

Arco Aguilar, M. del (2008). 4. La flora y la vegetación canaria ante el cambio climático actual. En Afonso-Carrillo, J. (Ed.), *Naturaleza amenazada por los cambios en el clima*. pp. 105-140. Actas III Semana Científica Telesforo Bravo. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias. ISBN: 978-84-612-6456-8.

4. La flora y la vegetación canaria ante el cambio climático actual

Marcelino del Arco Aguilar

Departamento de Biología Vegetal. Universidad de La Laguna.

En la actualidad, utilizando parámetros climáticos e índices bioclimáticos es posible analizar los posibles efectos que el cambio climático actual podría tener sobre la flora y vegetación canaria considerando una proyección futura para el periodo 2.070 – 2.100. Como consecuencia de la previsible elevación de las temperaturas y disminución estimada de las precipitaciones, los pisos bioclimáticos (cada uno de los tipos de medio, definidos por caracteres climáticos, que se suceden altitudinalmente) sufrirán desplazamientos. Así, los termotipos (definidos por los valores térmicos) tenderán hacia un ascenso y los ombrotipos (definidos por las precipitaciones) hacia la aridización. Estos cambios producirían un desplazamiento paralelo de los diferentes tipos de la vegetación potencial canaria asociada a los mismos, lo que supondrá una reducción generalizada de la superficie que ocupan excepto para los ambientes más áridos y para el pinar. Por otra parte, la tendencia de cambio que muestra el anticiclón de las Azores y otros datos climáticos indican que las áreas de nubes de las vertientes de barlovento podrían reducirse, con la consiguiente merma de la laurisilva. La respuesta de los principales tipos de vegetación potencial al cambio previsto será más lenta que la velocidad del cambio, lo que favorecería la expansión de comunidades arbustivas de sustitución más dinámicas. Estas consideraciones acerca de la flora y la vegetación pueden encontrarse también en Del Arco (2008) y ser ampliadas para otros aspectos ligados al cambio climático en Canarias en Méndez & Vázquez (2008).

La actual configuración de la Tierra, su particular biota y su distribución son producto de una evolución continua de millones de años, a lo largo de los cuales se han sucedido innumerables eventos climáticos, en ocasiones de tipo catastrófico. La intensidad y velocidad con la que han ocurrido los cambios han determinado la persistencia o extinción de estirpes, dependiendo de su adaptabilidad o de sus posibilidades de migración a lugares favorables para su desarrollo (Lovejoy & Hannah, 2005). En la escala geológica los cambios climáticos acaecidos durante las glaciaciones cuaternarias son relativamente cercanos. Los diversos periodos muy fríos que alternaron con otros más cálidos, causaron en ocasiones grandes extinciones o provocaron migraciones cuando fue posible. En alguno de los periodos glaciales se llegó a alcanzar una disminución de la temperatura global de 6-8 °C, aunque en las latitudes polares y boreales la disminución fue mayor. Por el contrario, en alguno de los periodos interglaciales, en el área mediterránea actual se alcanzaron temperaturas 4°C superiores a las actuales (Pons & Quezel, 1985). En general, las glaciaciones se dejaron sentir de diferente manera sobre el continente africano y sobre Canarias. En Canarias los periodos glaciales fueron periodos de abundante lluvia, mientras que los interglaciales fueron épocas cálidas y secas, a veces incluso áridas (Quezel, 1979). El actual modelado de las Islas Canarias es consecuencia de, por un lado, la actividad volcánica constructiva, y por otro, de la actividad erosiva destructiva, en la que los diferentes eventos climáticos acaecidos han tenido una influencia decisiva. Paralelamente a estos procesos, se ha producido la selección de la biota autóctona que albergan las islas.

Influencia del cambio climático sobre la flora y la vegetación

El cambio climático actual afecta a la biodiversidad vegetal tanto mediante impactos **directos** sobre las especies y comunidades vegetales, como por impactos **indirectos**, ya sea sobre el medio físico o por la modificación de las interacciones entre las especies.

Los **impactos directos** del cambio climático actual son consecuencia del calentamiento, que afecta al periodo de actividad vegetal y consecuentemente produce un incremento de la productividad. Pero también de la disminución de las lluvias, que reduce la disponibilidad de agua y limita el proceso anterior.

El aumento de las temperaturas conducirá al acoplamiento del ciclo de vida de las plantas a la nueva situación. Esto provocará cambios en el periodo de formación de las hojas (foliación), de las flores (floración), de los frutos (fructificación), etc., pero ha de tenerse en cuenta que la

plasticidad fenotípica de las especies es variable. Estos cambios afectarán también a las relaciones de competencia. En zonas de montaña las posibles heladas tardías, y el aumento de las temperaturas pueden revestir importancia. Así, temperaturas altas pueden inhibir fases del ciclo de las plantas de montaña inducidas por las bajas temperaturas.

La disminución de las disponibilidades de agua provoca el efecto contrario, esto es una disminución de la productividad potencial. Supondrá una exclusión de las especies menos tolerantes, por disminución de su tasa de reproducción y reclutamiento, y por el progresivo debilitamiento que las hará más susceptibles frente a predadores y plagas. Provocará también una reducción estructural de la vegetación, que afectará a la altura y al recubrimiento.

Si el cambio climático implica la aparición de eventos extremos como incidencias de tormentas violentas en territorios no sometidos regularmente a ellas, periodos secos en épocas no habituales u olas de calor, se acelerará la exclusión de especies no tolerantes a los mismos.

Los científicos señalan que el cambio climático actual es muy rápido en comparación con cambios climáticos anteriores. Esa rapidez puede impedir una respuesta de las plantas a través de posibles procesos microevolutivos. Estos procesos microevolutivos son particularmente importantes en plantas poco longevas (en general hierbas o arbustos) con una gran capacidad de radiación evolutiva. Sin embargo, para las especies longevas, supone la práctica imposibilidad de aclimatación de los individuos adultos. Los cambios previsibles harán que una parte importante de la flora vea superados sus límites de capacidad fenotípica, es decir, que no podrá acomodarse a las nuevas circunstancias.

Como consecuencia de los cambios en el clima, particularmente por la variación de la temperatura, los desplazamientos latitudinales y altitudinales de la vegetación serán la respuesta fundamental de los vegetales para acoplarse a la nueva situación y evitar las extinciones. La velocidad con la que tendrán lugar estos desplazamientos es relativa y dependerá de diversos factores que tienen que ver con la capacidad migratoria de las especies. Entre estos factores se deben destacar el grado de tolerancia al cambio, la longevidad, la producción y tipo de diáspora (esporas, semillas, frutos, etc.) y la competitividad frente a las especies que ocupan el nuevo territorio a colonizar. Verán favorecida su supervivencia las especies que muestren un mayor espectro altitudinal, geográfico y de hábitat, y, por supuesto, una mayor diversidad genética entre sus poblaciones. Los previsibles desplazamientos podrían ser imposibles para muchas especies que verían excedidas sus capacidades migratorias.

Como **impactos indirectos** sobre la vegetación se apuntan los cambios edáficos (relativos al suelo), los cambios en el régimen de los incendios y el previsible aumento del nivel del mar. Así, como consecuencia de una

mineralización más rápida, se prevé una reducción del contenido de carbono orgánico de los suelos. Esta rápida mineralización será resultado de la elevación de la temperatura y de una mayor incidencia de los incendios, que provocarán un aumento de la erosión, de la salinización y de los procesos de desertización. Todo ello irá acompañado de cambios en la composición florística, favoreciendo el desarrollo de plantas y comunidades tolerantes a estos cambios y adaptadas a las nuevas condiciones climáticas. La expansión térmica de los océanos y la fusión de los hielos provocará un ascenso del nivel del mar que afectará a la franja costera y a todos los procesos geomorfológicos y sistemas biológicos asociados.

Las **modificaciones de las interacciones** entre la especies (competencia, asincronías, herbivoría, plagas, invasiones) suponen una fuente potencial de impactos.

Las tendencias previsibles indican una simplificación estructural de la vegetación y un predominio de las extinciones locales frente a las recolonizaciones, llevadas a cabo por especies tolerantes y de distribución relativamente amplia (Fernández-González *et al.*, 2005).

Para prevenir o paliar los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad vegetal, diversas instituciones han desarrollado iniciativas en el marco de la Estrategia Global para la Conservación Vegetal, que fue aprobada en 2002 en la Convención sobre Diversidad Biológica de la ONU. A este respecto, para Canarias cabe citar tanto las aportaciones del denominado Grupo de Gran Canaria (Caujapé, 2006), como a nivel institucional por el Gobierno de Canarias, con la creación de la Agencia Canaria de Desarrollo Sostenible y de Lucha contra el Cambio Climático, que tiene rango de Dirección General (BOC 2007).

La herramienta de la Bioclimatología

La Bioclimatología es una ciencia ecológica que estudia la relación existente entre el clima y la distribución de los seres vivos y sus comunidades en la Tierra. En un principio, estas relaciones se comenzaron a estructurar tratando de correlacionar valores climáticos relativos a temperatura y precipitación con el área de distribución de las plantas y de las formaciones vegetales. Pero más recientemente se han podido establecer también otros tipos de correlaciones. Así, además del área de distribución de las **comunidades vegetales simples** (fitosociología clásica), se han establecido correlaciones con las **series de vegetación**, y con las **geoseries**. Como **series de vegetación** se conoce al conjunto de comunidades vegetales que están asociadas por procesos dinámicos o de sucesión en el seno de un territorio teselar, es decir, de un territorio homogéneo en sus características ecológicas y que por ello tiene un único tipo de vegetación potencial

(fitosociología dinámica) (por ejemplo, el herbazal de chirate, el barrillal, el cerrillal-panasal, el ahulagar-saladar y el tabaibal dulce, de los territorios áridos de Canarias, pertenecen a una misma serie de vegetación representada en su óptimo por el tabaibal dulce). Mientras que las **geoseries** (geosigmetum) expresan la concatenación de series de vegetación a lo largo de un gradiente ecológico o conjunto de gradientes asociados (fitosociología catenal) (por ejemplo, la concatenación en los barrancos de sauzal en sus zonas con agua o más húmedas y palmeral en la vega constituye una geoserie).

El conocimiento de la distribución de la vegetación y de las variaciones de la vegetación potencial o de sus etapas de sustitución permite reconocer los límites reales o potenciales de las unidades de vegetación. La cartografía de las series de vegetación y los mapas bioclimáticos constituyen herramientas básicas para determinar los valores climáticos umbrales que determinan los cambios en la vegetación. Así, se han ido estableciendo y ajustando los espacios correspondientes a las unidades bioclimáticas (bioclimas, ombrotipos y termotipos). Se constata que existe una ajustada y recíproca relación entre el clima, la vegetación y los territorios geográficos, es decir, entre los bioclimas, las series de vegetación y las unidades biogeográficas, lo cual es de gran relevancia en el seguimiento del cambio climático, a través de los posibles movimientos de la vegetación.

La Clasificación Bioclimática Mundial que seguimos (Rivas-Martínez, 1995, 1997, 2008), establece para el conjunto del globo cinco grandes macrobioclimas: tropical, mediterráneo, templado, boreal y polar. Estos macrobioclimas y sus unidades subordinadas o bioclimas, están representados por un conjunto de formaciones vegetales, biocenosis y comunidades vegetales propias. En los bioclimas, se reconocen un cierto número de variaciones en los ritmos estacionales de la precipitación (variantes bioclimáticas) y en los valores térmicos u ombrotérmicos (pisos bioclimáticos: termotipos y ombrotipos). De acuerdo con esta clasificación las Islas Canarias se incluyen en el macrobioclima mediterráneo, de carácter extratropical, cuya principal característica es la existencia de un período seco ($P < 2T$) de al menos dos meses de duración después del solsticio de verano. Este macrobioclima incluye siete bioclimas de los que sólo tres se reconocen en Canarias: el desértico-oceánico, el xérico-oceánico y el pluviestacional-oceánico.

En los últimos 15 años en Canarias se han desarrollado numerosos estudios bioclimáticos, siguiendo la pauta que ha ido marcando el desarrollo de la Clasificación Bioclimática Mundial (Del Arco *et al.*, 1996, 1999, 2002, 2006, 2008; Reyes-Betancort *et al.*, 2001; Rivas-Martínez *et al.*, 1993; Rodríguez-Delgado *et al.*, 2005). Paralelamente se ha llevado a cabo la cartografía de la vegetación de las islas (Del Arco *et al.*, 2006), en la que junto con la vegetación actual se han realizado mapas de vegetación

potencial. Estos estudios, han proporcionado un marco referencial preciso que permite correlacionar pisos bioclimáticos y unidades de vegetación, georreferenciados dentro de un contexto clasificatorio mundial. Toda esta información resulta fundamental para evaluar las variaciones que experimentará la vegetación derivadas del cambio climático en las islas.

Los pisos bioclimáticos

Uno de los objetivos de la Bioclimatología es el establecimiento de los pisos bioclimáticos de los territorios. Los pisos bioclimáticos son cada uno de los tipos o espacios termo-ombroclimáticos, esto es, los determinados por ciertos valores de temperatura y precipitación, que se suceden en una cliserie (catena) altitudinal o latitudinal y que muestran una correlación con los cambios vegetacionales que se van produciendo. Son espacios físicos, definidos por caracteres climáticos, en los que se albergan las comunidades vegetales. No deben confundirse con los pisos de vegetación, los cuales están definidos por la fisionomía concordante de diversas comunidades vegetales. Los pisos bioclimáticos de un territorio se delimitan en función de los factores termoclimáticos (termotipos; I_t , I_{tc} , T_p) y ombroclimáticos (ombrotipos; I_o).

Índices y parámetros para su caracterización: Para establecer los termotipos y ombrotipos bastan unos pocos índices:

Índice de termicidad compensado (I_{tc}). Índice térmico utilizado para determinar los termotipos, entidades territoriales caracterizadas por valores térmicos. $I_{tc} = I_t \pm C$.

Índice de termicidad (I_t) $= (T + M + m) \times 10$

[donde, **T** = temperatura media anual; **M** = media de las temperaturas máximas del mes más frío del año; **m** = media de las temperaturas mínimas del mes más frío del año; y **C** = valor de compensación. Cuando I_c (índice de continentalidad: diferencia entre la temperatura media del mes más frío y la del mes más cálido del año) es menor de 9 (oceánico) o mayor de 18 (continental), un valor de compensación (**C**) se sustrae o añade, según el caso, al valor de I_t para obtener I_{tc} . Este valor se usa en los territorios extratropicales de la Tierra (al norte de los 27°N y al sur de los 27°S) para compensar el exceso de frío invernal de los territorios muy continentales o el exceso de calor invernal de los territorios oceánicos, para que el I_{tc} resultante sea comparable en todos los territorios de la Tierra. En Canarias sólo necesitamos valores de compensación para $I_c < 9$. Este valor se obtiene a partir de la fórmula: $C = (9,0 - I_c) \times 10$].

Índice ombrotérmico (I_o). Coeficiente pluvio-termométrico que se utiliza para establecer los bioclimas y los ombrotipos y se define de acuerdo a la siguiente fórmula: **$I_o = (P_p/T_p) \times 10$** . Los ombrotipos constituyen entidades territoriales caracterizadas por valores ómbricos matizados en función de los valores térmicos del mismo.

Precipitación positiva (Pp). Precipitación media anual en mm de los meses en los que la temperatura media es superior a 0°C. Dado que en Canarias esto es así en todas las estaciones termométricas de las islas, Pp tiene el mismo valor que P (precipitación media anual en mm).

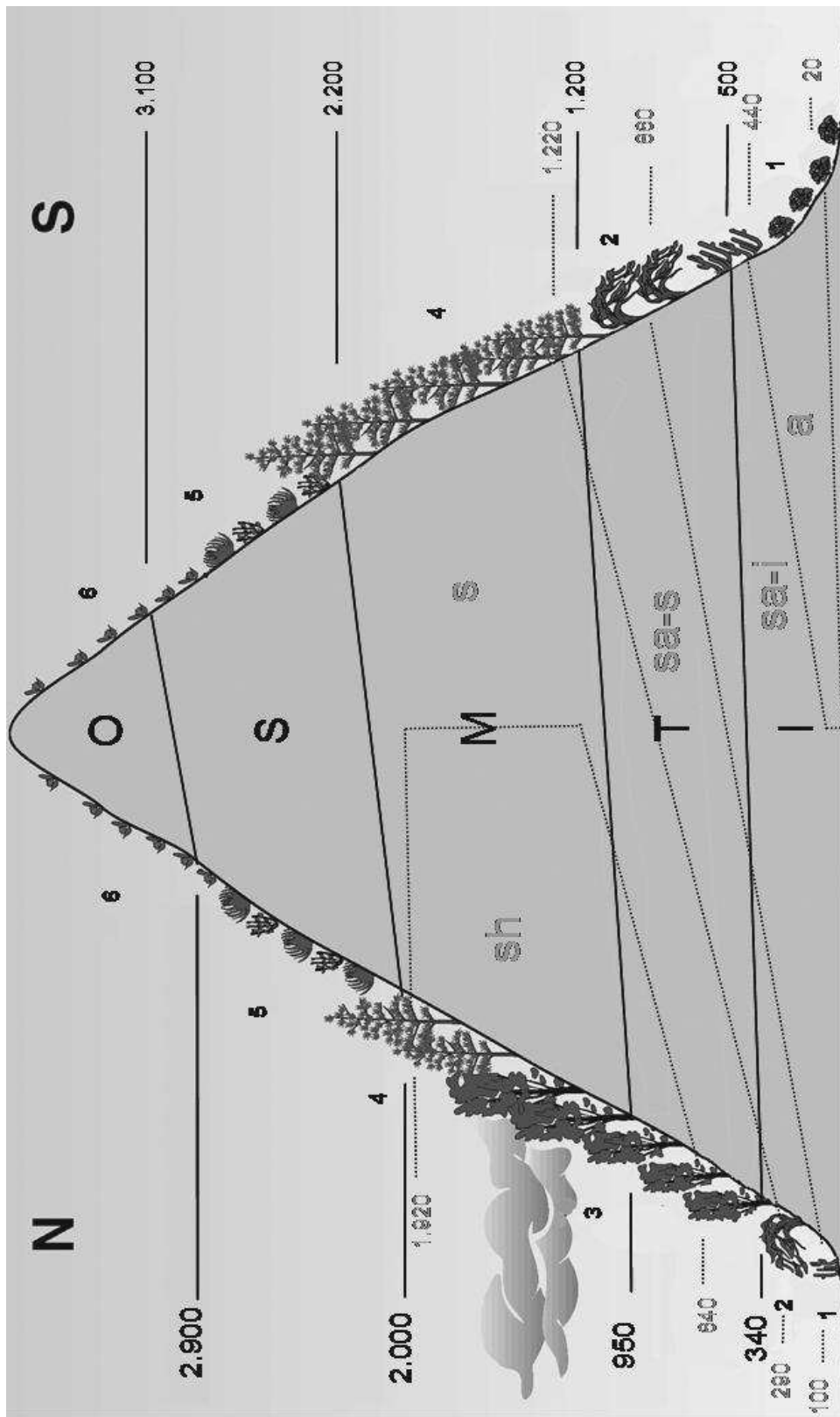
Temperatura positiva (Tp). Es el valor en décimas de grado de la suma de las temperaturas medias de los meses con temperatura media superior a 0°C. La temperatura positiva se utiliza también directamente para la determinación del termotipo cuando el valor de I_{tc} es inferior a 120 ó cuando el valor de I_c es superior a 21.

Termotipos y ombrotipos presentes en Canarias: Como hemos visto, los termotipos (Fig. 1), constituyen entidades territoriales caracterizadas por determinados valores e índices térmicos. De forma similar, los ombrotipos (Fig. 1) constituyen espacios del territorio caracterizados por un rango de precipitaciones o por determinados valores de índices en los que intervienen de forma significativa las precipitaciones. En las tablas 1 y 2 (incluidas en el Apéndice), se muestran los valores definitorios de los termotipos y ombrotipos mediterráneos con representación en Canarias.

Mapas bioclimáticos: La confección de mapas bioclimáticos conlleva la colecta de datos de las estaciones meteorológicas existentes en el territorio. En función de los índices obtenidos a partir de sus datos, y de los valores umbrales de los índices para la delimitación de los termotipos y ombrotipos, se obtienen las cotas altitudinales que permiten trazar las isolíneas que los delimitan. La superposición de los mapas de termotipos y ombrotipos, así como en Canarias, la consideración del área de influencia más frecuente de nieblas del alisio, nos proporcionan los espacios del territorio propios de los diferentes pisos bioclimáticos (ver figuras 1 y 2).

Pisos bioclimáticos reconocidos en Canarias: Hasta ahora se han reconocido 32 pisos bioclimáticos para Canarias, aunque en realidad algunos son subpisos o combinaciones bioclimáticas de importancia para la vegetación (Tabla 3). Estos pisos se han establecido combinando los termotipos y ombrotipos presentes en el territorio y considerando también algún otro parámetro determinante del tipo de vegetación, particularmente la presencia o ausencia de nubes del alisio y el índice de continentalidad (Fig. 2, ejemplo en Tenerife).

Pisos bioclimáticos vs. series de vegetación: Como ya hemos visto, las series de vegetación constituyen conjuntos de comunidades vegetales asociadas por procesos dinámicos o de sucesión, que se suceden en un territorio teselar, es decir, en un territorio homogéneo en sus características ecológicas y que por ello tiene un único tipo de vegetación potencial. Cada unidad de vegetación que se sucede se conoce como etapa. Existe una etapa inicial, etapas intermedias y una etapa final. La etapa final de una serie es la comunidad cabeza de serie, y constituye el óptimo biológico estable de la vegetación.



Las series que se asientan en las situaciones edafotopográficas medias de un territorio y dependen directamente del clima (macroclima), constituyen las series climatófilas. Pero se puede distinguir también otro tipo de series, las edafófilas, dependientes en general de alguna particularidad del suelo. Así por ejemplo, en la típica catena valle - ladera - cresta, existe mayor acumulación de materiales finos y un superávit hídrico en el valle, y allí se desarrollan las series edafohigrófilas; en las crestas, existe mayor arrastre de materiales finos y un déficit hídrico, y se generan las denominadas series edafoxerófilas. Además, existen series especiales derivadas de particulares condiciones ecológicas.

Es posible establecer una relación recíproca entre los pisos bioclimáticos de un territorio y las series de vegetación climatófilas (también con ciertas series edafófilas) lo que nos faculta a predecir posibles cambios en la vegetación y probables pautas de su desplazamiento en función de los cambios climáticos esperados. También ello nos permite predecir posibles pautas de evolución y desplazamiento de las poblaciones de individuos componentes de estas comunidades, y por tanto de los elementos de la flora.

En la (Tabla 3) se muestra la correlación de pisos bioclimáticos y series de vegetación climatófilas de Canarias utilizando, por simplificación, una nominación general fisionómico-florística para ellas.

Cartografía de la vegetación y cartografía corológica-taxonomica

Como ya mencionamos antes, en la actualidad contamos con una cartografía digital de la vegetación a escala 1:20.000, que nos permite hacer un seguimiento de los posibles cambios que se produzcan en el futuro. También disponemos de la cartografía corológica taxonómica, es decir, la de distribución de las plantas. Ésta proporciona abundante información acerca de la distribución de nuestras plantas y constituye una herramienta valiosa en el análisis del cambio. La información abarca a todo el archipiélago aunque realizada a una escala menor; o está restringida a algunas islas o sectores insulares con una mayor escala, resultado de diversos proyectos o tesis (Barquín & Voggenreiter, 1987, 1988; Esquivel *et al.*, 2005; Naranjo *et al.*, 2004).

Fig. 1. Catena altitudinal de la vegetación potencial de Tenerife con termotipos y ombrotipos asociados (pisos bioclimáticos). Termotipos: I: inframediterráneo; T: termomediterráneo; M: mesomediterráneo; S: supramediterráneo; O: oromediterráneo. Ombrotipos: a: árido; sa-i: semiárido inferior; sa-s: semiárido superior; s: seco; sh: subhúmedo. 1: tabaibales y cardonales; 2: bosques termoesclerófilos (sabinares, almacigales y acebuchales); 3: monteverde; 4: pinar; 5: retamar de cumbre; 6: comunidad de violeta del Teide.

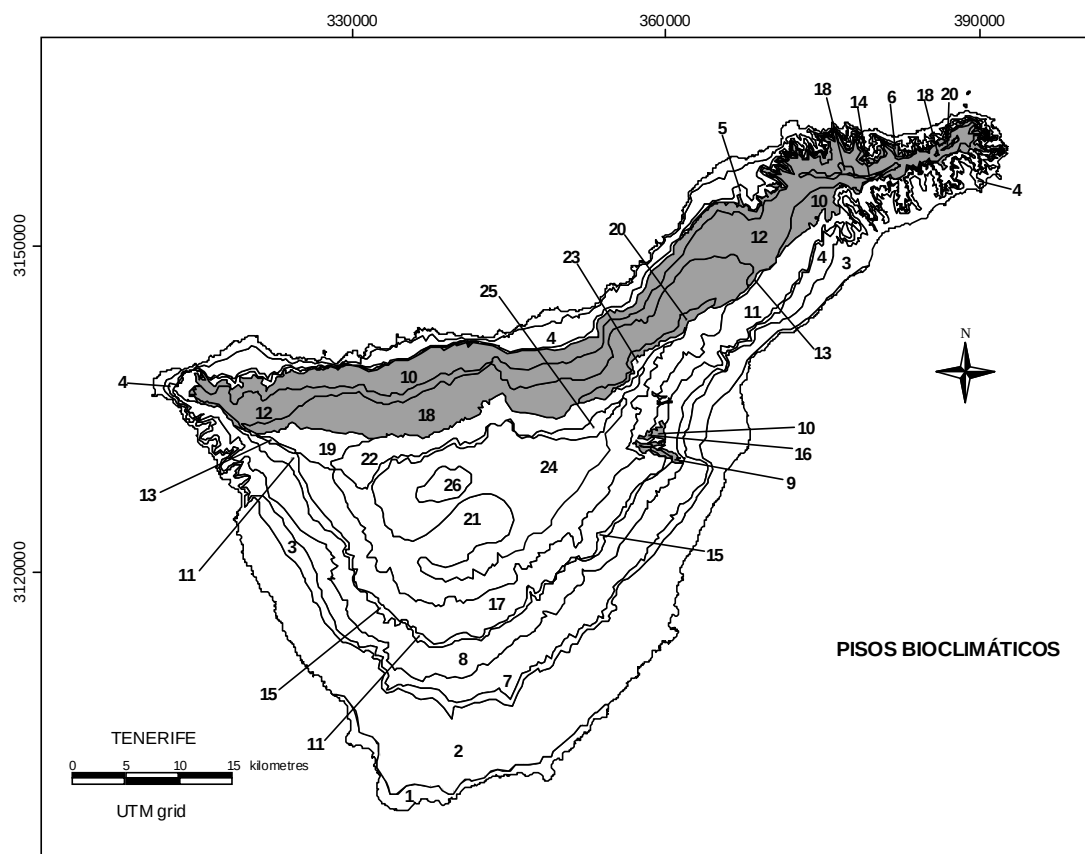


Fig. 2. Pisos bioclimáticos de Tenerife. 1. Inframediterráneo hiperárido; 2. Inframediterráneo árido; 3. Inframediterráneo semiárido inferior; 4. Inframediterráneo semiárido superior; 5. Inframediterráneo seco (-); 6. Inframediterráneo seco (+); 7. Termomediterráneo semiárido inferior; 8. Termomediterráneo semiárido superior (-); 9. Termomediterráneo semiárido superior (+); 10. Termomediterráneo seco (+); 11. Termomediterráneo seco inferior (-); 12. Termomediterráneo subhúmedo (+); 13. Termomediterráneo seco superior (-); 14. Termomediterráneo húmedo (+); 15. Mesomediterráneo inferior semiárido superior (-); 16. Mesomediterráneo inferior seco (+); 17. Mesomediterráneo inferior subhúmedo (-); 18. Mesomediterráneo inferior subhúmedo (+); 19. Mesomediterráneo inferior subhúmedo (-); 20. Mesomediterráneo inferior húmedo (+); 21. Mesomediterráneo superior seco (-); 22. Mesomediterráneo superior subhúmedo (-); 23. Mesomediterráneo superior húmedo (-); 24. Supramediterráneo seco; 25. Supramediterráneo subhúmedo; 26. Oromediterráneo seco. (+): con nieblas del alisio; (-): sin nieblas del alisio. [7] (Figura: Del Arco et al., 2006)

Datos de partida

Utilizaremos como datos de partida para el análisis de la variación climática y de los pisos de vegetación los datos del Proyecto ECCE (Proyecciones de PROMES). El Proyecto ECCE (Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático) (Moreno, 2005) desarrolló, en base a las proyecciones de variación del clima del modelo PROMES (Gallardo *et al.*, 2001), hipótesis acerca de los posibles cambios derivados de la modificación de ciertas variables climáticas en dos

escenarios diferentes denominados A2 y B2 para 2070-2100, en relación con sus valores en el periodo 1960-1990.

Si se analiza la variación térmica desde mediados de la década de los 70 del siglo XX, puede concluirse que se ha producido un incremento bastante general de la temperatura, el cual resulta más evidente durante el invierno. En lo que se refiere a la precipitación, su complejo reparto espacial y su variabilidad temporal no permiten predecir una tendencia general definida, aunque los resultados apuntan hacia una tendencia a su disminución en el S de la Península Ibérica y en Canarias en la segunda mitad del siglo XX (De Castro, 2005).

La tendencia del clima futuro, obtenida a partir de modelos globales, es incierta, pues depende de la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y de aerosoles azufrados. Para su estudio se han establecidos diversos escenarios en función de la evolución de la población, de las actividades socio-económicas y del progreso tecnológico en el siglo XXI. Los escenarios A2 y B2 que aquí se consideran, responden a características socioeconómicas similares a las actuales.

El escenario A2 es “peor” en términos de cambio climático. En A2 la concentración global de CO₂ llegaría en el año 2100 a 850 ppm, un 120 % más que la actual, mientras que en B2 llegaría a 760 ppm, aproximadamente el doble que la actual. Con el fin de ampliar la resolución espacial que ofrecen los modelos globales, se han considerado para estos escenarios los resultados obtenidos a partir de un modelo regional de clima, con una resolución de 50x50 Km², anidado en un modelo global (De Castro, 2005). A pesar de esta ampliación, resulta evidente que la imprecisión de los resultados se magnifica en Canarias debido a la escasa resolución que representa esta cuadrícula y a la participación de superficie terrestre y oceánica en las mismas. A pesar de ello, hemos considerado estos datos asumiendo los errores que se pueden derivar.

En la Fig. 3 se indican las cuadrículas consideradas para Canarias. Las islas de La Palma y El Hierro no están incluidas en el ámbito geográfico del modelo y La Gomera entra parcialmente en la cuadrícula 11-17. Para la obtención de datos climáticos sólo se han tenido en cuenta los valores de las cuadrículas que contienen superficie terrestre. Debe tenerse en cuenta que la proyección del cambio climático se hace para la totalidad del área de la cuadrícula. El cambio es mucho más moderado en la superficie oceánica que en la terrestre, por lo que en las cuadrículas con mucha superficie marítima no se garantiza una buena previsión de lo que puede suceder en la superficie terrestre correspondiente. En el archipiélago canario, sólo la cuadrícula 13-16 contiene más superficie terrestre que marítima. El ascenso de la temperatura puede considerarse que se producirá de una forma más o menos lineal (homogénea) en altitud. El cambio en las precipitaciones es más complejo, puesto que representa un promedio para la superficie total de

la cuadrícula que puede repartirse de maneras muy diferentes dependiendo de la variación del montante de precipitaciones dentro de la cuadrícula.

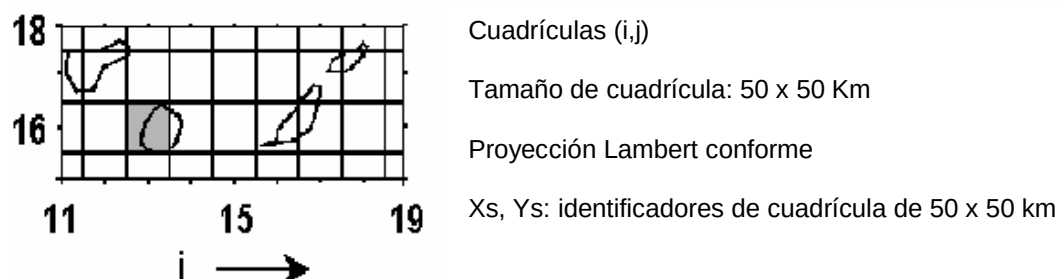


Fig. 3. Cuadrículas consideradas.

Los escenarios, variables climáticas y periodos de tiempo se han codificado de la manera siguiente:

A2, B2: escenarios contemplados en PROMES.

P, Mx, Mn, T: proyección de cambio para 2070-2100, con respecto a los valores actuales (1960-1990), de la precipitación (**P**) (valores en mm), de la temperatura media de las máximas (**Mx**), de la temperatura media de las mínimas (**Mn**) y de la temperatura media (**T**) (valores en °C).

01-12: dígitos del mes (**01:** enero, ..., **12:** diciembre).

Tp: proyección de cambio de la temperatura positiva anual (**Tp**).

Así, por ejemplo, **B2Mx08** indica para el escenario B2 el cambio de la temperatura media de las máximas (**Mx**) en agosto (**08**).

Valoración de los datos para el Archipiélago Canario

En la Tabla 4 están recogidas las previsiones de variación de **T**, **Mx**, **Mn** y **P** para cada uno de los escenarios **A2** y **B2**. Las filas de las tablas se han ordenado por islas, anotándose el valor medio de la variación mensual y anual obtenido a partir de los valores consignados para las cuadrículas que les corresponden.

Para cada uno de los escenarios A2 y B2, en la Tabla 5 se muestran las variaciones límites observadas para el Archipiélago [siglas de las islas entre paréntesis: T (Tenerife), C (Gran Canaria), F (Fuerteventura), L (Lanzarote)].

En ambos supuestos, en lo que respecta a temperaturas, se observa un mayor ascenso de las temperaturas (**T**, **Mx** y **Mn**) en las islas más occidentales estudiadas, Tenerife y Gran Canaria, aunque mayor en Gran

Canaria probablemente debido a su menor latitud. Las máximas variaciones térmicas se observan en la cuadrícula 13-16 (Fig. 3) que tiene una mayor proporción de tierra y ello puede ser la causa de que aparezcan estas cifras límites en Gran Canaria, aunque podría considerarse que estos datos altos se compensan con los valores bajos que muestra la cuadrícula 14-16, mayoritariamente oceánica, con la que se ha promediado (por abreviar, los datos de las cuadrículas no se han consignado en la tabla).

Este ascenso de las temperaturas provocaría un calentamiento más evidente en las islas occidentales que fueron estudiadas, lo que provocaría una aridización mayor de ellas en relación a las orientales que ya muestran actualmente un alto grado de aridez.

En lo que respecta a las lluvias, el comportamiento es más o menos similar en ambos supuestos, aunque la reducción de la cuantía afecta más en el escenario A2. Los descensos se muestran más o menos uniformes en todo el archipiélago en una cuantía media que oscila entre -5,8 y -8,5 mm de precipitación en el supuesto B2 y entre -11,5 mm y -17,55 mm en el supuesto A2, alcanzándose de nuevo los máximos de disminución por cuadrícula en la cuadrícula 13-16, con -11,7 mm para B2 y -25,5 mm para A2.

En relación a la distribución estacional de las precipitaciones, se observa un ligero aumento de las lluvias otoñales (oct., nov. y dic.), ligera disminución de las invernales, un ligero aumento en marzo (B2) o abril (A2) y la disminución máxima en el mes de julio.

Dado que el ascenso de temperatura se puede considerar lineal, es decir homogéneo, independientemente de la altitud, se han utilizado los valores de PROMES para evaluar la evolución del **I_{tc}** (índice de termicidad compensado) y de **T_p** (temperatura positiva) en diferentes estaciones (Tablas 6 y 7), más o menos escalonadas en altitud, en cada una de las islas consideradas. Ello nos permite estimar la variación en los límites altitudinales de los termotipos y, de acuerdo con el conocimiento actual del patrón de distribución altitudinal de las series climatofila y de su comportamiento bioclimático, determinar cuales podrían ser los desplazamientos que se provocarían en la vegetación.

De igual forma, pero asumiendo el error que conlleva la irregular distribución de las precipitaciones, en base a los valores de **T_p** (temperatura positiva) y de **P_p** (precipitación positiva), hemos considerado la variación pluviométrica de forma regular para calcular los valores del **I_o** (índice ombrotérmico) que se incluyen en la tabla 6. Estos valores de **I_o**, permiten evaluar los posibles cambios de ombrotipos y su distribución espacial, lo que conjuntamente con la valoración de la variación de **T_p**, permite pronosticar los cambios en la vegetación.

Asumiendo como valores umbrales de **I_{tc}**, **T_p** e **I_o** para los termotipos y ombrotipos mediterráneos los expuestos en las Tablas 1 y 2 y teniendo en

cuenta los incrementos estimados de **I_{tc}**, **T_p** e **I_o** tal como se presentan en las tablas 6 y 7, podemos considerar los desplazamientos en los termotipos y ombrotipos que se exponen a continuación.

Desplazamientos en los termotipos

En las tablas 7 y 8 (ver también fig. 4) se muestran los datos relativos a los desplazamientos previstos para los termotipos.

Supuesto B2.

Para este supuesto, las unidades de incremento del **I_{tc}** son las siguientes: (52,2 para Tenerife, 57,8 para Gran Canaria, 48,7 para Fuerteventura, y 47,7 para Lanzarote), (ΔT_p en cumbre de Tenerife = 205,2).

Se produce un incremento en altura del piso Inframediterráneo, debido a que absorbe casi en su totalidad al piso Termomediterráneo inferior (aproximadamente el 75% en Tenerife, Fuerteventura y Lanzarote; y aproximadamente el 90% en Gran Canaria). El piso Termomediterráneo actual, aunque pierde su tramo inferior, se enriquece en altitud por la incorporación de aproximadamente el 70% del actual horizonte inferior del piso Mesomediterráneo, piso que a su vez gana en altitud aproximadamente también un 70% del actual piso Supramediterráneo. Por último, el menguado piso Supramediterráneo, crece en altitud a expensas de un 45% del actual Oromediterráneo. Teniendo en cuenta las configuraciones insulares a modo de montañas cónico-piramidales, los desplazamientos, suponen mayor merma de superficie para los termotipos situados más altos. De acuerdo con los datos obtenidos, el mayor desplazamiento de pisos se produce en Gran Canaria.

Supuesto A2.

Para este supuesto las unidades de incremento del **I_{tc}** son las siguientes: (80 para Tenerife, 86,6 para Gran Canaria, 73,9 para Fuerteventura, y 72,5 para Lanzarote). (ΔT_p en cumbre de Tenerife = 316,8).

El cambio es más drástico. Todo el piso Termomediterráneo inferior y la mitad del superior se incorpora al piso Inframediterráneo. Todo el piso Mesomediterráneo inferior pasa a Termomediterráneo, e incluso hasta una parte de su horizonte superior (20% en Gran Canaria, 15% en Tenerife). Entre el 56% y 65% del piso Supramediterráneo pasa a Mesomediterráneo, y entre el 60% y 70% del piso Oromediterráneo pasa a Supramediterráneo.

En este escenario, los termotipos más cálidos ganan extensión en una mayor cuantía que en el supuesto B2. En líneas generales puede afirmarse que en B2 se produce un corrimiento de los termotipos de un horizonte y en A2 de horizonte y medio. La tabla 7 y la fig. 4, documentan, a modo de ejemplo, las variaciones altitudinales en Tenerife.

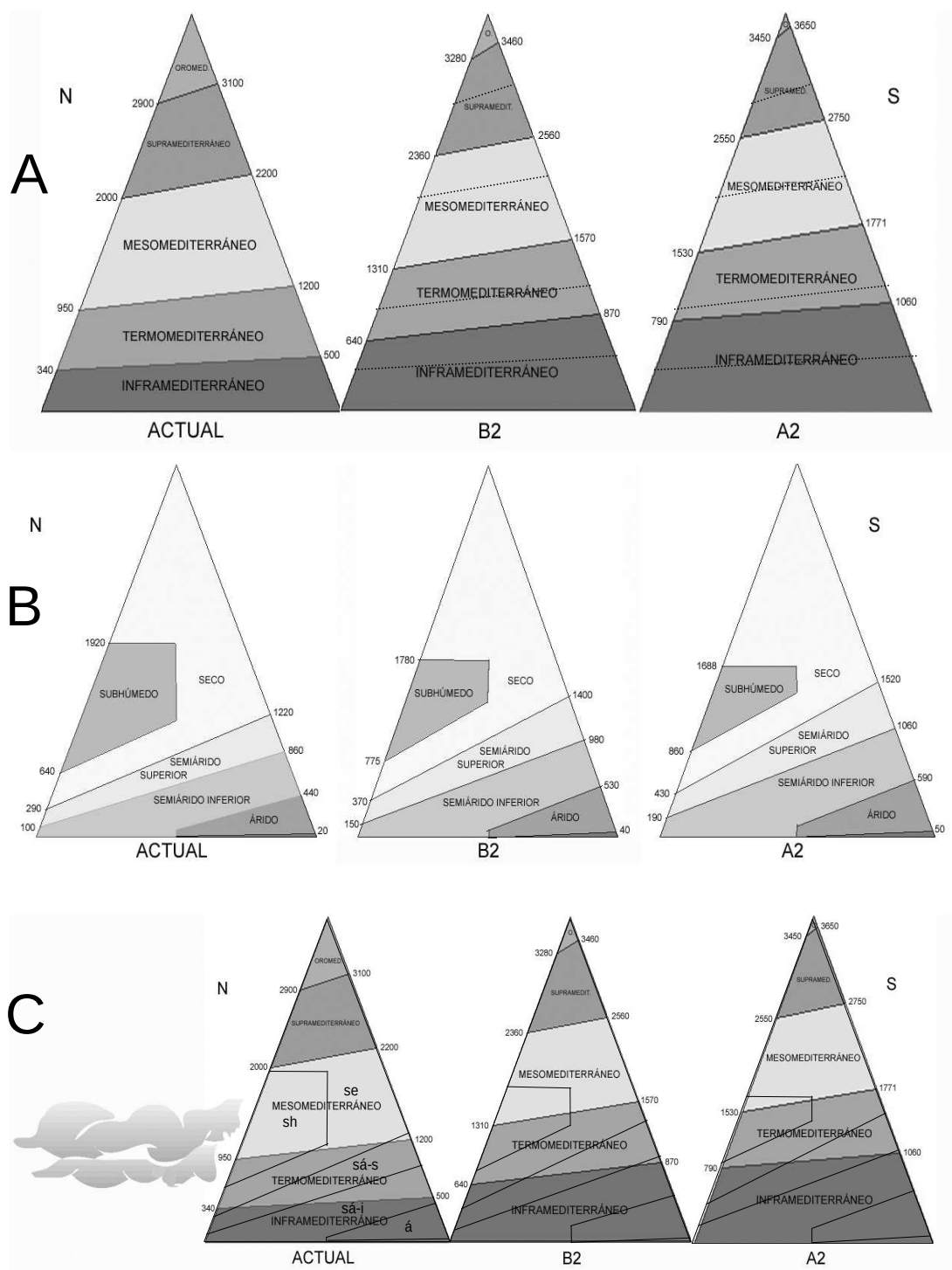


Fig. 4. Variación altitudinal de los termotipos (A), ombrotipos (B) y pisos bioclimáticos (C) para cada uno de los escenarios B2 y A2, en relación con su disposición actual. En A se ha transcrito para los escenarios B2 y A2, con líneas punteadas, la altitud actual de los termotipos.

Variación de los ombrotipos

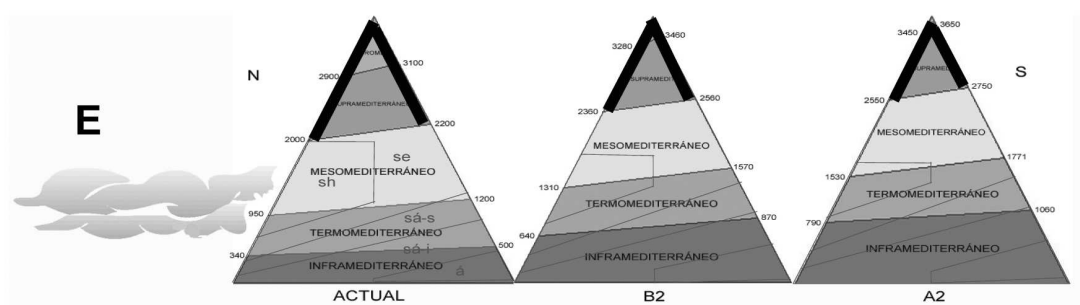
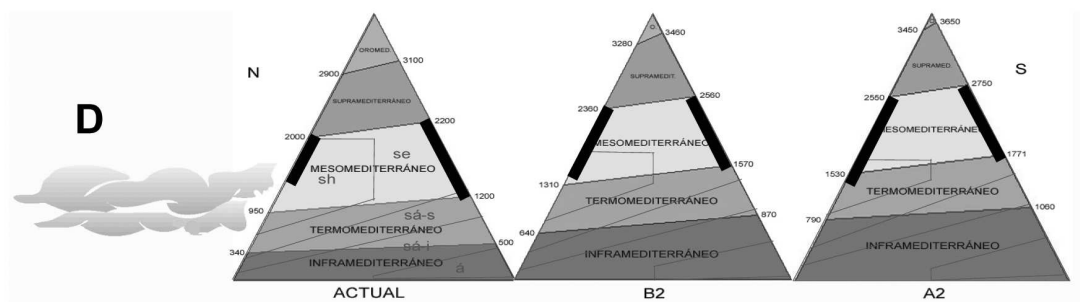
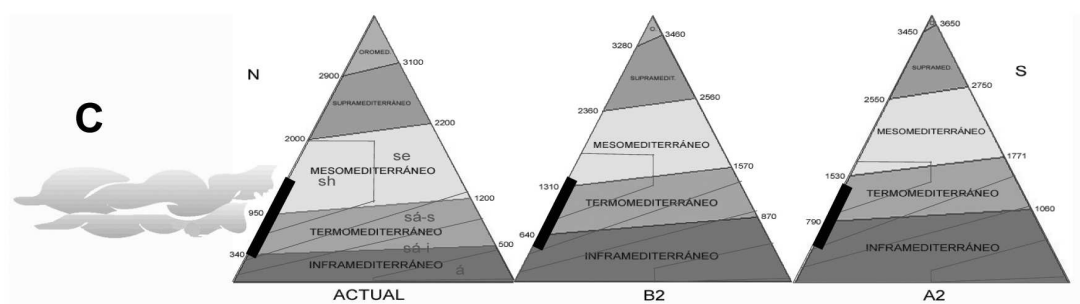
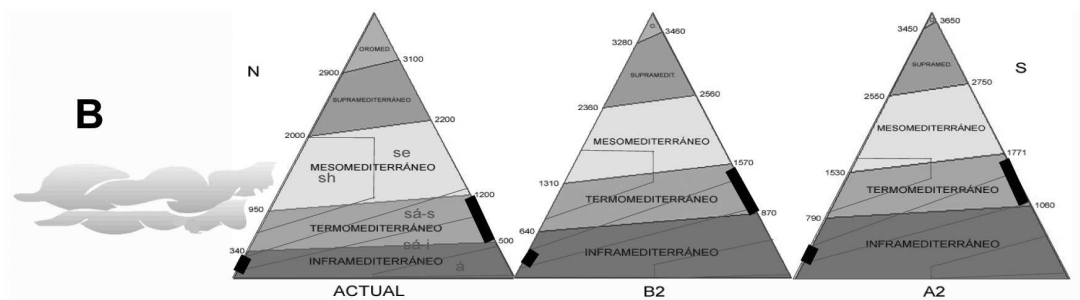
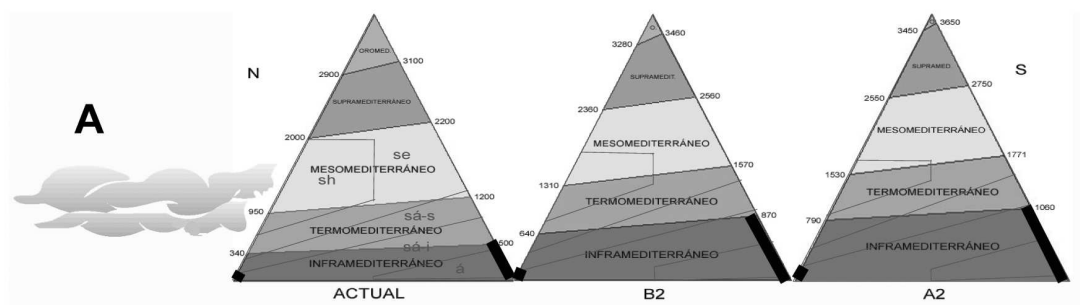
En las tablas 6 y 9 (ver también Fig. 4) se muestran los datos relativos a las variaciones previstas para los ombrotipos.

Los datos de la tabla 6 nos pueden dar una idea de cual podría ser la evolución del índice ombrotérmico (**Io**), y por tanto, de los ombrotipos a diferentes niveles altitudinales en las islas consideradas. Los valores actuales de Io, Tp, Pp necesarios para el establecimiento de las comparaciones han sido tomados de Del Arco *et al.* (2002, 2006), Reyes-Betancort (2001) y Rodríguez-Delgado (2005). Como consecuencia de la disminución de las precipitaciones y del aumento de las temperaturas se produce una disminución del Io, creciente con la altitud. Para el escenario B2, la variación del Io oscila entre un mínimo de -0,06 (en la zona inferior inframediterránea árida de Lanzarote, a 13 m s.m.; Fuerteventura a 29 m s.m. y Tenerife a 25 y 64 m s.m.), y un máximo de -0,65 (en la parte alta supramediterránea subúmeda de Tenerife en Izaña a 2371 m s.m.). Para el escenario A2 la variación respectiva observada es desde -0,08 en Lanzarote (13 m s.m.) hasta -0,95 en Tenerife (2371 m s.m.). Estos valores determinan un ligero desplazamiento altitudinal de los ombrotipos actuales, que se aridizan, y que al igual que ocurría en los termotipos como consecuencia de la configuración insular, provocan una merma espacial de los ombrotipos que se presentan a mayor altitud. Lógicamente, los cambios que se estiman para el escenario A2, son más acusados que para B2. Las variaciones altitudinales estimadas para Tenerife se muestran en la tabla 9 (ver también fig. 4).

Nieblas del alisio

No se ha considerado hasta el momento lo que ocurriría en el Norte de las islas, en la zona de influencia directa de las nieblas del alisio. Parece lógico pensar que un calentamiento general provocaría un desplazamiento en la altitud en la que se produce el punto de rocío determinante de la aparición de nubes de montaña, ya que el aire húmedo costero estaría más caliente y tendría que ascender más para condensarse. Sin embargo, también podría ejercer un papel compensador el hecho de que el aumento de la temperatura provocaría un mayor grado de saturación de agua en la atmósfera, con la consiguiente disminución de la altitud de condensación. El calentamiento general también podría provocar una disminución en la altura de la zona de inversión de los alisios, que se genera con el paso al estrato superior cálido de subsidencia.

Fig. 5. Posibles desplazamientos altitudinales de las principales comunidades potenciales canarias (ejemplo para Tenerife), representadas en trazo grueso. A: tabaibales y cardonales; B: bosques termoesclerófilos (sabinares, almacigales y acebuchales); C: monteverde; D: pinar; E: retamar de cumbre y comunidad de violeta del Teide



Como consecuencia del estudio de datos de temperatura y humedad relativa durante la estación seca (junio, julio y agosto), de una serie de estaciones meteorológicas en Tenerife realizado por Sperling *et al.* (2004), se ha comprobado que durante los últimos 30 años se ha producido un incremento de la humedad relativa y un ligero descenso del rango de variación de la temperatura “diurna” por debajo de la zona de inversión, lo que indica una tendencia futura hacia un aumento de la incidencia de nieblas a baja altitud. También se ha observado una tendencia a mayor sequedad en la capa del alisio superior del NW, lo que podría correlacionarse con un futuro incremento de la subsidencia que conllevaría un descenso del techo superior de las nubes.

La conclusión del “aumento durante el verano de la incidencia de nieblas a baja altitud” habría que reconsiderarla, puesto que, desde un punto de vista sinóptico, parece existir una tendencia de desplazamiento hacia el Este del anticiclón de las Azores en verano, y consiguientemente, un debilitamiento de los alisios (Cuevas, 2006). Además, como se espera una elevación de la temperatura superficial del océano, todo ello significaría cambios importantes en el aporte de agua por las nubes a las islas y en la vegetación de laurisilva.

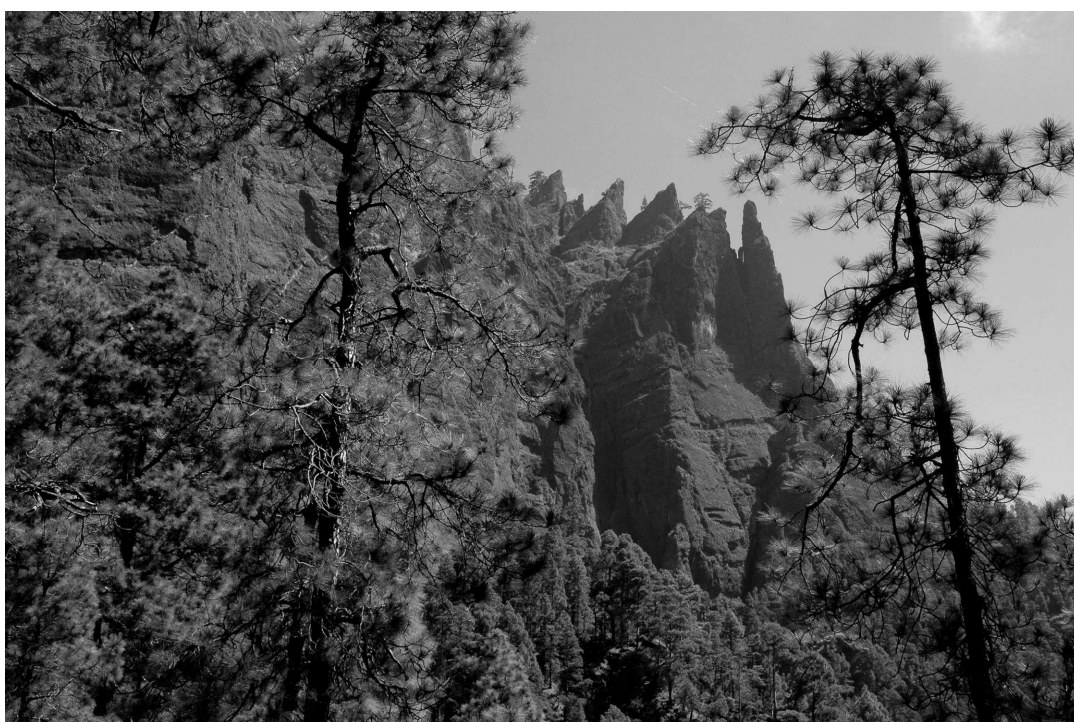
Consecuencias del cambio climático en la flora y la vegetación de las islas Canarias

Los cambios climáticos mencionados, apuntan a una aridización general del clima, que supondría desplazamientos de los termotipos y ombrotipos (Fig. 4) y determinaría cambios sustanciales en la distribución de la vegetación de las islas (Fig. 5). El espacio temporal señalado para estos cambios climáticos, no parece lo suficientemente amplio como para que pueda ser seguido por un desplazamiento paralelo de la vegetación climatófila de los diferentes pisos o de la otra vegetación potencial insular, o, lo que es lo mismo, de la flora que las determina, por lo que es previsible una pérdida de biodiversidad. La ocupación previa del territorio, las potencialidades evolutivas de las plantas y sus capacidades dispersivas, así como, los nuevos tipos de interacciones biológicas que se generen serán, entre otros factores los que irán determinando la dinámica del acoplamiento a la nueva situación. En todo caso, se verán favorecidas en este desplazamiento las plantas de esas comunidades con diásporas de dispersión rápida y los matorrales de sustitución mucho más agresivos que aquellas.

En general podríamos decir que se incrementaría de forma notable la superficie inframediterránea, a la que habría que detraer en su límite inferior una estrecha banda que sería afectada por el mar como consecuencia de la previsible elevación del océano; también se apunta una ligera variación



La progresiva aridez reducirá aún más la extensión de los sauzales de fondo de barranco. Sauzal en la Caldera de Taburiente.



El pinar muestra una gran resistencia y adaptabilidad a los cambios de precipitación y temperatura. El cambio climático amenaza con una mayor reiteración de incendios en ellos.



El abandono de la agricultura y el cese del pastoreo ha permitido el inicio de la lenta recuperación de algunos territorios de sabinar, como el que se muestra de Arico, Tenerife. Los pinos, también muestran aquí su avidez colonizadora.



Las plantas de escasa distribución natural ven más limitada sus posibilidades de supervivencia. Tal es el caso del endemismo tinerfeño conocido como picopaloma (*Lotus berthelotii*).

ombrotípica hacia la aridización. Ello favorecería algo la expansión potencial de los tabaibales dulces (comunidad de *Euphorbia balsamifera*) del inframediterráneo árido, pero sobre todo la de los cardonales (comunidad de *Euphorbia canariensis*) típicos del inframediterráneo semiárido inferior y sus proyecciones edafoxerófilas hacia los pisos superiores. Los matorrales de tabaiba amarga (*Euphorbia lamarckii*, *Euphorbia regis-jubae*, *Euphorbia berthelotii*), ahulaga (*Launaea arborescens*), salado (*Schizogyne sericea*) y vinagrera (*Rumex lunaria*), entre otros, propios de las etapas sustitutivas de tabaibales dulces y cardonales, podrían ser los principales protagonistas en la colonización de los nuevos territorios, por su mayor rapidez colonizadora. El cambio climático podría favorecer el desarrollo del herbazal de cerrillo y panasco (*Hyparrhenia sinaica* y *Cenchrus ciliaris*), pero también algunos invasores actualmente en expansión, como el rabogato (*Pennisetum setaceum*), verían potenciada su área. Evidentemente, estos posibles desplazamientos se verían constreñidos por la expansión urbana e industrial de las zonas bajas de las islas.

El territorio inframediterráneo semiárido superior del Norte se incrementaría ligeramente; la pérdida en el Sur del termomediterráneo semiárido inferior se compensaría con el mantenimiento del semiárido superior y con un incremento del termomediterráneo seco. Estos territorios son los potenciales del bosque termoesclerófilo, aunque parte del termomediterráneo seco es compartido con el pinar. Ello provocaría una ligera disminución del área potencial de este tipo de bosque: sabinar (comunidad de *Juniperus turbinata* subsp. *canariensis*), acebuchal (comunidad de *Olea cerasiformis*), almacigal (comunidad de *Pistacia atlántica*), lentiscal (comunidad de *Pistacia lentiscus*), con una exigua representación actual y con un potencial de recuperación muy reducido por deforestación y por la utilización de su territorio como urbano y agrícola.

El monteverde o laurisilva, típico de las áreas con nubes de las fachadas orientadas a los alisios del Nordeste, vería disminuida su área potencial como consecuencia de la supuesta disminución altitudinal del mar de nubes. Su posible desplazamiento a otras áreas se vería muy comprometido pues aunque resiste cierta sequía requiere de la presencia de nubes que, al menos durante la época estival más desfavorable en cuanto a precipitación, compensen el déficit hídrico al limitar la evapotranspiración. Si la disminución del mar de nubes se relaciona con la evolución térmica prevista, podría pronosticarse una reducción del monteverde o un reajuste del mismo, persistiendo preferentemente la laurisilva termófila (de lugares más cálidos y secos) y reduciéndose los tipos mesófilos (de lugares más frescos y húmedos) o quedando acantonados en las situaciones mesoclimáticas más favorables. De producirse el descenso del techo superior de las nieblas en verano y debilitamiento de la velocidad del alisio,



El cambio climático favorece la incidencia de eventos extraordinarios como el de la tormenta Delta que en 2005 azotó nuestras islas y produjo diversos daños como el desarraigo de estos pinos en La Palma.



El área potencial de tabaibales y cardonales podría ampliarse, pero la transformación urbana y rural del territorio los restringiría a los ambientes rupícolas apenas transformados.



Ciertas plantas invasoras de gran adaptabilidad a ambientes cálidos y secos como el rabo de gato (*Pennisetum setaceum*), verán favorecida su expansión.



Por su rapidez colonizadora, las comunidades de sustitución de la vegetación potencial, como este vinagreral-inciensal, tomarán la avanzadilla en los desplazamientos altitudinales que se produzcan, sobre territorios transformados, frente a algunas comunidades potenciales.

tal como se pronostica, también se vería afectada la actual laurisilva de cresterías húmedas en verano que podría reducirse o al menos verse sometida a un proceso de desplazamiento. En cotas superiores la disminución del techo del mar de nubes podría favorecer el descenso del pinar. A cotas inferiores, los principales matorrales de sustitución del monteverde, por su mayor capacidad dispersiva y colonizadora frente a las comunidades potenciales, serían los que tomarían la avanzadilla hacia los posibles lugares de desplazamiento, escasos si consideramos la situación urbana y rural actual. El matorral de granadillo y espinero (*Hypericum canariense* y *Rhamnus crenulata* respectivamente), en las cotas más bajas y el fayal brezal (matorral de *Myrica faya* y *Erica arborea* respectivamente) a mayor altitud, serían los más rápidos a la hora de colonizar.

Los territorios mesomediterráneos del Norte fuera de la influencia de las nubes del alisio y los correspondientes de la vertiente Sur de las islas, se reducirían, aunque aumentarían su cota altitudinal y en la vertiente norte incluso podrían descender por la posible disminución del techo del mar de nubes. La comunidad climatófila dominante, el pinar canario (comunidad de *Pinus canariensis*), tiene gran capacidad de colonización, por lo que podría expandirse con cierta facilidad en los territorios ganados. Incluso su persistencia en territorios bajos del Sur sería casi segura ante la falta de competencia con otros árboles de los bosques termoesclerófilos. El escobonal (comunidad de *Chamaecytisus proliferus* subsp. *angustifolius*) podría constituirse en avanzadilla sobre todo en terrenos pedregosos y solanas de los roquedos.

Por último, los territorios supramediterráneos y oromediterráneos de posible desarrollo del retamar (comunidad de *Spartocytisus supranubius*), quedarían reducidos, y a pesar de la posibilidad de su expansión altitudinal, la juventud geológica del territorio lo impediría en gran medida. Las comunidades glerícolas de la cima insular, no serían grandemente afectadas.

La vegetación rupícola, adaptada a la sequía y condiciones de estrés particulares de su hábitat, no parece especialmente afectada por este cambio climático, a excepción de las comunidades rupícolas propias de las áreas de nubes en el ámbito potencial del monteverde. Los grandes riscos que siguen la dirección de los barrancos radiales insulares, constituyen corredores que, de mediar tiempo suficiente, permitirán el desplazamiento de este tipo de vegetación, al igual que de otros tipos de vegetación no rupícola.

La vegetación hidrofítica, hoy en día en franco retroceso en las islas por el aprovechamiento del agua, incrementaría su retroceso como consecuencia de la disminución de los aportes. Así, los sauzales (comunidad de *Salix canariensis*) o los palmerales (comunidad de *Phoenix canariensis*) se verían seriamente afectados.

La vegetación costera de dunas, playas, acantilados y saladares, sufrirían grandes cambios como consecuencia de la previsible elevación del



La laurisilva podría ver mermada su área de distribución como consecuencia de una menor incidencia de nieblas en las vertientes de barlovento, provocada por la tendencia observada de un desplazamiento hacia el Este del anticiclón de las Azores durante el verano.



Los territorios cumbreños de óptimo desarrollo del retamar (comunidad de *Spartocytisus supranubius*) reducirán su área. Su posible expansión altitudinal se ve comprometida por la juventud geológica del territorio.

nivel del mar, que provocaría una remodelación profunda de la configuración de la costa. En Canarias se constata en la actualidad una elevación del mar de 0,77 cm por año (Cuevas, 2006). También, la evolución de la vegetación costera estaría estrechamente condicionada al grado de ocupación de la costa, que en la actualidad está ampliamente transformada, principalmente por el desarrollo urbano, particularmente turístico.

Referencias

- BARQUÍN, E. & V. VOGGENREITER (1987). *Prodromus del Atlas Fitocorológico de las Canarias Occidentales*, Vol. 1: Especies autóctonas y de interés especial. Bonn. 634 pp.
- BARQUÍN, E. & V. VOGGENREITER (1988). *Prodromus del Atlas Fitocorológico de las Canarias Occidentales (Hierro, La Palma, Gomera, Tenerife, Gran Canaria)*. Bonn-La Laguna.
- BOC (2007). *Boletín Oficial de Canarias* 2007/145, 19/07/2007, y 2007/154, 1/08/2007.
- CAUJAPÉ, J. (Traduc.) (2006). *La declaración de Gran Canaria II sobre el cambio climático y la conservación vegetal*. Área de Medio Ambiente y Aguas del Cabildo de Gran Canaria y Botanic Gardens Conservation Internacional. Gran Canaria. 7 pp.
- CUEVAS, E. (2006). Evolución futura del clima canario. En: *El Cambio Climático en Canarias*. Ciclo de conferencias organizado por la Academia Canaria de Ciencias.
<http://webpages.ull.es/users/acanacie/Academia.htm>
- DE CASTRO, M., J. MARTÍN-VIDE & S. ALONSO (2005). El clima en España: pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI. In: Moreno Rodríguez, J.M. (Coordinador). *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. Proyecto ECCE (Informe final)*. Ministerio de Medio Ambiente: 1-64.
- DEL ARCO, M., J.R. ACEBES & P.L. PÉREZ-DE-PAZ (1996). Bioclimatology and climatophilous vegetation of the Island of Hierro. *Phytocoenologia* 26(4): 445-479.
- DEL ARCO, M., J.R. ACEBES, P.L. PÉREZ-DE-PAZ & M.C. MARRERO (1999). Bioclimatology and climatophilous vegetation of Hierro (part 2) and La Palma (Canary Islands), *Phytocoenologia* 29(2): 253-290.
- DEL ARCO, M., M. SALAS, J.R. ACEBES, M.C. MARRERO, J.A. REYES-BETANCORT & P.L. PÉREZ DE PAZ (2002). Bioclimatology and climatophilous vegetation of Gran Canaria (Canary Islands). *Annales Botanici Fennici* 39: 15-41.

- DEL ARCO, M., O. RODRÍGUEZ-DELGADO, J.R. ACEBES, A. GARCÍA-GALLO, P.L. PÉREZ DE PAZ, J.M. GONZÁLEZ-MANCEBO, R. GONZÁLEZ-GONZÁLEZ & V. GARZÓN (2008). Bioclimatology and climatophilous vegetation of Gomera (Canary Islands). *Annales Botanici Fennici* (en prensa).
- DEL ARCO, M., P.L. PÉREZ DE PAZ, J.R. ACEBES, J.M. GONZÁLEZ-MANCEBO, J.A. REYES-BETANCORT, J.A. BERMEJO, S. DE ARMAS & R. GONZÁLEZ-GONZÁLEZ (2006). Bioclimatology and climatophilous vegetation of Tenerife (Canary Islands). *Annales Botanici Fennici* 43(3): 167-192.
- DEL ARCO, M., W. WILDPRET, P.L. PÉREZ DE PAZ, O. RODRÍGUEZ, J.R. ACEBES, A. GARCÍA-GALLO, V.E. MARTÍN, J.A. REYES-BETANCORT, M. SALAS, J.A. BERMEJO, R. GONZÁLEZ, M.V. CABRERA & S. GARCÍA (2006). *Mapa de Vegetación de Canarias*. GRAFCAN. Santa Cruz de Tenerife. 550 pp + 7 mapas desplegables + CD.
- DEL ARCO, M. (2008). Consecuencias del cambio climático sobre la flora y vegetación canaria. In: MÉNDEZ PÉREZ, J.M. & M. VÁZQUEZ ABELEDO (Eds.). *El Cambio Climático en Canarias*. Academia Canaria de Ciencias. Serie Monografías N° 1: 79-100.
- ESQUIVEL, J.L., N. ZURITA, M.C. MARRERO, I. IZQUIERDO, M. ARECHAVALETA, S. FAJARDO, M.A. CABRERA, S. MARTÍN, A. VERA, M. NARANJO & C. VALDIVIA (2005). *El Banco de Datos de Biodiversidad de Canarias*. Gobierno de Canarias, 163 pp. (<http://www.gobiernodecanarias.org/medioambiente/biodiversidad/ceplam/bancodatos/bancodatos.html>).
- FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, F., J. LOIDI & J.C. MORENO (AUTORES); M. DEL ARCO, A. FERNÁNDEZ CANCIO, X. FONT, C. GALÁN, H. GARCÍA MOZO, R. GAVILÁN, A. PENAS, R. PÉREZ BADÍA, S. DEL RÍO, S. RIVAS-MARTÍNEZ, S. SARDINERO & L. VILLAR (Contribuyentes) (2005). Impactos sobre la biodiversidad vegetal. In: MORENO RODRÍGUEZ, J.M. (Coordinador), *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. Proyecto ECCE (Informe final)*. Ministerio de Medio Ambiente: 183-248.
- GALLARDO, C., A. ARRIBAS, J.A. PREGO, M.A. GAETNER & M. CASTRO (2001). Multi-year simulations with a high resolution regional climate model over the Iberian Peninsula. Current climate and 2xCO₂ scenario. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 127: 1659-1682.
- LOVEJOY, T.E. & L. HANNAH (Eds.) (2005). *Climate Change and Biodiversity*. Yale University Press. 418 pp.

- MÉNDEZ PÉREZ, J.M. & M. VÁZQUEZ ABELEDO (Eds.) (2008). *El Cambio Climático en Canarias*. Academia Canaria de Ciencias. Serie Monografías N° 1, 106 pp.
- MORENO RODRÍGUEZ, J.M. (Coord.) (2005). *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático, Proyecto ECCE*. Informe final, Ministerio de Medio Ambiente. 822 pp.
- NARANJO, J., B. NAVARRO, J. NAVARRO & D. BRAMWELL (2004). Atlas de la flora de Gran Canaria. *Bot. Macaronesica* 25:189-196.
- PONS, A. & P. QUEZEL (1985). The history of the flora and vegetation and past and present human disturbance in the Mediterranean region, In: Gómez Campo, C. (Ed.), *Plant conservation in the Mediterranean area*. Dr. W. Junk Publ. Dordrecht.: 25-43.
- QUEZEL, P. (1979). Analysis of the Flora of Mediterranean and Saharan Africa. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 65: 479 534.
- REYES-BETANCORT, J.A., W. WILDPRET & M.C. LEÓN-ARENCIBIA (2001). The vegetation of Lanzarote (Canary Islands). *Phytocoenologia* 31(2): 185-247.
- RIVAS-MARTÍNEZ, S. & S. RIVAS SÁENZ (2008). Centro de Investigaciones fitosociológicas, CIF. www.globalbioclimatics.org
- RIVAS-MARTÍNEZ, S. (1995). Clasificación bioclimática de la Tierra. *Folia Botanica Matritensis* 16: 1-29 (1995).
- RIVAS-MARTÍNEZ, S. (1997). Syntaxonomical synopsis of the North American natural potential vegetation communities I. *Itinera Geobotanica* 10: 5-148 (Bioclimatic classification system of the World: 10-11).
- RIVAS-MARTÍNEZ, S., W. WILDPRET, T.E. DÍAZ, P.L. PÉREZ-DE-PAZ, M. DEL ARCO & O. RODRÍGUEZ-DELGADO (1993). Excursion guide. Outline vegetation of Tenerife Island (Canary Islands). *Itinera Geobotanica* 7: 5-168.
- RODRÍGUEZ-DELGADO, O., A. GARCÍA-GALLO & M.V. MARRERO-GÓMEZ (2005). El bioclima y la biogeografía. In: Rodríguez-Delgado, O. (ed.), *Patrimonio Natural de la Isla de Fuerteventura*: 91-100. Cabildo de Fuerteventura. Gobierno de Canarias y Centro de la Cultura Popular Canaria. Arafo. Tenerife.
- SPERLING, F.N., R. WASHINGTON & R.J. WHITTAKER (2004). Future climate change of the subtropical North Atlantic: implications for the cloud forests of Tenerife. *Climatic Change* 65: 103-123 (2004).

Apéndice

Tabla 1. Termotipos mediterráneos reconocidos en Canarias.

Termotipos	Acrónimo	Valores climáticos		Horizonte	
(Rivas-Martínez 1997)		Itc	Tp*	Itc	
1. Inframediterráneo	Ime	580-450	> 2450	Inferior:	580-516
				Superior:	515-451
2. Termomediterráneo	Tme	450-350	2150-2450	Inferior:	450-401
				Superior:	400-351
3. Mesomediterráneo	Mme	350-210	1500-2150	Inferior:	350-281
				Superior:	280-211
4. Supramediterráneo	Sme	210-80	900-1500	Inferior:	210-146
				Superior:	145-80
5. Oromediterráneo	Ome	-	450-900		

* En los territorios latitudinalmente no tropicales, cuando $Ic \geq 21$ (continental), y cuando los valores de It o Itc < 120, el termotipo se calcula en función de Tp.

Tabla 2. Ombrotipos reconocidos en Canarias.

Ombrotipos (Rivas-Martínez 1997)*	Valores climáticos		
	Io	Horizonte	Io
1. Hiperárido	0,1-0,3	Inferior	0,1-0,2
		Superior	0,2-0,3
2. Árido	0,3-0,9	Inferior	0,3-0,6
		Superior	0,6-0,9
3. Semiárido	0,9-2,0	Inferior	0,9-1,45
		Superior	1,45-2,0
4. Seco	2,0-3,0	Inferior	2,0-2,5
		Superior	2,5-3,0
5. Subhúmedo	3,0-5,5	Inferior	3,0-4,25
		Superior	4,25-5,5
6. Húmedo	5,5-11,0	Inferior	5,5-8,25
		Superior	8,25-11

* Este mismo autor señala en 1999 nuevos valores para la definición de algunos ombrotipos: árido (0,3-1,0); semiárido (1,0-2,0); seco (2,0-3,6); subhúmedo (3,6-7,0); húmedo (7,0-14). En nuestros trabajos bioclimáticos para Canarias hemos utilizado los expresados en la tabla para favorecer la comparación de los estudios realizados en todas las islas y por el valor discriminatorio que proporcionan en el cambio de ciertos tipos de vegetación.

Tabla 3. Correspondencia entre pisos bioclimáticos y series de vegetación climatófilas en Canarias. * Para abreviar, se ha utilizado una denominación general fisionómico-florística para las series de vegetación.

Piso bioclimático	Serie climatófila*
1 Inframediterráneo hiperárido	Tabaibal dulce
2 Inframediterráneo árido	Tabaibal dulce
3 Inframediterráneo semiárido-inferior	Cardonal
4 Inframediterráneo semiárido-superior	Bosque termoesclerófilo (sabinar, acebuchal o almacigal)
5 Inframediterráneo seco (sin nieblas del alisio)	Bosque termoesclerófilo (sabinar, acebuchal o almacigal)
6 Inframediterráneo seco (con nieblas del alisio)	Monteverde seco
7 Inframediterráneo subhúmedo (con nieblas del alisio)	Monteverde húmedo
8 Termomediterráneo semiárido-inferior	Bosque termoesclerófilo (sabinar, acebuchal o almacigal)
9 Termomediterráneo semiárido-superior (sin nieblas del alisio)	Bosque termoesclerófilo (sabinar, acebuchal o almacigal)
10 Termomediterráneo semiárido-superior (con nieblas del alisio)	Monteverde seco
11 Termomediterráneo seco (con nieblas del alisio)	Monteverde seco
12 Termomediterráneo seco-inferior (sin nieblas del alisio)	Bosque termoesclerófilo (sabinar, acebuchal o almacigal)
13 Termomediterráneo seco-superior (sin nieblas del alisio)	Pinar
14 Termomediterráneo subhúmedo (con nieblas del alisio)	Monteverde húmedo
15 Termomediterráneo subhúmedo (sin nieblas del alisio)	Pinar
16 Termomediterráneo húmedo (con nieblas del alisio)	Monteverde húmedo
17 Termomediterráneo húmedo (sin nieblas del alisio)	Pinar
18 Mesomediterráneo semiárido-superior (sin nieblas del alisio)	Bosque termoesclerófilo (sabinar, acebuchal o almacigal)
19 Mesomediterráneo-inferior seco (con nieblas del alisio)	Monteverde seco
20 Mesomediterráneo-inferior seco (sin nieblas del alisio)	Pinar
21 Mesomediterráneo-inferior subhúmedo (con nieblas del alisio)	Monteverde húmedo
22 Mesomediterráneo-inferior subhúmedo (con nieblas del alisio; pero sin ellas en verano; $lc > 12$)	Fayal de altitud
23 Mesomediterráneo-inferior subhúmedo (sin nieblas del alisio)	Pinar
24 Mesomediterráneo-inferior húmedo (con nieblas del alisio)	Monteverde húmedo
25 Mesomediterráneo-inferior húmedo (sin nieblas del alisio)	Pinar (P, C)
26 Mesomediterráneo-superior seco (sin nieblas del alisio)	Pinar
27 Mesomediterráneo-superior subhúmedo (sin nieblas del alisio)	Pinar
28 Mesomediterráneo-superior húmedo (sin nieblas del alisio)	Pinar
29 Supramediterráneo seco	Retamar o retamar codesar de cumbre
30 Supramediterráneo subhúmedo	Retamar o retamar codesar de cumbre
31 Supramediterráneo húmedo	Retamar o retamar codesar de cumbre
32 Oromediterráneo seco	Retamar o retamar codesar de cumbre

Tabla 4. Previsiones de cambios de la temperatura media (T), temperatura media de las máximas (Mx), temperatura media de las mínimas (Mn) y precipitaciones (P) para los escenarios B2 y A2.

	B2T01	B2T02	B2T03	B2T04	B2T05	B2T06
Tenerife	1,65	1,76	1,48	1,55	2,01	1,95
Gran Canaria	1,79	1,98	1,38	1,52	2,33	2,18
Fuerteventura	1,57	1,65	1,34	1,42	1,99	1,83
Lanzarote	1,54	1,62	1,29	1,39	1,98	1,80
	A2T01	A2T02	A2T03	A2T04	A2T05	A2T06
Tenerife	2,63	2,68	2,64	2,41	2,93	2,86
Gran Canaria	2,75	2,97	2,87	2,34	3,17	2,91
Fuerteventura	2,40	2,50	2,46	2,23	2,81	2,56
Lanzarote	2,34	2,46	2,43	2,21	2,81	2,54
	B2Mx01	B2Mx02	B2Mx03	B2Mx04	B2Mx05	B2Mx06
Tenerife	1,65	1,75	1,47	1,53	1,99	1,94
Gran Canaria	1,86	2,07	1,30	1,51	2,54	2,37
Fuerteventura	1,56	1,62	1,34	1,40	1,99	1,80
Lanzarote	1,53	1,58	1,29	1,36	1,99	1,77
	A2Mx01	A2Mx02	A2Mx03	A2Mx04	A2Mx05	A2Mx06
Tenerife	2,62	2,70	2,64	2,37	2,91	2,84
Gran Canaria	2,81	3,21	3,07	2,30	3,38	3,07
Fuerteventura	2,36	2,49	2,48	2,18	2,78	2,51
Lanzarote	2,31	2,45	2,44	2,17	2,79	2,49
	B2Mn01	B2Mn02	B2Mn03	B2Mn04	B2Mn05	B2Mn06
Tenerife	1,64	1,76	1,48	1,57	2,03	1,96
Gran Canaria	1,73	1,90	1,45	1,54	2,11	1,99
Fuerteventura	1,58	1,69	1,33	1,45	1,99	1,86
Lanzarote	1,54	1,65	1,28	1,42	1,98	1,83
	A2Mn01	A2Mn02	A2Mn03	A2Mn04	A2Mn05	A2Mn06
Tenerife	2,63	2,66	2,63	2,44	2,96	2,87
Gran Canaria	2,69	2,74	2,67	2,38	2,97	2,74
Fuerteventura	2,43	2,52	2,44	2,27	2,83	2,60
Lanzarote	2,37	2,47	2,41	2,25	2,84	2,58
	B2P01	B2P02	B2P03	B2P04	B2P05	B2P06
Tenerife	-0,60	-5,30	2,60	-0,80	-2,00	-0,10
Gran Canaria	0,90	-2,55	0,30	-0,90	-2,10	-1,65
Fuerteventura	0,10	-2,40	1,20	-0,40	-2,20	-1,10
Lanzarote	-0,50	-2,70	0,90	-1,00	-2,30	-0,90
	A2P01	A2P02	A2P03	A2P04	A2P05	A2P06
Tenerife	-1,00	-5,20	-0,10	1,20	0,90	-0,70
Gran Canaria	-0,90	-3,60	-3,15	0,90	-0,45	-1,20
Fuerteventura	-1,20	-4,30	-1,80	0,10	-0,30	-0,80
Lanzarote	-2,00	-5,20	-2,30	-0,40	-0,40	-0,40

Tabla 4. Continuación.

	B2T07	B2T08	B2T09	B2T10	B2T11	B2T12	Δ Anual
Tenerife	2,12	1,79	1,59	1,52	1,50	1,66	1,72
Gran Canaria	2,52	1,86	1,52	1,40	1,48	1,80	1,81
Fuerteventura	1,94	1,48	1,34	1,30	1,32	1,54	1,56
Lanzarote	1,87	1,43	1,31	1,29	1,31	1,49	1,53
	A2T07	A2T08	A2T09	A2T10	A2T11	A2T12	
Tenerife	3,01	2,66	2,29	2,45	2,51	2,69	2,65
Gran Canaria	3,14	2,57	2,08	2,37	2,55	2,80	2,71
Fuerteventura	2,64	2,20	1,88	2,15	2,28	2,44	2,38
Lanzarote	2,55	2,10	1,79	2,12	2,22	2,38	2,33
	B2Mx07	B2Mx08	B2Mx09	B2Mx10	B2Mx11	B2Mx12	
Tenerife	2,11	1,78	1,58	1,50	1,48	1,66	1,70
Gran Canaria	2,86	2,04	1,55	1,33	1,44	1,82	1,89
Fuerteventura	1,93	1,46	1,31	1,29	1,33	1,52	1,55
Lanzarote	1,87	1,41	1,28	1,29	1,32	1,49	1,52
	A2Mx07	A2Mx08	A2Mx09	A2Mx10	A2Mx11	A2Mx12	
Tenerife	2,99	2,63	2,25	2,43	2,50	2,69	2,63
Gran Canaria	3,35	2,69	2,07	2,38	2,56	2,88	2,81
Fuerteventura	2,64	2,16	1,82	2,15	2,27	2,41	2,35
Lanzarote	2,55	2,05	1,74	2,12	2,23	2,35	2,31
	B2Mn07	B2Mn08	B2Mn09	B2Mn10	B2Mn11	B2Mn12	
Tenerife	2,12	1,79	1,59	1,54	1,52	1,65	1,72
Gran Canaria	2,18	1,68	1,49	1,48	1,52	1,78	1,74
Fuerteventura	1,94	1,49	1,37	1,30	1,32	1,55	1,57
Lanzarote	1,88	1,44	1,33	1,28	1,30	1,49	1,54
	A2Mn07	A2Mn08	A2Mn09	A2Mn10	A2Mn11	A2Mn12	
Tenerife	3,03	2,68	2,32	2,47	2,52	2,70	2,66
Gran Canaria	2,93	2,44	2,08	2,37	2,54	2,73	2,61
Fuerteventura	2,64	2,24	1,93	2,15	2,28	2,48	2,40
Lanzarote	2,56	2,14	1,84	2,11	2,22	2,41	2,35
	B2P07	B2P08	B2P09	B2P10	B2P11	B2P12	
Tenerife	-6,20	-1,20	-0,40	0,30	2,50	5,40	-5,80
Gran Canaria	-7,50	-2,55	-0,15	3,45	1,95	2,55	-8,25
Fuerteventura	-5,90	-1,20	-1,40	3,80	1,60	0,40	-7,50
Lanzarote	-5,10	-0,90	-1,70	3,90	0,70	1,10	-8,50
	A2P07	A2P08	A2P09	A2P10	A2P11	A2P12	
Tenerife	-4,40	-2,70	-2,70	-0,90	3,20	-0,90	-13,30
Gran Canaria	-4,50	-3,60	-3,60	0,75	3,30	-1,50	-17,55
Fuerteventura	-3,20	-2,40	-1,30	2,90	3,40	-3,30	-12,20
Lanzarote	-2,70	-1,90	-0,90	2,80	4,40	-2,50	-11,50

Tabla 5. Variaciones límite de temperatura media anual (T), temperatura media anual de las máximas (Mx), temperatura media anual de las mínimas (Mn) y precipitación media anual (P) estimadas para Canarias.

Variaciones límite			
Parámetro	Escenario	Valor (isla)	
T (°C)	B2	1,53 (L)	1,81 (C)
	A2	2,33 (L)	2,71 (C)
Mx (°C)	B2	1,52 (L)	1,89 (C)
	A2	2,31 (L)	2,81 (C)
Mn (°C)	B2	1,54 (L)	1,74 (C)
	A2	2,35 (L)	2,66 (T)
P (mm)	B2	-5,80 (T)	-8,50 (L)
	A2	-11,50 (L)	-17,55 (C)

Tabla 6. Variaciones de la temperatura positiva (Tp), del índice ombrotérmico (Io) y otros datos para su obtención, en algunas estaciones termopluviométricas de las islas consideradas.

Estación	Altitud	Escenario	Pp	Tp	Δ Pp	Δ Tp	Io	Δ Io
TENERIFE								
Puerto Cruz-Paz-Botánico	120 m	Actual	352,7	2.304			1,50	
		B2			-5,8	205,2	1,38	-0,12
		A2			-13,3	316,8	1,29	-0,20
Realejos. Icod Alto	2.198,16 ft	Actual	565,3	1.836			3,10	
		B2			-5,8	205,2	2,74	-0,36
		A2			-13,3	316,8	2,56	-0,54
Realejos. Piedra Pastores	1.610 m	Actual	562,4	1.392			4,00	
		B2			-5,8	205,2	3,48	-0,52
		A2			-13,3	316,8	3,21	-0,79
El Portillo	2.050 m	Actual	335,8	1.272			2,60	
		B2			-5,8	205,2	2,23	-0,37
		A2			-13,3	316,8	2,03	-0,57
Izaña	2.371 m	Actual	460,4	1.152			4,00	
		B2			-5,8	205,2	3,35	-0,65
		A2			-13,3	316,8	3,04	-0,95
Granadilla. Médano-Confital	25 m	Actual	73,4	2.328			0,32	
		B2			-5,8	205,2	0,26	-0,06
		A2			-13,3	316,8	0,23	-0,09
Granadilla	690 m	Actual	246,3	2.016			1,20	
		B2			-5,8	205,2	1,08	-0,12
		A2			-13,3	316,8	1,00	-0,20
Reina Sofía. Aeropuerto Tfe. Sur	64 m	Actual	114,1	2.556			0,45	
		B2			-5,8	205,2	0,39	-0,06
		A2			-13,3	316,8	0,35	-0,1
Vilaflor	1.378 m	Actual	401,6	1.800			2,23	
		B2			-5,8	205,2	1,97	-0,26
		A2			-13,3	316,8	1,83	-0,40

Tabla 6. Continuación.

Estación	Altitud	Escenario	Pp	Tp	Δ Pp	Δ Tp	lo	Δ lo
GRAN CANARIA								
Las Palmas	6 m	Actual	145,0	2.520			0,58	
		B2			-8,3	217,2	0,50	-0,08
		A2			-17,6	325,2	0,45	-0,13
Santa Brígida	390 m	Actual	391,5	2.304			1,70	
		B2			-8,3	217,2	1,52	-0,18
		A2			-17,6	325,2	1,42	-0,28
Tejeda. P.Pajonales	1.190 m	Actual	455,1	1.968			2,31	
		B2			-8,3	217,2	2,04	-0,27
		A2			-17,6	325,2	1,91	-0,40
FUERTEVENTURA								
Pto. Rosario-Aerop.	29 m	Actual	109,2	2.424			0,45	
		B2			-7,5	187,2	0,39	-0,06
		A2			-12,2	285,6	0,36	-0,09
Pto. Rosario-Los	228 m	Actual	159,4	2.268			0,70	
		B2			-7,5	187,2	0,62	-0,08
		A2			-12,2	285,6	0,58	-0,13
Betancuria	380 m	Actual	245,6	2.148			1,14	
		B2			-7,5	187,2	1,02	-0,12
		A2			-12,2	285,6	0,96	-0,18
LANZAROTE								
Yaiza	6/13 m	Actual	95,7	2.520			0,38	
		B2			-8,5	184,8	0,32	-0,06
		A2			-11,5	279,6	0,30	-0,08
Haría	335/390 m	Actual	210,5	2.160			0,97	
		B2			-8,5	184,8	0,86	-0,11
		A2			-11,5	279,6	0,82	-0,16

Tabla 7. Incrementos estimados de T, M, m, ltc, Tp y P.

		ΔT	ΔM	Δm	Δltc	ΔTp	ΔP
Tenerife	B2	1,71	1,75	1,76	52,20	205,20	-5,80
	A2	2,64	2,70	2,66	80,00	316,80	-13,30
Gran Canaria	B2	1,81	2,07	1,90	57,80	217,20	-8,25
	A2	2,71	3,21	2,74	86,60	325,20	-17,55
Fuerteventura	B2	1,56	1,62	1,69	48,70	187,20	-7,50
	A2	2,38	2,49	2,52	73,90	285,60	-12,20
Lanzarote	B2	1,54	1,58	1,65	47,70	184,80	-8,50
	A2	2,33	2,45	2,47	72,50	279,60	-11,50

Tabla 8. Altitud actual y estimada, para los escenarios B2 y A2 del límite superior altitudinal medio de los termotipos en Tenerife.

Termotipo	Limite superior		Límite superior altitudinal medio (m)					
			Actual		B2(Δl_{tc} : 52,2; ΔT_p : 205,2)		A2(Δl_{tc} : 80; ΔT_p : 316,8)	
	l_{tc}	T_p	N	S	N	S	N	S
Inframediterráneo	>450	-	340	500	637	865	790	1.060
Termomediterráneo	350	-	950	1.200	1.310	1.573	1.529	1.771
Mesomediterráneo	210	-	2.000	2.200	2.361	2.561	2.554	2.754
Supramediterráneo	80	815*	2.900	3.100	3.282	3.460	3.450	3.650
Oromediterráneo		450	3.580	>3.718	>3.718	>3.718	>3.718	>3.718

* Valor de T_p en el que se localiza el l_{tc} 80, según datos de las estaciones de referencia Realejos C.V. (2.050 m) y Cañadas-Pico Teide (3.530 m).

Tabla 9. Altitud actual y estimada, para los escenarios B2 y A2 del límite superior altitudinal medio de los ombrotipos en Tenerife.

Ombrotipo	Limite superior	Límite superior altitudinal medio (m)					
		Actual		B2*		A2*	
	l_o	N	S	N	S	N	S
Hiperárido	0,3	-	20		40		50
Árido	0,9	-	440		530		590
Semiárido inferior	1,45	100	860	150	980	190	1.060
Semiarido superior	2	290	1.220	370	1.400	430	1.520
Seco	3	640	-	775	-	860	-
Subhúmedo	5,5	1.920	-	1.780	-	1.688	-

* Δl_o considerado por tramos según los datos de las estaciones de referencia y las estimaciones para los escenarios B2 y A2 señalados en la Tabla 6.