

Cobertura de vegetación natural en Parques Nacionales de Cuba: análisis multitemporal y variación futura de las condiciones bioclimáticas

Natural vegetation cover in National Parks of Cuba: multitemporal analysis and future variation of bioclimatic conditions

Majela Hernández Rodríguez^{1,*} y Daryl D. Cruz Flores²

RESUMEN

Una de las formas más eficientes de evaluar los cambios históricos en las propiedades de la cobertura vegetal a gran escala, es mediante índices de vegetación que derivan de las técnicas de percepción remota. Debido a la ausencia de información sobre las dinámicas de la vegetación en áreas protegidas cubanas, el presente estudio tiene como objetivo la evaluación de la variabilidad del índice de Campo Continuo de Vegetación en las formaciones vegetales naturales de 10 Parques Nacionales de Cuba, desde 2000 al 2010, así como de la variación futura de las condiciones bioclimáticas sobre estas formaciones. Se utilizó la capa producto anual de este índice, obtenida a partir del sensor MODIS, que presenta una resolución de 250 m y que cuantifica el porcentaje de cobertura vegetal en un área determinada. Se generaron 1000 puntos aleatorios en cada área de estudio de los cuales se extrajo el valor del índice. El análisis multitemporal incluyó la comparación del porcentaje de cobertura de las formaciones vegetales durante 11 años consecutivos. Se estimaron los rangos ambientales de cada formación y se evaluaron los cambios de estos en dos proyecciones futuras: bc26bi50 y bc85bi50 para el escenario BCC-CSM1-1 correspondiente a 2050. En el período evaluado, la cobertura vegetal total varió ligeramente, en cinco Parques Nacionales aumentó y en cinco disminuyó. En cada Parque Nacional la cobertura de las formaciones vegetales se mantuvo constante con pequeñas fluctuaciones. No se detectaron cambios significativos entre los rangos ambientales actuales y las proyecciones futuras. Conocer los cambios históricos ocurridos en los ecosistemas terrestres de Cuba, así como, las posibles afectaciones que tendrán lugar por el efecto del cambio climático, son elementos fundamentales para diseñar acciones para la protección de los mismos.

Palabras claves: formaciones vegetales, Índice de Campo Continuo de Vegetación, MODIS, rangos ambientales

ABSTRACT

One of the most effective ways of evaluating the historical changes in the properties from the vegetation cover to great scale is by techniques of remote perception, by spectral vegetation indexes. Considering the absence of information on the dynamics of the vegetation in Cuban protected areas, the present study has as objective to evaluate the variability of Continuous Vegetation index in the natural vegetal formations in 10 National Parks of Cuba, from 2000 to 2010, as well as the impact of climatic change on these formations. The product of the satellite MODIS was used for a year of the index in 11 images with a resolution of 250 m and 1000 random points were generated in each study area. The multitemporal analysis included the comparison of the percentage of cover of the vegetation during 11 serial years. They were considered the environmental ranges of each formation and the changes of these were evaluated in two future projections: bc26bi50 and bc85bi50 for the scenario 2050. In the evaluated decade, the vegetation covering varied slightly, in five National Parks it increased and in five it reduced. In each National Parks the cover of vegetation was constant with small fluctuations. Significant changes were not detected between the current environmental ranges and the future projections. To know which the historical space changes are in the Cuban terrestrial ecosystems, as well as their possible affection for the climatic change, it can be fundamental when undertaking actions for their protection.

Keywords: vegetation, Continuous Field of Vgetation index, MODIS, environmental ranges

Recibido: diciembre 2015 **Aceptado:** mayo 2016

Publicado online 31 de agosto de 2016 y será incluido en el volumen 37. ISSN 2410-5546 RNPS 2372 (DIGITAL) - ISSN 0253-5696 RNPS 0060 (IMPRESA)

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas terrestres se han clasificado tradicionalmente según atributos estructurales del medio biofísico, que incluyen parámetros que hacen referencia a la geomorfología, la fisionomía de la vegetación (ej.: cobertura y estratificación) o la composición de especies (Di Gregorio & *al.* 2000). Entre estos atributos, las variaciones en la cobertura de vegetación natural, han sido foco de atención, fundamentalmente en estudios de gestión ambiental e impacto del cambio climático (Klijn 1994).

Los índices y productos de vegetación que derivan de las técnicas de percepción remota, son una de las formas más efectivas de evaluar los cambios históricos en las propiedades de la cobertura vegetal a gran escala (Agrawal & *al.* 2003, Turner & *al.* 2003, Fairbanks & McGwire 2004, Feeley & *al.* 2005). Entre ellos está el Campo Continuo de Vegetación (VCF) (Hansen & *al.* 2002), el cual es una medida del porcentaje de cobertura vegetal que permite caracterizar, con valores continuos, las áreas cubiertas por vegetación. Este producto ha sido usado ampliamente, para evaluar y monitorear el estado de la vegetación a nivel global (Miles & *al.* 2006), regional (Morton & *al.* 2005) y local (Hansen & *al.* 2008).

¹Dpto. de Biología Vegetal, Facultad de Biología, Universidad de La Habana. Calle 25 No. 455 Vedado, La Habana, Cuba. ²Instituto de Ecología y Sistemática (IES), CITMA, La Habana, Cuba. Carretera Varona 11835 e/Oriente y Lindero, La Habana 19, CP 11900, Calabazar, Boyeros, La Habana, Cuba. *Autor para correspondencia (e-mail: majela@fbio.uh.cu).

Entre los factores que alteran las propiedades de la vegetación se encuentran las tendencias anuales de las temperaturas y las precipitaciones, su estacionalidad, y otros factores ambientales limitantes. Estas variables han sido utilizadas comúnmente para caracterizar la distribución de especies de plantas (Buermann & *al.* 2008). Además, tienen relevancia directa en los procesos ecológicos de las especies vegetales (Busby 1991), por lo que su uso en la identificación de los rangos ambientales de los ecosistemas terrestres ha sido bien acogido. Sin embargo, la afectación de estos rangos (ej.: temperaturas, precipitaciones) debido al cambio climático debe ser considerada. Pues, aunque en los trópicos se han detectado cambios menores, a nivel global son evidentes los aumentos del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el aumento del promedio mundial del nivel del mar, entre otros indicadores (Herzog & *al.* 2011).

Para caracterizar los rangos ambientales y sus afectaciones producto al cambio climático, se encuentran las bases de datos globales como *WorldClim*, con disponibilidad de información libre sobre superficies climáticas (Hijmans & *al.* 2005); así como, los modelos de clima para los escenarios futuros que constituyen imágenes alternativas de los que podría ocurrir producto de las emisiones de gases de efecto invernadero (Solomon & *al.* 2007).

Las formaciones vegetales responden de manera diferente a los procesos de cambio ambiental y las presiones antrópicas; por tanto, el reconocimiento de sus características espaciales es de primera importancia en la planificación de programas de seguimiento y políticas de conservación (Klijn 1994). El Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Cuba (SNAP) reúne al conjunto de las áreas naturales, terrestres y marinas, que revisten interés nacional,

regional y mundial. Existen o están propuestas un total de 263 áreas (CNAP 2009), clasificadas en ocho categorías de manejo según el Decreto Ley 201 del SNAP, las cuales se homologan a las seis definidas para la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). Dentro de estas categorías, los Parques Nacionales (PN) incluyen algunas de las áreas principales hacia las cuales se dirigen actualmente los esfuerzos de conservación de la flora y la fauna en Cuba, según lo planteado por el plan de sistemas del Centro nacional de Áreas Protegidas (CNAP 2014).

Algunos de los trabajos enfocados a caracterizar la dinámica de las formaciones vegetales, los cambios en la cobertura de vegetación y el impacto del cambio climático en Cuba, son los realizados por Álvarez & *al.* (1998), Centella & *al.* (2001), Álvarez & Ponce (2003) y Álvarez & *al.* (2011). Sin embargo, muy pocas investigaciones se han beneficiado de las ventajas que ofrecen para tales estudios, las técnicas de percepción remota y los índices de vegetación (Hernández & *al.* 2009, Álvarez 2010, Denis 2015). Debido a la ausencia de información sobre las dinámicas de la vegetación en áreas protegidas cubanas, a partir de las herramientas antes mencionadas, el presente estudio tiene como objetivo la evaluación de la variabilidad del producto VCF en las formaciones vegetales naturales de los Parques Nacionales de Cuba, desde 2000 al 2010, así como de la variación futura de las condiciones bioclimáticas sobre estas formaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

De los 14 Parques Nacionales declarados hasta el 2013 (CNAP 2014), fueron seleccionados aquellos que presentaban una superficie terrestre superior al 40% del área total del parque (Figura 1, Tabla I).

TABLA I

Parques Nacionales de Cuba según el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (2014)

Se muestra la superficie total, superficie terrestre y el porcentaje que representa la superficie terrestre del área total del parque.

TABLE I

National Parks of Cuba according to the National System of Protected Areas (2014)

Is shown the total surface, terrestrial surface and the percentage that it represents the terrestrial surface of the total.

Parques Nacionales	Superficie total (km ²)	Superficie terrestre (km ²)	Porcentaje superficie terrestre (%)
Alejandro de Humboldt	70 633,70	68 430	96,88
Caguanes	20 435,50	8 500	41,59
Ciénaga de Zapata	41 8927,60	281 861	67,28
Desembarco del Granma	32 619,60	26 180	80,25
Guanahacabibes	39 295,50	23 880	60,77
La Mensura-Pilotos	8 413,40	8 413,40	100
Pico Cristal	18 500,10	18 500,10	100
Pico La Bayamesa	23 968,30	23 968,30	100
Turquino	22 916,90	22 916,90	100
Viñales	11 089,70	11 089,70	100

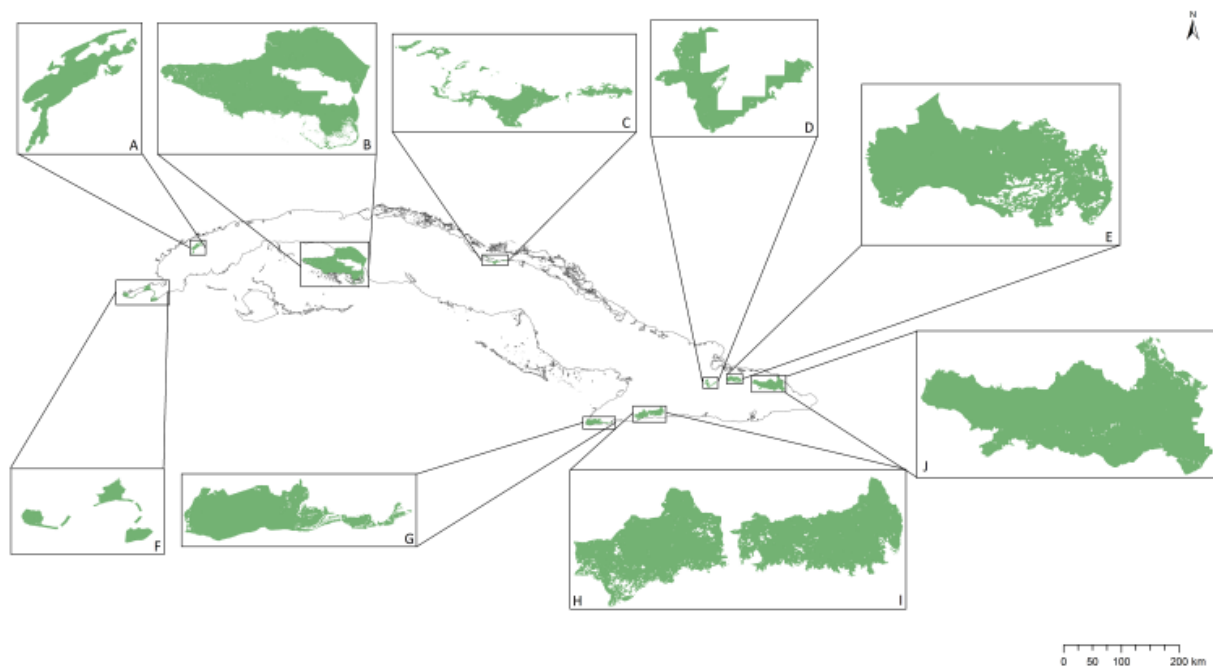


Fig. 1. Mapa de los Parques Nacionales de Cuba según el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (2014) incluidos en el presente estudio. A: Viñales. B: Ciénaga de Zapata. C: Caguanes. D: La Mensura-Pilotos. E: Pico Cristal. F: Guanahacabibes. G: Desembarco del Granma. H: Turquino. I: Pico La Bayamesa. J: Alejandro de Humboldt.

Fig. 1. Map of National Parks of Cuba according to the National System of Protected Areas (2014) included in the present study. A: Viñales. B: Ciénaga de Zapata. C: Caguanes. D: La Mensura-Pilotos. E: Pico Cristal. F: Guanahacabibes. G: Desembarco del Granma. H: Turquino. I: Pico La Bayamesa. J: Alejandro de Humboldt.

Análisis multitemporal

Se utilizó el producto para un año, obtenido por el sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* a bordo del satélite EOS Terra), del VCF (DiMiceli & *al.* 2011). Fueron empleadas 11 capas con una resolución de 250 m, correspondientes a los años evaluados. El producto VCF está disponible de manera gratuita en el sitio Web de servicios de cobertura terrestre de la Universidad de Maryland (www.landcover.org). Los 11 escenarios correspondieron al promedio del VCF de todos los meses de un mismo año, desde el 2000 hasta el 2010. Se generaron 1000 puntos aleatorios en cada área de estudio, con base en el mapa de áreas protegidas (SNAP 2014). A partir de estos puntos, se extrajeron los valores del índice de todos los escenarios para todas las formaciones vegetales naturales según el Mapa de Vegetación (Estrada & *al.* 2012), que utilizó la clasificación de Capote & Berazaín (1984). Los valores que correspondieron a cuerpos de agua fueron eliminados, debido a que no aportan información sobre la vegetación. El procesamiento se realizó con el programa *ArcGis 10.1*. El análisis multitemporal incluyó la comparación del porcentaje de cobertura de vegetación natural total y de cada formación vegetal de manera independiente, durante 11 años consecutivos.

Análisis de la variación de las condiciones bioclimáticas
Se estimaron los rangos ambientales (los valores

máximos y mínimos de variables climáticas asociadas a las temperaturas y precipitaciones) de cada formación vegetal mediante el empleo de nueve variables bioclimáticas (Tabla II) obtenidas de la base de datos global de superficies climáticas *WorldClim* generadas por Hijmans & *al.* (2005). Estas capas tienen una resolución de 0,00833 grados decimales y están disponibles en <http://www.worldclim.org> (Hijmans & *al.* 2004). Para todos los Parques Nacionales incluidos en el estudio se empleó la capa de puntos aleatorios generada para el análisis multitemporal y se extrajeron en el programa *ArcGis 10.1*, los valores de las variables en el escenario actual y en las proyecciones climáticas Trayectorias Representativas de Concentración (RCP por sus siglas en inglés) 2,6 y 8,5 del Modelo de Circulación General del Centro Climático General de Beijing (BCC-CSM1.1). Estas proyecciones fueron presentadas por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) en su quinto Reporte de Evaluación (AR5) y describen dos configuraciones climáticas diferentes, en dependencia de las concentraciones de gases de efecto invernadero (RCP 2,6 / RCP 8,5) (Flato & *al.* 2013). La proyección RCP 2,6 asume que la concentración de gases de efecto invernadero se incrementará en el futuro con un pico máximo en 2040 y el RCP 8,5 asume un incremento de la concentración de los GEI con un pico máximo en 2100.

TABLA II

Variables bioclimáticas utilizadas para la estimación de los rangos ambientales de las formaciones vegetales naturales presentes en los Parques Nacionales de Cuba según el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (2014)

TABLE II

Bioclimatic variables used for the estimation of the environmental ranges of the natural of the natural vegetation present present in the National Parks of Cuba according to the National System of Protected Areas (2014)

Código	Nombre
BIO1	Temperatura media anual
BIO4	Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar x 100)
BIO7	Variación anual de temperatura (BIO5 - BIO6)*
BIO10	Temperatura media del trimestre más cálido
BIO11	Temperatura media del trimestre más frío
BIO12	Precipitación media anual
BIO15	Estacionalidad de las precipitaciones (coeficiente de variación)
BIO16	Precipitación media del trimestre más húmedo
BIO17	Precipitación media del trimestre más seco

*BIO5- Temperatura máxima del mes más cálido; BIO6- Temperatura mínima del mes más frío

El análisis del cambio en los rangos ambientales para cada área protegida analizada y cada formación vegetal dentro de estas, se realizó por dos vías. En la primera se utilizó una variable definida como Índice de cambio (Ic), cuya fórmula es $Ic = \sum_i^n \frac{|d_i|}{v_i} * 100$ donde i corresponde a la i ésima variable bioclimática y n es el total de variables analizadas, d_i representa la diferencia entre el valor actual de la variable i y el valor en la proyección futura y v_i es el valor actual de la variable i . El índice indica el porcentaje que representan los cambios en los rangos ambientales en función del escenario actual. La segunda vía incluyó la comparación entre todas las formaciones vegetales independientemente del área, mediante un análisis de varianza multivariado por permutaciones (Permanova), en el que se emplearon como variables las diferencias en las nueve variables bioclimáticas para cada proyección. Se utilizó como medida de distancia la euclídeana y 100 permutaciones. En este análisis solo se compararon las formaciones vegetales que estuvieran presentes en, al menos, tres de los PN evaluados.

RESULTADOS

Cambios multitemporales de la cobertura de vegetación natural

En los 10 PN incluidos en el estudio, estuvieron representadas 25 formaciones vegetales. Solamente estuvo presente en todos los PN el Bosque secundario. El Charrascal Montano, el Bosque siempreverde microfilo, el Encinar, el Monte Fresco, la Pluvisilva baja, las Sabanas, Saladares y la Manigua Costera son formaciones que estuvieron presentes en no más de un PN.

Al analizar la cobertura vegetal natural como un todo, el índice mostró fluctuaciones para la mayoría de los PN en los años evaluados, con valores mínimos de cobertura

cercanos al 30 % en Ciénaga de Zapata y máximos de hasta un 75 % en Pico La Bayamesa y Turquino. El resto de los PN mostraron valores cercanos al 50 %. No se observó una tendencia al aumento o la disminución de la cobertura en los últimos años evaluados, aunque por lo general, los valores iniciales y finales son similares. No obstante, en algunos parques como Desembarco del Granma, Guanahacabibes y La Mensura-Pilotos se observaron picos pronunciados de disminución en los años 2005 y 2006 (Figura 2).

La mayoría de las formaciones vegetales de los parques Caguanes, Ciénaga de Zapata, Guanahacabibes, La Mensura-Pilotos y Viñales no superaron el 50 % de cobertura. Por otra parte, en Alejandro de Humboldt, Pico La Bayamesa y Turquino los valores de cobertura se mantuvieron cercanos al 80 % para todas las formaciones. A su vez, los valores mínimos de cobertura correspondieron a las formaciones vegetales Bosque siempreverde de ciénaga típico, Matorrales indiferenciados, Bosque siempreverde microfilo costero y subcostero, Saladares, Sabanas, Herbazal de Ciénaga y Bosque siempreverde de mangles. Los mayores valores de porcentaje de cobertura los presentaron la Pluvisilva de baja altitud, la Pluvisilva Submontana, los Pinares, Bosques indiferenciados, Bosque nublado típico (1 600-1 900m), Bosque pluvial montano (800-1 600m) y el Monte Fresco (Figura 2).

Algunos PN mostraron un comportamiento homogéneo en el aumento o disminución de la cobertura vegetal entre años para todas las formaciones (Alejandro de Humboldt, Caguanes, Desembarco del Granma, Guanahacabibes, La Mensura-Pilotos y Viñales). Sin embargo, en otros PN como Ciénaga de Zapata, Pico

Cristal, Pico La Bayamesa y Turquino, para un mismo año la cobertura disminuyó en algunas formaciones mientras que en otras aumentó (Figura 2). Un ejemplo de ello es el año 2009 en Ciénaga de Zapata, donde se observó una disminución de todas las formaciones vegetales, con excepción de los Pinares y los Matorrales secundarios cuya cobertura aumentó.

Variación de las condiciones bioclimáticas

En el análisis de los rangos ambientales, solo el PN Pico La Bayamesa, mostró un comportamiento similar en cuanto al Índice de cambio para ambas proyecciones. Para el resto de los PN se observó la presencia de dos patrones. El primero lo presentaron los PN Alejandro de Humboldt, Caguanes, La Mensura-Pilotos y Pico Cristal, en el cual se obtuvieron mayores valores de cambios con respecto al escenario actual para la proyección bc85bi50. El segundo patrón, contrario al anterior, lo presentaron los PN Ciénaga de Zapata, Desembarco del Granma, Guanahacabibes, Turquino y Viñales. En este, se observaron mayores valores del índice para la proyección bc26bi50. Independientemente del patrón, las diferentes formaciones vegetales dentro de una misma área presentaron valores similares del índice para un mismo escenario (Figura 3).

La comparación de los cambios en los rangos ambientales entre todas las formaciones vegetales independientemente del área protegida, mostró diferencias estadísticas significativas entre el Bosque secundario y el Charrascal, entre el Bosque semidecíduo mesófilo y el Charrascal y entre el Bosque semidecíduo mesófilo y la Pluvisilva submontana, para la proyección bc26bi50. Sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticas significativas en ninguna de las comparaciones para la proyección bc85bi50 (Tabla III).

DISCUSIÓN

Cambios multitemporales de la cobertura de vegetación natural

Aunque se observaron fluctuaciones en el porcentaje de cobertura vegetal total, los valores iniciales y finales son similares y no se aprecia una tendencia a la disminución en los últimos años. Esto podría ser un indicio de que la cobertura vegetal en estas áreas no ha sufrido grandes alteraciones, aun cuando han existido fluctuaciones intermedias. Incluso cuando la ausencia de pérdida en cobertura podría ser resultado de las acciones llevadas a cabo por el SNAP y la administración de estas áreas, el análisis realizado no nos permite confirmar el efecto positivo que estas acciones pueden tener en la recuperación y conservación de la vegetación.

La disminución de la cobertura observada para algunos PN en los años 2005 y 2006, junto a las fluctuaciones anteriormente mencionadas, pueden ser un reflejo del

efecto que tienen los fenómenos meteorológicos como los huracanes que comúnmente afectan a la isla. Este efecto es mayor en áreas del occidente, como Guanahacabibes, Viñales o Ciénaga de Zapata, las cuales se encuentran en las rutas más frecuentes de paso de los ciclones tropicales (Centella & al. 2006, CITMA 2014). Las formaciones vegetales que presentaron los valores mínimos de cobertura fueron formaciones de altitudes bajas que presentan características como una mayor accesibilidad y una topografía poco accidentada que las hacen más vulnerables a la utilización de tierras para la agricultura o asentamientos humanos (Primack 1998). Lo anterior puede tener además, un efecto directo sobre el nivel de fragmentación de estas formaciones. Capote & al. (2006), reportaron que los mayores niveles de fragmentación en formaciones vegetales naturales (con parches menores de 100 km²), ocurren principalmente en zonas de humedales y de costas, tales como la vegetación acuática, el bosque de mangle, el complejo de costa rocosa y costa arenosa. No obstante, no se puede afirmar que los valores encontrados sean un reflejo de la fragmentación, pues una misma magnitud de cobertura puede estar o no fragmentada. Por otra parte, el hecho de que los mayores valores de porcentaje de cobertura los presentaron la Pluvisilva de baja altitud, la Pluvisilva Submontana, los Pinares, el Bosque nublado típico, el Bosque pluvial montano y el Monte Fresco puede deberse a que estas son, por lo general, formaciones presentes en las áreas núcleos dentro de los PN, lo que las hace privilegiadas ante los esfuerzos de conservación y menos vulnerables a la acción antrópica.

No obstante, hay que tener en cuenta que la resolución espacial del producto VCF es de 250 m, por lo que podrían no destacarse cambios en la cobertura vegetal de estas formaciones vegetales debido a la escala del presente trabajo. Es de esperar que un análisis similar, con imágenes satelitales de mayor resolución espacial, arroje resultados más precisos acerca de los cambios en la cobertura vegetal de dichas formaciones vegetales. En este caso sería útil evaluar los cambios en una serie de tiempo de imágenes como las del satélite LandSat, ya que presentan una resolución espacial de 30 m.

Variación de las condiciones bioclimáticas

Las diferencias en los valores del Índice de cambio, entre el escenario actual y las dos proyecciones futuras para el 2050, estuvieron dadas fundamentalmente por aumentos en las temperaturas y disminución de las precipitaciones, según demostró el análisis del cambio individual de cada variable bioclimática (resultados no presentados). Resultados similares fueron obtenidos por Hernández & al. (2009), quienes realizaron un estudio en todo el territorio nacional y encontraron que las regiones montañosas presentarán mayores aumentos de temperatura y menores reducciones de las lluvias que las costeras.



Fig. 2. Variación del porcentaje de cobertura vegetal promedio en el periodo comprendido entre el 2000 y 2010 en las formaciones vegetales naturales presentes en Parques Nacionales de Cuba según el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (2014). Las barras representan la variación de la cobertura vegetal natural total (eje secundario). BSDM: Bosque semidecíduo mesófilo. BSDMi: Bosque semidecíduo microfilo. BSV: Bosque siempreverde. BSVM: Bosque siempreverde mesófilo. BSVMi: Bosque siempreverde microfilo. BSVMi.CSc: Bosque siempreverde microfilo costero y subcostero. BSVC: Bosque siempreverde de ciénaga. BNT: Bosque nublado típico. BPM: Bosque pluvial montano. Pluv: Pluvisilva. CV: Complejo de vegetación.

Fig. 2. Variation of the percentage of cover vegetable average in the time between 2000 and 2010 in the formations vegetable natural present in National Parks of Cuba according to the National System of Protected Areas (2014). The bars represent the variation of the total natural vegetable cover (secondary axis). BSDM: Mesophyllous semidecuiduous forest. BSDMi: Microphyllous semidecuiduous forest. BSV: Evergreen forest. BSVM: Mesophyllous evergreen forest. BSVMi: Microphyllous evergreen forest. BSVMi.CSc: Coastal and Sub-Coastal Microphyllous evergreen forest. BSVC: Swamp evergreen forest. BNT: Typical cloud forest. BPM: Mountain rain forest. Pluv: Pluvisilva. CV: Vegetation complex.

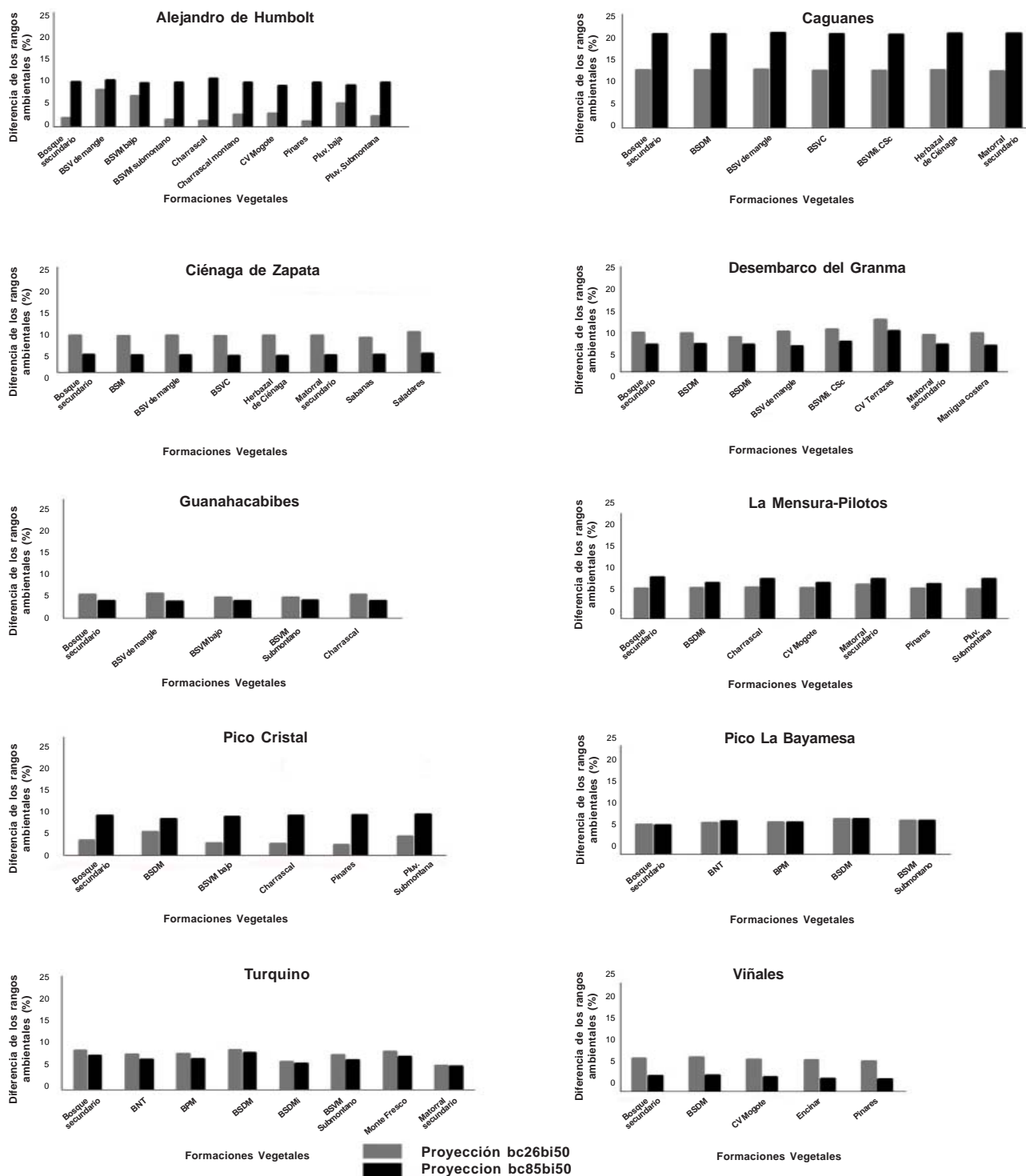


Fig. 3. Porcentaje que representan las diferencias en los rangos ambientales de las formaciones vegetales naturales presentes en Parques Nacionales de Cuba según el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (2014). Se muestran las diferencias de dos proyecciones: bc26bi50 y bc85bi50 para el escenario BCC-CSM-1 del 2050, en función del escenario actual. BSDM: Bosque semidecíduo mesófilo. BSDMi: Bosque semidecíduo microfilo. BSV: Bosque siempreverde mesófilo. BSVMi: Bosque siempreverde microfilo. BSVMi.CSc: Bosque siempreverde microfilo costero y subcostero. BSVC: Bosque siempreverde de ciénaga. BNT: Bosque nublado típico. BPM: Bosque pluvial montano. Pluv: Pluvilsilva. CV: Complejo de vegetación.

Fig. 3. Percentage that represent the differences in the environmental ranges of the natural vegetation present in National Parks of Cuba according to the National System of Protected Areas (2014). The differences of two projections are shown: bc26bi50 and bc85bi50 for the scenario BCC-CSM-1 the 2050, in function of the current scenario. BSDM: Mesophyllous semideciduous forest. BSDMi: Microphyllous semideciduous forest. BSV: Evergreen forest. BSVMi: Mesophyllous evergreen forest. BSVMi.CSc: Coastal and Sub-Coastal Microphyllous evergreen forest. BSVC: Swamp evergreen forest. BNT: Typical cloud forest. BPM: Mountain rain forest. Pluv: Pluvilsilva. CV: Vegetation complex.

TABLA III

Resultados del Permanova. Se emplearon como variables las diferencias en los rangos ambientales de las formaciones vegetales naturales presentes en Parques Nacionales de Cuba, como medida de distancia la euclídeana y 100 permutaciones

Se muestran los valores de probabilidad para cada comparación, en dos proyecciones para el escenario BCC-CSM-1 del 2050: bc26bi50 (por encima de la diagonal) y bc85bi50 (por debajo de la diagonal). * Comparaciones significativas para un $\alpha < 0,05$.

TABLE III

Permanova results. Was used as variables the differences in the environmental ranges of the natural vegetation present in National Parks of Cuba, as distance measure the distance euclidean and 100 permutations

*The values of probability are shown for each comparison, in two projections for the scenario BCC-CSM-1 the 2050: bc26bi50 (above the diagonal) and bc85bi50 (below the diagonal). * Significant comparisons for $\alpha < 0,05$.*

	Bosques secundarios	BSDM	BSV de mangle	BSVM bajo	BSVM submontano	Charrascal	CV Mogote	Matorrales secundarios	Pinares	Pluv. Submontana
Bosques secundarios		0,861	0,614	0,337	0,594	0,099	0,743	0,812	0,257	0,257
BSDM	0,901		0,871	0,168	0,446	0,010*	0,555	0,861	0,248	0,040*
BSV de mangle	0,990	0,931		0,129	0,297	0,050	0,376	0,713	0,119	0,059
BSVM bajo	0,802	0,525	0,951		0,812	0,713	0,782	0,257	0,832	1,000
BSVM submontano	0,951	0,980	0,970	0,693		0,406	1,000	0,455	0,743	0,475
Charrascal	0,891	0,555	0,970	1,000	0,465		0,604	0,129	0,753	1,000
CV Mogote	0,891	0,673	0,980	1,000	0,485	0,911		0,693	0,644	0,644
Matorrales secundarios	0,792	0,911	0,881	0,663	0,931	0,624	0,654		0,238	0,069
Pinares	0,822	0,515	0,921	0,901	0,198	0,782	0,802	0,634		0,852
Pluv. Submontana	0,436	0,347	0,792	1,000	0,228	0,832	0,356	0,416	0,238	

Otros estudios han referido que la temperatura media anual en las zonas llanas de Cuba tiene poca variación, mientras que en las montañosas hay una mayor variación, en tanto que en las costeras es algo más alta a causa del efecto moderador del mar (Borhidi 1996, INSMET 2008).

Según lo planteado por el IPCC (Flato & al. 2013) para las formaciones vegetales de montaña, un aumento de 1 °C (como el encontrado en el presente estudio) hasta 3,5 °C de la temperatura media anual, es el equivalente a un aumento de altitud de 150 a 550 m, lo cual pudiera representar un desplazamiento en el rango de distribución altitudinal de las especies de montaña. Este aumento pondría en riesgo fundamentalmente a las especies exclusivas de formaciones vegetales que se desarrollan a grandes altitudes, como el Bosque pluvial montano, el Bosque nublado típico y el Monte Fresco, compuestas en más del 70 % por especies arbóreas endémicas (Bisse 1988). Este efecto debe considerar también la ubicación relativa de la especie en cuanto a la altitud y sería aún más crítico en especies cuyas poblaciones se encuentran actualmente en la cima de las montañas pues estas no tienen hacia donde desplazarse. Este fenómeno fue evaluado por Álvarez (2010) quien registró cambios de temperatura para el 2050 de 1,5 °C para la zona de Pico Real del Turquino, al emplear el escenario B2 con dos modelos de circulación global HECHAM y HADLEY

(INSMET 2010). Dos de las formaciones vegetales presentes en este PN el Bosque nublado y el Monte Fresco, las cuales se desarrollan por encima de los 1000 y 1700 msm (Bisse 1988), respectivamente, enfrentan riesgos de desaparecer.

Consideraciones generales

Los riesgos que implica para la biodiversidad el cambio climático, han sido abordados por numerosos autores (Dirnböck & al. 2003, Kremen 2005, Thuiller & al. 2005). El tiempo requerido por los sistemas naturales para adaptarse a un proceso de cambio ambiental, es mucho mayor que la velocidad a la que el cambio ocurre. En consecuencia, los sistemas naturales se desestabilizan y las especies con menor capacidad adaptativa o más adaptadas a condiciones específicas propias de hábitats restringidos, aumentan sus riesgos de extinción. Si se tiene en cuenta que las proyecciones climáticas evaluadas en el presente estudio sugieren que mantener el clima actual en el futuro es altamente improbable (Solomon & al. 2007), deben realizarse estrategias de conservación que permitan mitigar el posible efecto que el cambio climático pueda tener sobre las formaciones vegetales del país. Esto es de especial atención sobre todo en aquellas que generan microclimas, ya que según lo planteado anteriormente, pueden verse particularmente afectadas ante pequeñas variaciones en las condiciones climáticas.

Aún cuando el escenario climático utilizado en la presente investigación sugiere los cambios anteriormente referidos en cuanto a temperaturas y precipitaciones, hay que tener en cuenta que estos siguen siendo modelos matemáticos, por lo que se debe ser cauteloso a la hora de la interpretación de los cambios que estos sugieren. El cambio climático es un fenómeno complejo y resulta muy difícil poder establecer o identificar los riesgos reales que pueda tener sobre la diversidad biológica (Peterson & al. 2011), por lo que la presente investigación intenta mostrar solo una perspectiva de las posibles consecuencias que dicho fenómeno podría ocasionar en nuestras formaciones vegetales, en aras de fomentar y apoyar medidas preventivas que garanticen la preservación de estas y de la diversidad biológica que contienen.

CONCLUSIONES

De manera general, los resultados obtenidos muestran que la cobertura vegetal en los Parques Nacionales de Cuba se mantuvo estable y con pequeñas fluctuaciones en el periodo evaluado. La variabilidad en el porcentaje de cobertura vegetal siguió dos comportamientos opuestos, donde las formaciones vegetales de zonas bajas y costeras mostraron los valores mínimos de cobertura y las zonas de montaña los máximos. Finalmente, se observa un comportamiento homogéneo para todas las formaciones vegetales dentro de un mismo PN, con una evolución hacia un clima más cálido y menos húmedo, así como diferencias marcadas en la mayoría de los PN entre las proyecciones climáticas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la crítica y detallada revisión realizada por los árbitros, así como las sugerencias brindadas por el comité editorial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agrawal, S., Joshi, P., Shukla Y. & Roy P. 2003. Spot-Vegetation multi temporal data for classifying vegetation in South Central Asia. *Curr. Sci. India* 84(11): 1440-1448.

Álvarez, A. & Mercadet, A. 2011. El sector forestal cubano en el cambio climático. Instituto de Investigaciones Forestales. La Habana, Cuba.

Álvarez, A. 2010. Preparación de la versión 3.0 del sistema SUMFOR: la mitigación del cambio climático por los bosques cubanos. Instituto de Investigaciones Forestales. La Habana, Cuba.

Álvarez, A., & Ponce, D. 2003. Impactos del cambio climático sobre el sector forestal cubano: Segunda evaluación. Instituto de Investigaciones Forestales. La Habana, Cuba.

Álvarez, A., Marrero, A., García, J. M., Duarte, A. & Gra, H. 1998. Evaluación general de los posibles impactos del cambio climático sobre los sectores socioeconómicos y ambientales de Cuba. Instituto de Investigaciones Forestales. La Habana, Cuba.

Bisse, J. 1988. Árboles de Cuba. Editorial Científico Técnica. La Habana, Cuba.

Borhidi, A. 1996. Phytogeography and Vegetation Ecology of Cuba. Akademiai Kiado. Budapest, Hungría.

Buermann, W., Saatchi, S., Smith, T. B., Zutta, B. R., Chaves, J. A., Milá B. & Graham, C. H. 2008. Predicting species distributions across the Amazonian and Andean regions using remote sensing data. *J. Biogeogr.* 35(7): 1160-1176.

Busby, J. 1991. BIOCLIM a bioclimate analysis and prediction system. *Nat. Conserv.* 64-68.

Capote R. P. & Berazaín, R. 1984. Clasificación de las formaciones vegetales de Cuba. *Revista Jard. Bot. Nac. Univ. Habana* 5(2): 27-75.

Capote, R. P., Cruz, R. O. & Vantour, A. 2006. Fragmentación de Vegetación en el Archipiélago Cubano: Conservación de Diversidad Biológica y Mitigación de Desertificación. pp. 33-36. En: Riveros, M., Sánchez, L. E. & Paolini, J. (Eds.) Memoria 1er Taller Binacional y Regional sobre Desertificación, Caracas, Venezuela.

Centella, A., Llanes, J., Paz, L., López, C., & Limia, M. 2001. Primera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. La Habana, Cuba.

Centella, A., Llanes, J. & Paz, L. 2006. Primera comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Parte IV. La Habana, Cuba.

CITMA (Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de la República de Cuba). 2014. V Informe Nacional al Convenio sobre la Diversidad Biológica. La Habana, Cuba.

CNAP (Centro Nacional de Áreas Protegidas). 2009. Plan del Sistema Nacional de Áreas Protegidas 2009-2013. Centro Nacional de Áreas Protegidas. La Habana, Cuba.

CNAP (Centro Nacional de Áreas Protegidas). 2014. Plan del Sistema Nacional de Áreas Protegidas 2014-2020. Centro Nacional de Áreas Protegidas. La Habana, Cuba.

Denis, D. 2015. Análisis multitemporal de imágenes Landsat para evaluar las variaciones de la cobertura vegetal emergente en la laguna Leonero, Granma, Cuba. *Revista Jard. Bot. Nac. Univ. Habana* 36: 47-53.

Di Gregorio, A. & Jansen, L. J. M. 2000. Land Cover Classification System (LCCS). FAO.

DiMiceli, C. M., Carroll, M. L., Sohlberg, R. A., Huang, C., Hansen, M. C. & Townshend, J. R. G. 2011. Annual Global Automated MODIS Vegetation Continuous Fields (MOD44B) at 250 m Spatial Resolution for Data Years Beginning Day 65, 2000-2010, Collection 5 Percent Tree Cover. University of Maryland, College Park, MD, Estados Unidos de América.

Estrada, R., Martín, G., Martínez, P., Rodríguez, S., Capote, R., Reyes, I., Galano, S., Cabrera, C., Martínez, C., Mateo, L., Guerra, Y., Batte, A. & Coya, L. 2012. Mapa (BD-SIG) de vegetación natural y seminatural de Cuba v.1 sobre Landsat EMT 7 slc-off gap filled, circa 2011. IV Congreso de Biodiversidad y Ecosistemas. La Habana, Cuba.

Fairbanks, D. & Mcwire, K. 2004. Patterns of floristic richness in vegetation communities of California: Regional scale analysis with multi-temporal NDVI. *Global Ecol. & Biogeogr.* 13(3): 221-235.

- Feeley, K.J., Gillespie, T. & Terborgh, J. 2005. The utility of spectral indices from lysat ETM+ for measuring the structure y composition of tropical dry forests. *Biotrópica* 37(4): 508-519.
- Flato, G., Marotzke J., Abiodun B., Braconnot P., Chou S. C., Collins W., Cox P., Driouech F., Emori S., Eyring V., Forest C., Gleckler P., Guilyardi E., Jakob C., Kattsov V., Reason C. & Rummukainen, M. 2013. Evaluation of Climate Models. pp. 741-866. En: T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (Eds.). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido & Nueva York, Estados Unidos de América.
- Hansen, M. C., DeFries, J. R. S., Townshend, R. R., Sohlberg, G., Dimiceli C. & Carroll, M. 2002. Towards an operational MODIS continuous field of percent tree cover algorithm: examples using AVHRR and MODIS data. *Remote Sensing of Environment* 83: 303-319.
- Hansen, M. C., Roy, D. P., Lindquist, E., Adusei, B., Justice, C. O. & Altstatt, A. 2008. A method for integrating MODIS and Landsat data for systematic monitoring of forest cover and change in the Congo Basin. *Remote Sensing of Environment* 112(5): 2495-2513.
- Hernández, A. A., Brito, A. Á. & Portillo, A. J. M. 2009. Evaluación de impacto y estrategia de adaptación para la empresa forestal integral Barcoa, provincia Guantánamo, Cuba. *Ra Ximhai* 5(3): 271-279.
- Herzog, S. K., Martinez, R., Jorgensen, P. M. & H. Tiessen. 2011. Climate change and biodiversity in the Tropical Andes. Inter-American Institute for global change research (IAI) and Scientific committee on problems of the environment (SCOPE).
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G. & Jarvis, A. 2004. The WorldClim interpolated global terrestrial climate surfaces. Version 1.3. <http://biogeo.berkeley.edu/> Agosto de 2015.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G. & Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Internat. J. Climatology* 25: 1965-1978.
- INSMET. 2008. Suministrador de Climas Regionales para los Estudios de Impacto. <http://precis.insmet.cu/Precis-Caribe.htm>. Diciembre de 2008.
- INSMET. 2010. Suministrador de Climas Regionales para los Estudios de Impacto. <http://precis.insmet.cu/Precis-Caribe.htm>. Diciembre de 2010.
- Klijin, F. 1994. *Ecosystem classification for environmental management*. Kluwer Academic Publishers.
- Kremen, C. 2005. Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? *Ecol. Lett.* 8: 468-479.
- Miles, L., Newton, A. C., DeFries, R. S., Ravilious, C., May, I., Blyth, S. & Gordon, J. E. 2006. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *J. Biogeog.* 33(3), 491-505.
- Morton, D. C., DeFries, R. S., Shimabukuro, Y. E., Anderson, L. O., Del Bon Espírito-Santo, F., Hansen, M. & Carroll, M. 2005. Rapid Assessment of Annual Deforestation in the Brazilian Amazon Using MODIS Data. *Earth Interactions* 9: 1-22.
- Peterson, A.T., Soberón J., Pearson R. G., Anderson R. P., Martínez-Meyer E., Nakamura M. & Araújo M. B. 2011. *Ecological Niches and Geographic Distributions*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, Estados Unidos de América.
- Primack, B. 1998. *Essentials of conservation Biology*. 2nd Ed. Massachusetts, Estados Unidos de América.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B. & Miller, H. L. 2007. IPCC, 2007: Summary for Policymakers, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Thuiller, W., Lavorel, S., Araujo, M. B., Syke, M. T. & Prentice, I. C. 2005. Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 102: 8245-8250.
- Turner, W., Spector, S., Gardiner, N. & Flodely, M. 2003. Remote sensing for biodiversity science y conservation. *Tree* 18: 306-314.