

IMPACTO DE LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS SOBRE LOS BOSQUES Y ECOSISTEMAS TERRESTRES.

Zoltan I. Rivero Jaspe y Roger E. Rivero Vega

Centro Meteorológico de Camagüey
Carretera de Nuevitas, km 7 ½
Camagüey, Cuba, Apdo 160, CP 70100
Tfno.: (53-32) 261103, 261284
Email (Autor principal): zoltan@met.cmw.inf.cu

1. Introducción.

La evaluación del impacto de los cambios climáticos sobre los ecosistemas terrestres dista mucho aún de haber sido resuelta. Las causas provienen tanto de la diversidad, complejidad estructural y funcional de los ecosistemas como de que aunque el clima es un factor externo fundamental para los ecosistemas no es el único y actúa en una variedad de escalas espacio temporales. Los cambios funcionales ocurren primero mientras que los cambios estructurales transcurren en períodos más largos y pueden modificar la función del ecosistema.

Los cambios climáticos previstos son de tal magnitud y se alcanzarán en un plazo tan breve que los ecosistemas no podrán migrar a tiempo hacia regiones con condiciones más favorables, produciéndose altos niveles de mortalidad en sus componentes individuales. Los plazos de tiempo pueden ser muy breves para el desarrollo de procesos de carácter evolutivo "in situ". La migración y adaptación se vería dificultada no sólo por las barreras naturales sino por barreras introducidas por el hombre y el fraccionamiento a que éste ha sometido los ecosistemas naturales.

Solo las respuestas a cambios en el clima serán abordadas. La manera compleja en que algunos factores ejercen su influencia a través de la mediación del suelo y la topografía, contribuye a dificultar la evaluación del impacto de los cambios climáticos, dado que las escalas espaciales de variabilidad de las características del suelo y la topografía son mucho más pequeñas que las del clima a gran escala.

Nuestros ecosistemas naturales han sido sometidos a una influencia antropogénica intensa desde el descubrimiento de Cuba en 1492. La proliferación de ecosistemas

agrícolas y sabanas antrópicas en nuestra provincia hace imposible encontrar ecosistemas naturales prístinos. Si un ecosistema es identificado como correspondiente a un clima determinado este debe ser entendido como potencial y no como el ecosistema real existente en el lugar.

Los estudios nacionales relacionados con los impactos de los cambios climáticos sobre ecosistemas naturales son bastante escasos. Las primeras evaluaciones de impactos sobre ecosistemas naturales empleando formulaciones analíticas fueron realizadas por Rivero et al. (1998a) y García y Rivero (1997) empleando la versión 1.0 de un modelo de impacto forestal elaborado por los autores. Estos estudios fueron extendidos a toda Cuba durante 1998 – 2000 por Rivero et al. (1999), sin incluir el estudio del efecto de fertilización por CO₂. Al contrario de estudios anteriores que han hecho hincapié sobre la diversidad biológica (Suárez et al., 1999) el énfasis de nuestro trabajo recaerá sobre el tipo de ecosistema, su biomasa y productividad primaria neta.

2. Materiales y Métodos.

2.1. Base de datos climatológicos actual y futura.

Como línea base climática se escogió el período 1961-90 de las estaciones meteorológicas Esmeralda, Nuevitas, Florida, Camagüey, Palo Seco y Santa Cruz del Sur. Esta base de datos contiene valores diarios de las temperaturas, horas-luz, humedad relativa y velocidad del viento de estas estaciones. A estos se les añadió la radiación solar global, el balance de radiación y la evapotranspiración potencial (Rivero y Rivero, 1992).

A partir de esta base fueron construidas las correspondientes a los períodos de 30 años ubicados alrededor de los años 2010, 2030, 2050, 2075 y 2100. Para ello se emplearon las predicciones climáticas futuras generadas por los modelos de circulación general (atmósfera / océano) HadCM2 y ECHAM4. Todo este proceso, realizado a partir de la versión 2.4 del sistema MAGIC / SCENGEN (Hulme et al., 1995), ha sido detalladamente explicado en la literatura de referencia (Benioff et al., 1996).

2.2. Índices de aridez y clasificaciones según el clima.

Como clasificadores de los tipos y subtipos climáticos de vegetación potencial se emplearon los índices climáticos siguientes:

- Índice de aridez del PNUMA ($A = P / E_0$)
- Índice radiativo de aridez de Budyko - Lettau ($K = R_0 / L P$)
- Índice ecológico de aridez ($I = E / E_0$)
- Índice bioclimático de Riábchikov ($Ria = E / R_0$)
- Número anual de meses húmedos (M)

Donde P es la precipitación anual, $L = 0.59$ es el calor latente de condensación del agua y E es la evapotranspiración real anual. Las tablas de clasificación del clima según estos índices pueden verse en Riábchikov (1976), Baldy y Stigter (1993).

2.3. Método de estimación de la productividad primaria neta (PPN).

La estimación de **PPN** se hizo por la metodología de la segunda versión del modelo de impacto forestal, basado en Riábchikov (1976), según la cual,

$$PPN = a + b * K \text{ donde } K = (L / 365) Ria$$

Donde L es la duración en días del período vegetativo (Iverson et al., 1993). Los coeficientes a , b son parámetros de ajuste a la curva de Riábchikov, K es su potencial hidrobiotérmico y Ria su índice bioclimático. A diferencia de la primera versión descrita en Rivero et al. (1999), esta segunda versión sí toma en cuenta el efecto de fertilización por CO_2 (Rivero, 2001) a partir de fórmulas derivadas del modelo CENTURY 4.0 (Parton et al., 1992).

Para esto se calcula la **PPN** en el clima actual (PPN_0) y en un clima futuro (PPN_i), pero sin incluir el efecto de fertilización por CO_2 . Una vez hecho esto el efecto de fertilización es introducido mediante la expresión,

$$PPNC_i = PPN_i (1 + \beta \log (C_i / C_0))$$

Donde C_0 y C_i son las concentraciones atmosféricas de CO_2 en el clima de referencia y en el clima futuro. El parámetro β es un coeficiente empírico que va desde 0.0 hasta 0.7 . Deben esperarse valores cercanos a cero para ecosistemas en que predominen especies con ciclo fotosintético C_4 (como los pastos tropicales) y cercanos a 0.7 para aquellos en que predominen especies con ciclo fotosintético C_3 .

La indeterminación en β fue soslayada en el presente informe corriendo el modelo para los valores dados por $\beta = 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7$

Esto da posibilidad de analizar un juego de posibilidades que dependen de la composición florística, y permite la búsqueda de un valor de β equivalente (β_{eq}) si este existe. El valor β_{eq} se definió como el valor de β que necesitaría el ecosistema para que el impacto negativo del cambio climático fuese exactamente equilibrado por el efecto de fertilización por CO_2 .

2.4. Zonas de Vida de Holdridge.

Como clasificadores de bosques se emplearon las zonas de vida de Holdridge (Cramer y Leemans, 1993) y el índice de Riábchikov . El método de las zonas de vida de Holdridge fue formulado analíticamente para los fines del presente trabajo. El método de Holdridge ha sido muy utilizado en la evaluación del impacto de los cambios climáticos sobre los bosques.

Para mayor grado de detalle en el diagrama, la casilla más baja (bosque seco) fue denominada Seco 1 y la superior Seco 2. Las celdas de bosques húmedos, secos y muy secos fueron divididas en trapecios por una línea vertical. El trapecio derecho se denominó **A** y el izquierdo **B**, lo que permite ver la evolución de los ecosistemas aún dentro de una misma zona de vida original. En el escenario más crítico, con el modelo HadCM2, se omitió la palabra bosque en las **Tablas 7a-b** .

2.5. Densidad potencial de biomasa.

La densidad potencial de biomasa de los bosques para un clima y localidad dada fue estimada mediante el método de Iverson et al. (1993). La densidad potencial de biomasa aérea (en puntos) para un bosque es expresada como la suma de cuatro términos

$$DPB \text{ (puntos)} = F_1(WEM) + F_2(P) + F_3 + F_4$$

Donde, **WEM** es el índice de Weck modificado, **P** es la precipitación anual, **F₃** es una función de la topografía y **F₄** es una función del suelo. Una vez obtenido el valor de la densidad potencial de biomasa en puntos (con 100 puntos como máximo), su valor en T / ha vendrá dado por 6.67 veces el valor de la **DPB** en puntos. El índice

de Weck modificado es calculado a partir de la duración del día en la estación de crecimiento, la duración de esta en meses, la humedad relativa, la temperatura del mes más cálido y el total de las precipitaciones. Un análisis detallado del método utilizado y los algoritmos derivados por los autores de los gráficos originales de Iverson et al. (1993), ha sido elaborado por uno de los autores del presente trabajo (Rivero, 2003).

3. Análisis y discusión de los resultados.

3.1. Evolución de los índices de aridez climática y ecológica.

Actualmente la mayor parte de nuestras estaciones se encuentran enclavadas en climas subhúmedos correspondientes a bosques (monzónicos) estacionalmente húmedos. Estos corresponden en general a los bosques estacionales del modelo BIOME (Prentice et al, 1992). Esmeralda es un ejemplo de estas características (**Tablas 1 y 2**).

Excepciones constituyen las estaciones costeras (Nuevitas y Santa Cruz) que poseen climas subhúmedos secos correspondientes a sabanas / sabanas secas. La primera estación está en la zona subhúmeda seca al norte de Camagüey – Tunas – Holguín mientras que la segunda está en una delgada franja costera subhúmeda seca al sur de Camagüey – Tunas.

En los escenarios creados con el modelo ECHAM4 las zonas de Nuevitas y Santa Cruz del Sur se hacen cada vez más áridas durante el presente siglo, aunque sin cambiar la tipología de los ecosistemas presentes (**Tabla 1**). Estas son zonas susceptibles a procesos de desertificación y su vulnerabilidad será cada vez mayor cuando el cambio climático avance.

En las estaciones centrales el clima se hará cada vez más árido pero no ocurrirán transiciones de un tipo de clima a otro ni cambios de ecosistemas, excepto en Palo Seco que pasará a climas subhúmedos secos en el 2050 y cuyo clima corresponderá con sabanas húmedas desde el 2010. Estas transiciones en el extremo oriental de la provincia son reflejo de la extensión en área e intensificación de la aridización del centro y norte de Tunas – Holguín que ya fuera detectada por los autores (Rivero et al., 1999).

En escenarios creados con el modelo HadCM2 las tendencias a la aridez son mayores (**Tabla 2**). Tanto en Esmeralda como Florida aparecen estas tendencias con climas subhúmedos secos en Esmeralda entre 2075 y 2100 con sabanas desde el 2030 mientras que en Florida estas últimas aparecen entre el 2050 y el 2075. Al este en Palo Seco ocurren climas subhúmedos secos desde el 2075 y sabanas desde el 2010 mientras que en Santa Cruz el clima llega a hacerse semiárido en el período 2030 – 2075 con ecosistemas de sabanas secas al final de este período.

Esto puede resumirse como una intensificación y extensión en área de la zona árida del centro y norte de Tunas – Holguín, que avanza sobre nuestra provincia tanto por el este como en forma de lenguas o franjas costeras al norte por Nuevitas y al sur por Santa Cruz. Un segundo proceso transcurre al oeste, tendiente a aislar y reducir en área el máximo de precipitaciones de Vertientes, aislándolo de centros similares en Ciego de Ávila.

Las tendencias a la aridez en todos los escenarios y localidades estudiadas conducirán a transformaciones en los ecosistemas, los que corresponderán a bosques estacionalmente húmedos cada vez más secos y sabanas con menor densidad potencial de biomasa y productividad primaria neta. La disminución en el escurrimiento afectará la vida y niveles de agua de nuestras corrientes superficiales y reservas subterráneas aumentando el riesgo de desertificación y salinización de los suelos (**Tablas 5 – 6**). La reducción del escurrimiento y el aumento de la evaporación causarán afectaciones considerables en los humedales camagüeyanos.

3.2. Zonas de Vida de Holdridge.

La clasificación de Zonas de Vida de Holdridge ubica a todas las estaciones en la zona de bosque seco 1A o 2A con excepción de Palo Seco y Nuevitas en bosque seco 1B y Vertientes en bosque húmedo 1B (**Fig. 1**). En los escenarios creados con el modelo ECHAM4 las estaciones de Nuevitas, Florida, Camagüey y Palo Seco permanecen en la misma zona de vida durante todo el siglo pero Vertientes pasa a bosque seco 1A desde el 2010, Esmeralda a bosque seco 1B desde el 2050 y Santa Cruz del Sur a bosque muy seco 1A desde el 2030.

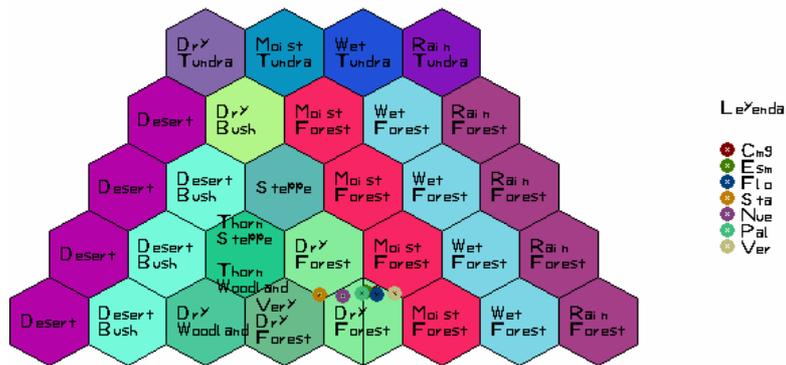


Figura 1. Diagrama de las Zonas de Vida de Holdridge para el clima actual.

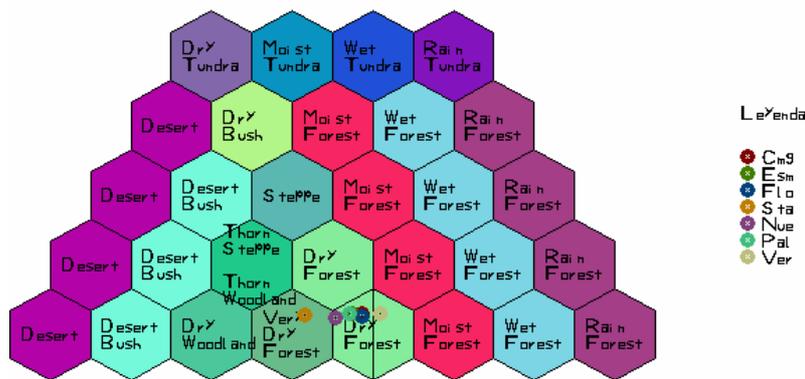


Figura 2. Diagrama de las Zonas de Vida de Holdridge para el clima del 2100 según HadCM2.

En los escenarios creados a partir del modelo HadCM2 la evolución hacia zonas de vida más secas ocurre con mayor rapidez (**Fig. 2**). La evolución de los paisajes y de las zonas de vida hacia la aridez hará a nuestros bosques más vulnerables a los incendios forestales y los perjuicios que se derivan de ellos (**Tablas 7a - b**).

4.3. Densidad potencial de biomasa.

La densidad potencial de biomasa de los bosques desciende en casi todas las áreas estudiadas en los escenarios derivados del modelo HadCM2, de no producirse el efecto de fertilización por CO₂ (**Tablas 7a–7b**). Solo Nuevitas y Palo Seco experimentan un ligero aumento alrededor del 2030 para volver a descender luego. En escenarios derivados del ECHAM4 las fluctuaciones incluyen ahora también Florida y el ritmo de descenso de la densidad potencial de biomasa es menos marcado que en los derivados del modelo HadCM2

El decrecimiento de la **DPB** a lo largo del siglo XXI no es muy notable y probablemente sea inferior al ocasionado por otras causas de origen antrópico. En

cierta medida, esto pudiese ser una característica de las metodologías utilizadas ya que no fue posible estimar la intensidad de los procesos de degradación del suelo. De producirse el efecto de fertilización por CO₂ en su intensidad máxima ($\beta = 0.7$) la **DPB** de los bosques crecería en todos los escenarios durante el presente siglo. La tendencia de crecimiento sería bastante elevada y el efecto de fertilización compensaría con creces las afectaciones causadas por el cambio climático.

4.4. Evolución de la productividad primaria neta (PPN) de los ecosistemas.

En los escenarios creados a partir del modelo de circulación general ECHAM4 el potencial hidrobiotérmico de Riábchikov decrece a lo largo del siglo en todas las estaciones con excepción de Florida y Palo Seco. Esto es resultado de una disminución del índice de Riábchikov, del aumento de la temperatura y del balance de radiación con reducciones en la evapotranspiración real. En Florida y Palo Seco esto es parcialmente contrarrestado por fluctuaciones en el período vegetativo.

En los escenarios creados a partir del modelo HadCM2 la situación es similar, con la excepción de Nuevitas, pero ahora agravada por una disminución de la duración del período vegetativo en Palo Seco y Camagüey en el 2075 (**Tablas 7a - b**). Resultan de gran interés Nuevitas y Florida donde ocurren fluctuaciones o disminución del ritmo de decrecimiento a causa de aumento en la duración del período vegetativo a partir del 2030. Lo anterior se justifica a partir de que ambos modelos redistribuyen de modo diferente los cambios mensuales de las precipitaciones a lo largo del año.

La **PPN** sin tomar en cuenta el efecto de fertilización por CO₂ es equivalente a la misma calculada tomando en cuenta el efecto de fertilización por CO₂ para ecosistemas C₄ puros ($\beta = 0$). De aquí que la **PPN** sin efecto de fertilización por CO₂ pudiera utilizarse como un estimador de la productividad de sabanas y pastizales tropicales así como de ecosistemas agrícolas de caña de azúcar y otros cultivos C₄.

La tendencia temporal de la **PPN** sin tomar en cuenta el efecto de fertilización por CO₂ es decreciente en todas las estaciones en los escenarios creados con el ECHAM4, con la excepción de Florida y Palo Seco, a consecuencia del descenso continuado del potencial hidrobiotérmico de Riábchikov. Ocurren fluctuaciones en Florida y Palo Seco para los períodos alrededor del 2030 y 2050 por el incremento

en un mes de la duración del período vegetativo. En los escenarios creados a partir del modelo HadCM2 sucede prácticamente lo mismo, pero ahora la excepción es Nuevitas en el 2030, pero los valores son más bajos y las tendencias más acentuadas. Hay valores muy bajos de la productividad en Santa Cruz del Sur.

La productividad primaria neta tomando en cuenta el efecto de fertilización por CO₂ fue calculada para el máximo efecto esperado por la comunidad científica mundial para el mismo ($\beta = 0.7$). De este modo las variables **PPNsCO₂** y **PPNcCO₂** en las tablas abarcan el rango de valores esperados para el impacto del cambio climático sobre la **PPN** de los ecosistemas en los escenarios estudiados.

En la mayoría de los casos la productividad primaria neta con máximo efecto de fertilización con CO₂ crece en los escenarios derivados del ECHAM4 y del HadCM2, exceptuando las fluctuaciones de Camagüey y Palo Seco en el 2075 – 2100 y Nuevitas en el 2100. Esto último fue debido a la reducción en un mes del período de crecimiento anual de los ecosistemas.

La diferencia entre la **PPN** en ambos casos es producto de haberse utilizado los dos valores extremos esperados para β , por lo que es admisible preguntarse si existirán valores intermedios de β para los que ambos conjuntos de valores sean semejantes. Los valores de la denominada **β eq** (Tablas 3 y 4) demuestran que en la generalidad de los casos tal cosa es posible, otros en los que no sucede y todavía otros en los que es innecesaria. En los escenarios derivados del ECHAM4 existen valores del parámetro β que cumplirían la condición planteada excepto en Palo Seco en el 2010, ya que no se esperan valores tan elevados del efecto. Los valores negativos de Florida a partir del 2030 indican que la productividad crece con el cambio climático aún sin efecto de fertilización por CO₂. Los casos con valores admisibles de **β eq** corresponderían a ecosistemas mixtos con proporciones “ad hoc” de especies con ciclos C₃ y C₄. Conclusiones similares se observan para escenarios derivados del HadCM2, pero los valores de **β eq** son mucho más elevados que en el caso anterior y se requeriría una respuesta mucho más vigorosa de los ecosistemas terrestres para compensar el impacto negativo de los cambios climáticos. Eventualmente, pueden existir escenarios de cambio climático en que el efecto de fertilización por CO₂ no podrá compensar el impacto negativo asociado a los cambios de clima.

4. Conclusiones.

La generalidad de los índices climáticos indica que durante todo el presente siglo nuestro clima evolucionará hacia climas más áridos, es decir desde climas subhúmedos hacia climas subhúmedos secos y aún de semidesierto en zonas costeras. Este proceso de aridización será más notable al este, norte y sur de la provincia y puede ser visto como una extensión hacia el oeste de las zonas secas actuales del centro y norte de Camagüey – Tunas – Holguín. Este proceso es más notable en los escenarios derivados del modelo de clima global HadCM2. Simultáneamente, aumenta la aridez al oeste de la provincia observándose una tendencia al aislamiento y reducción en área del máximo territorial de precipitaciones de la zona de Vertientes.

Estos cambios en el clima de la región forzarán también cambios en la tipología de los ecosistemas potenciales asociados a él. El resultado es que de ecosistemas hoy predominantemente de bosques estacionalmente húmedos, estos evolucionarán hacia bosques estacionales aún más secos, bosques ralos tropicales y aún sabanas en áreas costeras. Estos procesos se verán intensificados en las zonas donde existen condiciones de suelo asociadas a aridez edáfica y afectará también a los humedales actuales, elevándose esta última afectación por reducciones en el escurrimiento.

A causa del cambio climático la **PPN** de los ecosistemas experimentará una reducción progresiva en general, con excepciones asociadas a redistribución mensual de las precipitaciones. El efecto de fertilización por CO₂ podría compensar y revertir estas tendencias, si este es efectivamente realizado, pero no hay seguridad de que esto se produzca. La magnitud del efecto es incierta y depende de la composición florística siendo más notable para especies con ciclo C₃ que con C₄. El efecto podría revertir el descenso de la productividad en ecosistemas de especies C₃ muy sensibles y no revertirlo en ecosistemas de especies C₄ o con mezcla de especies C₃ y C₄. El efecto de fertilización podría conducir a cambios adicionales en la composición florística y aparecer acompañado por una elevación de la relación C / N de los ecosistemas y de una disminución del contenido proteico de los productores primarios.

De no llegar a producirse el efecto de fertilización por CO₂ a escala de ecosistema todos estos procesos estarán acompañados de una reducción progresiva de la densidad potencial de biomasa y la productividad primaria neta de nuestros bosques a lo largo del siglo actual. Todo lo anterior implicará una elevación de la competitividad de las especies correspondientes a sitios secos en detrimento de las correspondientes a sitios húmedos, conjuntamente con cambios en la composición florística y la diversidad biológica de nuestros bosques.

De producirse el efecto de fertilización por CO₂ en su magnitud máxima esperada habría un aumento sostenido de la densidad potencial de biomasa y la productividad primaria neta de los bosques a pesar de que tal efecto no producirá efectos elevados en la eficiencia del uso del agua en ecosistemas C₃ y a que el clima sería de todas formas más árido.

5. Referencias.

Baldy, C. et C. J. Stigter (1993): *Agrometeorologie des cultures multiples en regions chaudes*. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, 246 pp.

Benioff, R. S., S. Guill and J. Lee (Eds,) (1996): *Vulnerability and Adaptation Assessments: An International Handbook*. Kluwer Academic Publishers.

García, D. R. y R. E. Rivero (1997): *Clima de Cuba según índice de Riábchikov*. Congreso Internacional de Medio Ambiente y Desarrollo, La Habana.

INSMET (1998): *Evaluación rápida de los impactos del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba*. Informe Parcial del Proyecto No. FP/CP/2200-97-12, Instituto de Meteorología, La Habana, 45 pp.

INSMET (1999): *Impactos del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba*. Informe Final del Proyecto No. FP/CP/2200-97-12, Instituto de Meteorología, La Habana, 206 pp.

Parton, W. J., D. S. Ojima, D. S. Schimel and T. G. F. Kittel (1992): *Development of simplified ecosystem models for applications in Earth system studies: The Century' experience*. In **Modeling the Earth System** (D. S. Ojima, Ed.), Boulder, Colorado, 281 – 302 pp.

Prentice, I. C., W. Cramer, S. P. Harrison, R. Leemans, R. A. Montserud y A. M. Solomon (1992): A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate. *J. Biogeogr.*, 19,117-134 pp.

Tabla 3. Valores de β eq. para escenarios creados a partir del modelo ECHAM4.

Estación	C. Actual	2010	2030	2050	2075	2100
Esmeralda	0	0,0884356	0,0988562	0,1080157	0,1158034	0,1177674
Nuevitas	0	0,0584334	0,0642604	0,0693882	0,0733330	0,4613991
Florida	0	0,0860069	-0,4602072	-0,3053178	-0,2053433	-0,1407515
Camagüey	0	0,0770122	0,0857183	0,0937775	0,1002393	0,1017186
Palo Seco	0	0,7872645	0,0893273	0,0974295	0,3306152	0,2872144
Sta. Cruz	0	0,1120634	0,1245140	0,1361513	0,1457604	0,1479232

Tabla 4. Valores de β eq. para escenarios creados a partir del modelo HadCM2.

Estación	C. Actual	2010	2030	2050	2075	2100
Esmeralda	0	0,1912560	0,2189861	0,2463090	0,2732523	0,2878064
Nuevitas	0	0,1805842	-0,4009149	-0,2270705	-0,1109600	0,2585276
Florida	0	0,1918373	0,2205749	0,2495005	0,2785408	0,2951111
Camagüey	0	0,1777046	0,2035749	0,2291662	0,5966159	0,5496847
Palo Seco	0	0,1897791	0,2169477	0,2439599	0,5460846	0,5113779
Sta. Cruz	0	0,2617644	0,3004979	0,3387393	0,3766884	0,3979029

Tabla 5. Esguerrimiento (mm) para escenarios creados a partir del modelo ECHAM4.

Estación	C. Actual	2010	2030	2050	2075	2100
Esmeralda	289,59	278,68	269,73	260,45	249,80	239,80
Nuevitas	174,07	171,08	168,61	166,05	163,10	160,31
Florida	365,05	351,34	340,08	328,38	314,91	302,26
Camagüey	349,60	338,10	328,64	318,80	307,47	296,80
Palo Seco	266,49	257,51	250,15	242,50	233,71	225,46
Sta. Cruz	97,89	93,51	89,96	86,30	82,14	78,28

Tabla 6. Esguerrimiento (mm) para escenarios creados a partir del modelo HadCM2.

Estación	C. Actual	2010	2030	2050	2075	2100
Esmeralda	289,59	262,40	240,63	218,62	194,09	171,94
Nuevitas	174,07	159,97	148,67	137,22	124,43	112,81
Florida	365,05	329,80	301,54	272,90	240,97	212,11
Camagüey	349,60	317,87	292,38	266,50	237,55	211,29
Palo Seco	266,49	241,17	220,93	200,48	177,74	157,23
Sta. Cruz	97,89	86,39	77,40	68,51	58,89	50,46

Tabla 7a. Características de los bosques, por localidades, para los escenarios basados en el modelo de circulación general HadCM2.

Parámetro	C. Actual	2010	2030	2050	2075	2100
Esmeralda						
PHB	6,108	5,932	5,781	5,618	5,425	5,233
Duración	7	7	7	7	7	7
Ria	10,47	10,17	9,91	9,63	9,30	8,97
Tipo	Bosq. E H.	Bosq. E H.	Sabanas	Sabanas	Sabanas	Sabanas
Zona Vida	Seco 1A	Seco 1B				
DPBsCO2	391,28	386,69	382,85	378,74	373,83	369,06
DPBcCO2	391,28	432,61	458,73	481,91	507,51	536,12
PPNsCO2	15,022	14,550	14,145	13,708	13,182	12,665
PPNcCO2	15,022	16,278	16,949	17,442	17,895	18,398
Nuevitas						
PHB	4,55	4,43	5,052	4,929	4,783	3,975
Duración	6	6	7	7	7	6
Ria	9,10	8,86	8,66	8,45	8,20	7,95
Tipo	Sabanas	Sabanas	Sabanas	Sabanas	Sabanas	Sabanas
Zona Vida	Seco 1B	Seco 1B	Seco 1B	Seco 1B	Seco 1B	Seco 1B
DPBsCO2	361,77	358,75	362,63	359,83	356,54	347,36
DPBcCO2	361,77	401,34	434,50	457,86	484,02	504,59
PPNsCO2	10,801	10,480	12,184	11,848	11,450	9,254
PPNcCO2	10,801	11,724	14,599	15,075	15,545	13,443
Florida						
PHB	5,495	5,340	5,205	5,055	4,875	4,700
Duración	6	6	7	7	7	7
Ria	10,99	10,68	10,41	10,11	9,75	9,40
Tipo	Bosq. E H.	Bosq. E H.	Bosq. E H.	Bosq. E H.	Sabanas	Sabanas
Zona Vida	Seco 1A	Seco 1A	Seco 1A	Seco 1B	Seco 1B	Seco 1B
DPBsCO2	396,06	391,14	386,94	382,38	376,94	371,63
DPBcCO2	396,06	437,58	463,62	486,55	511,73	539,85
PPNsCO2	13,423	13,000	12,634	12,235	11,751	11,272
PPNcCO2	13,423	14,543	15,138	15,568	15,953	16,373
Camagüey						
PHB	7,280	7,087	6,913	6,727	5,693	5,501
Duración	8	8	8	8	7	7
Ria	10,92	10,63	10,37	10,09	9,76	9,43
Tipo	Bosq. E H.	Bosq. E H.	Bosq. E H.	Bosq. E H.	Sabanas	Sabanas
Zona Vida	Seco 1A	Seco 1A	Seco 1A	Seco 1A	Seco 1B	Seco 1B
DPBsCO2	409,64	403,27	399,36	395,03	383,54	378,54
DPBcCO2	409,64	451,15	478,51	502,65	520,68	549,89
PPNsCO2	18,148	17,617	17,159	16,662	13,909	13,389
PPNcCO2	18,148	19,708	20,560	21,201	18,883	19,450

Tabla 7b. Características de los bosques, por localidades, para los escenarios basados en el modelo de circulación general HadCM2.

Parámetro	C. Actual	2010	2030	2050	2075	2100
Palo Seco						
PHB	8,517	8,267	8,058	7,825	6,795	6,555
Duración	10	10	10	10	9	9
Ria	10,22	9,92	9,67	9,39	9,06	8,74
Tipo	Bosq. E H.	Sabanas	Sabanas	Sabanas	Sabanas	Sabanas
Zona Vida	Seco 1B	Seco 1B	Seco 1B	Seco 1B	Seco 1B	Seco 1B
DPBsCO2	404,93	400,51	396,72	392,62	382,55	377,68
DPBcCO2	404,93	448,06	475,34	499,58	519,34	548,63
PPNsCO2	21,324	20,659	20,090	19,475	16,673	16,025
PPNcCO2	21,324	23,112	24,071	24,781	22,635	23,279
Sta. Cruz						
PHB	3,940	3,795	3,675	3,545	3,390	3,245
Duración	6	6	6	6	6	6
Ria	7,88	7,59	7,35	7,09	6,78	6,49
Tipo	Sabanas	Sabanas	Sabanas	Sabanas	Sab. Secas	Sab. Secas
Zona Vida	Seco 2	Muy Seco 1A				
DPBsCO2	323,49	319,96	317,00	313,85	310,13	306,51
DPBcCO2	323,49	357,95	379,82	399,36	421,02	445,25
PPNsCO2	9,221	8,829	8,498	8,147	7,733	7,334
PPNcCO2	9,221	9,877	10,183	10,367	10,498	10,653

PHB – Potencial Hidrobiotérmico de Riábchikov

DPBsCO2 – Densidad Potencial de Biomasa sin fertilización CO₂ (T / ha)

DPBcCO2 - Densidad Potencial de Biomasa con fertilización CO₂ (T / ha)

PPNsCO2 – Productividad Primaria Neta sin fertilización por CO₂ (T / ha)

PPNcCO2 - Productividad Primaria Neta con fertilización por CO₂ (T / ha)