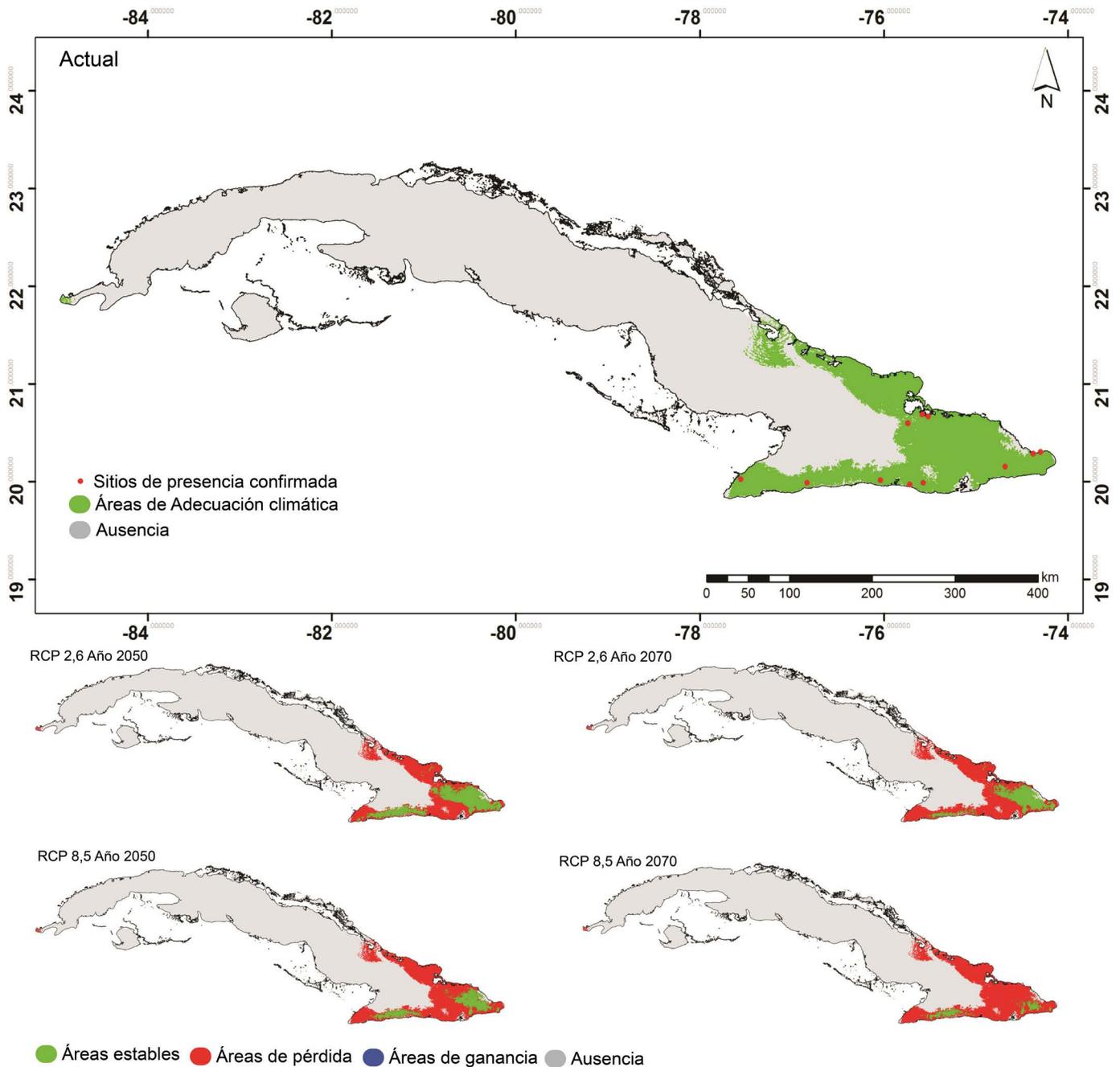


FIGURA 2. Áreas de adecuación climática actual y futura de *Emoda pulcherrima* (Prosobranchia: Helicinidae) en el archipiélago cubano. Las áreas futuras corresponden a proyecciones obtenidas a partir del promedio de 10 modelos de circulación atmosférica.

FIGURE 2. Current and future climatic suitability area of *Emoda pulcherrima* (Prosobranchia: Helicinidae) in the Cuban archipelago. Future areas correspond to projections obtained from the average of 10 atmospheric circulation models.

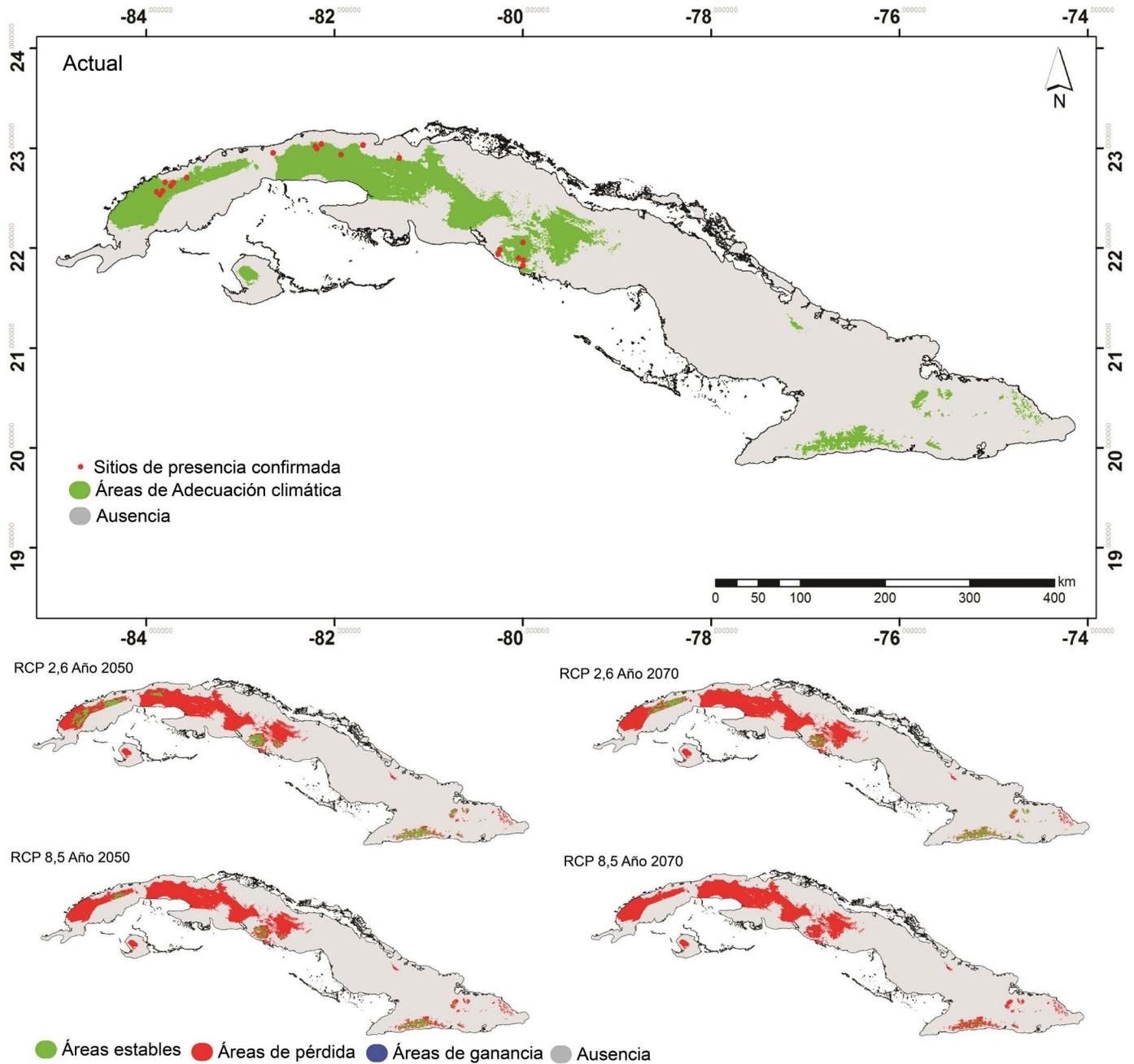


FIGURA 3. Áreas de adecuación climática actual y futura de *Helicina adspersa* (Prosobranchia: Helicinidae) en el archipiélago cubano. Las áreas futuras corresponden a proyecciones obtenidas a partir del promedio de 10 modelos de circulación atmosférica

FIGURE 3. Current and future climatic suitability area of *Helicina adspersa* (Prosobranchia: Helicinidae) in the Cuban archipelago. Future areas correspond to projections obtained from the average of 10 atmospheric circulation models.

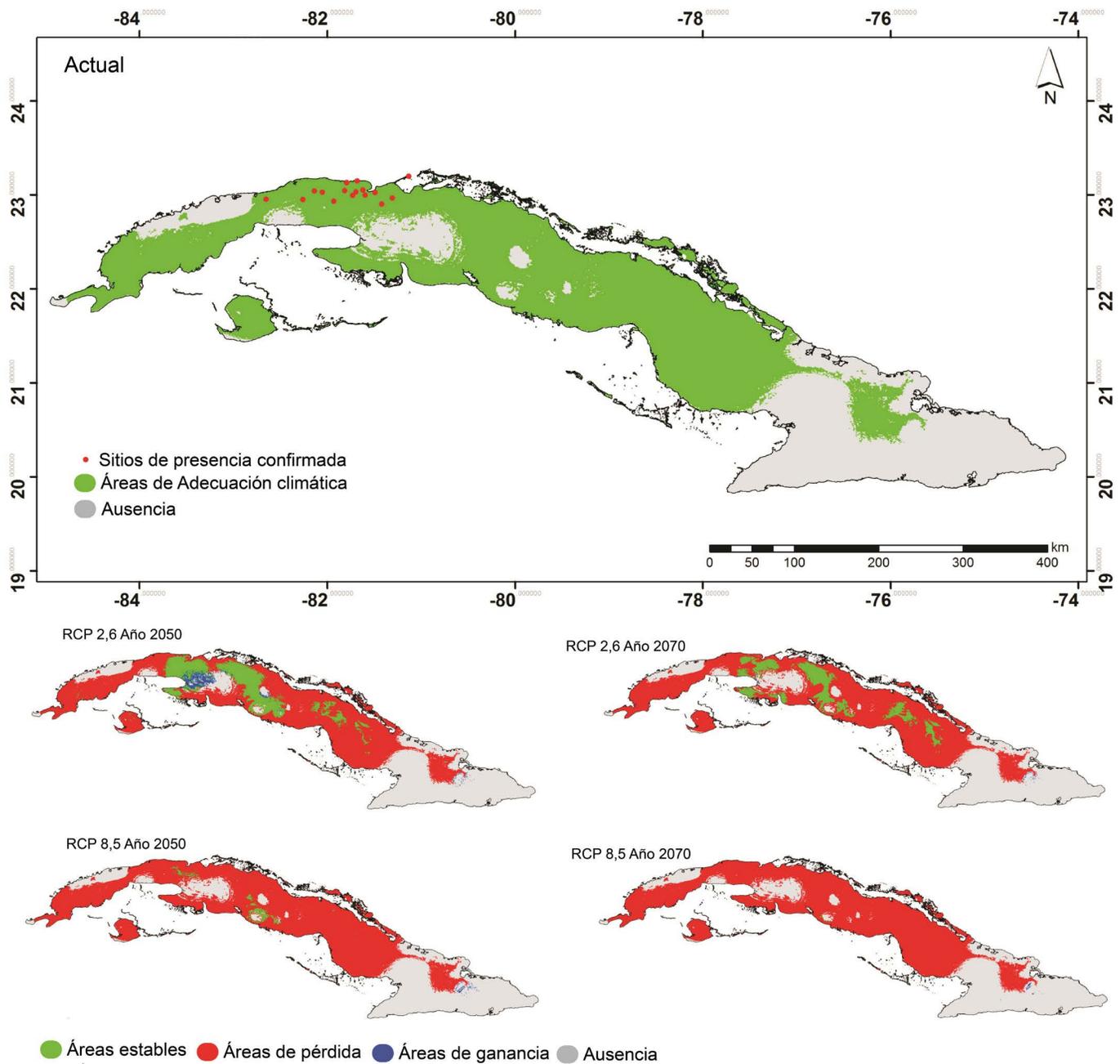


FIGURA 4. Áreas de adecuación climática actual y futura de *Chondropoma pictum* (Prosobranchia: Annularidae) en el archipiélago cubano. Las áreas futuras corresponden a proyecciones obtenidas a partir del promedio de 10 modelos de circulación atmosférica

FIGURE 4. Current and future climatic suitability area of *Chondropoma pictum* (Prosobranchia: Annularidae) in the Cuban archipelago. Future areas correspond to projections obtained from the average of 10 atmospheric circulation models.

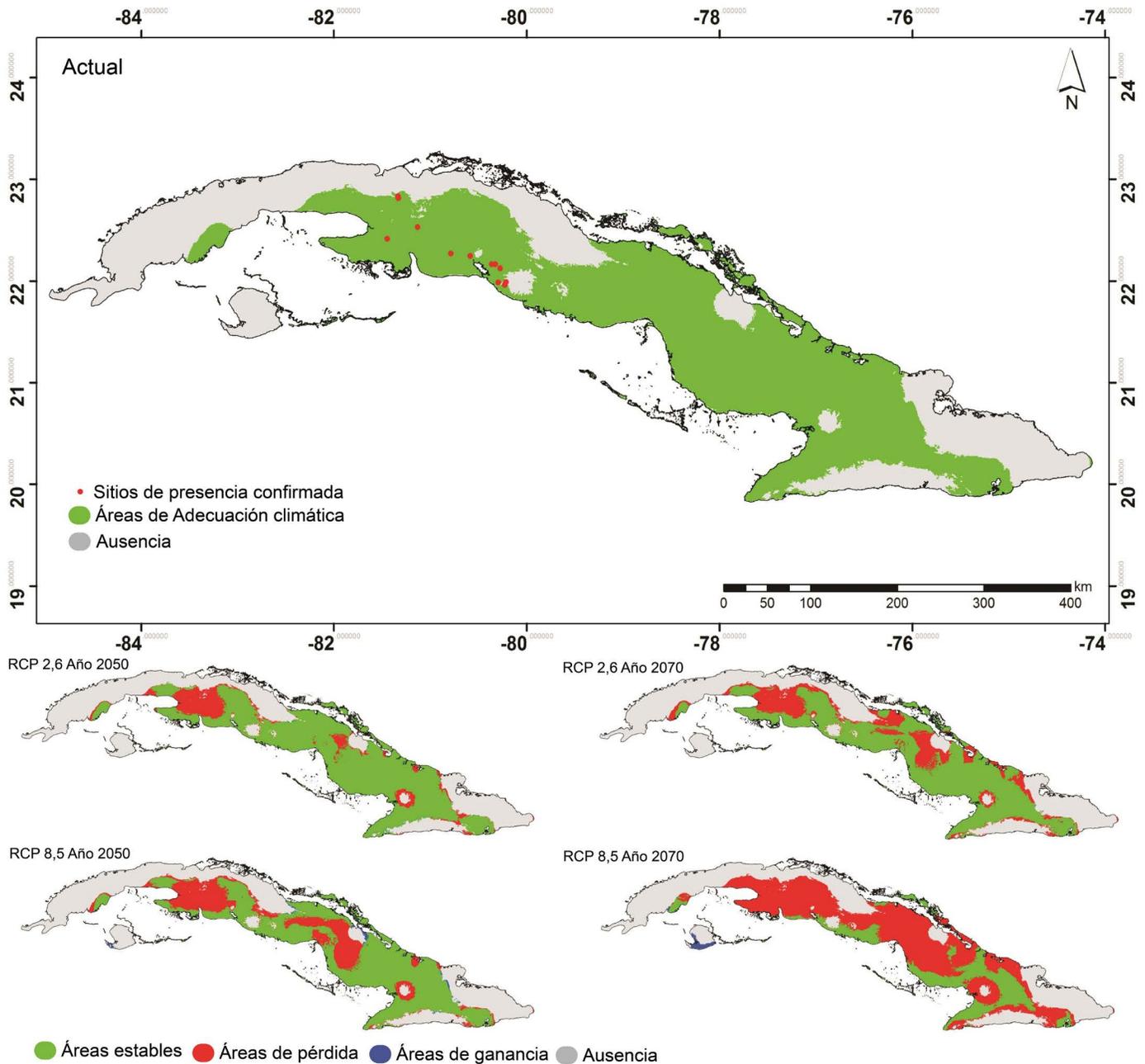


FIGURA 5. Áreas de adecuación climática actual y futura de *Farcimen auriculatum* (Prosobranchia: Megalomastomatidae) en el archipiélago cubano. Las áreas futuras corresponden a proyecciones obtenidas a partir del promedio de 10 modelos de circulación atmosférica.

FIGURE 5. Current and future climatic suitability area of *Farcimen auriculatum* (Prosobranchia: Megalomastomatidae) in the Cuban archipelago. Future areas correspond to projections obtained from the average of 10 atmospheric circulation models.