

7.1. LOS BOSQUES NATURALES AL TÉRMINO DEL 2007

7.1.1. FORMACIONES FORESTALES

A partir de la base de datos de la Dinámica Forestal 2007, se obtuvo toda la información utilizada sobre la extensión y distribución de las 16 formaciones forestales naturales del país por provincias y municipios, agrupándola en cinco tipos de bosque:

- **Los bosques costeros:** de las tres formaciones que los componen, el Manglar se encuentra en las zonas costeras y recibe la influencia directa del agua de mar, se desarrollan sobre suelos arcillosos que se forman por sedimentación dentro de los propios manglares. El Uveral está sobre suelo de arena caliza y fuera del alcance directo del agua de mar, mientras que la Manigua costera forma una faja estrecha de vegetación que recibe la influencia directa de los vientos marítimos, que actúan como factor secante adicional sobre la vegetación; el suelo, normalmente originado por roca caliza-coralina, es muy esquelético.
- **Los bosques secos:** las formaciones Charrascal y Cuabal son montes xerofíticos, desarrollados sobre suelos esqueléticos originados a partir de roca ultrabásica. La diferencia entre ambos consiste en que en la primera hay una ausencia casi total de palmas, sobre todo del género *Coccothrinax* y de especies espinosas, así como una extensión por toda la vegetación del tibisí (*Arthrostylidium* spp.). Encontrándose la formación exclusivamente en la región oriental y en las alturas de los macizos montañosos del noroeste de la región oriental, por encima de 900 m s.n.m., que en lugar de montes nublados poseen una vegetación del tipo charrascal, debido a que los suelos muy rocosos no permiten el desarrollo de una vegetación cerrada y a que actúan sobre ellos, además, los vientos fuertes como factor secante. La formación Xerófilo típico se localiza cerca de las costas y bajo la influencia de los vientos marítimos que, por su fuerza y velocidad, causan un efecto secante en el ambiente. El suelo es por lo común esquelético, en especial si se encuentra en regiones de roca caliza donde se ha desarrollado una estructura cársica y su mayor desarrollo ocurre en la costa sur de la región oriental, donde las montañas altas evitan el acceso de los vientos húmedos del noroeste y causan un clima seco local. La formación Xerófilo de mogotes aparece en lomas calizas de una estructura extremadamente cársica, debido a la escasez del suelo que solo se encuentra en las cavidades de las rocas y tiene poca capacidad para retener el agua. Estos lugares portan una vegetación del tipo de monte seco, parecida a los montes secos costeros con una excepción: los mogotes de la Sierra de los Órganos, en La Habana, donde la vegetación está dominada por elementos florísticos propios.
- **Los bosques de pino:** viven en suelos ácidos con poca capacidad para retener agua; entre ellos los suelos arenosos y lateríticos, los más pobres en elementos nutritivos que

se encuentran en Cuba. Solo los pinos que tienen una simbiosis con hongos en forma de una micorriza ectótrofa, son capaces de obtener, por esta vía, suficiente cantidad de sustancias alimentarias para mantener un crecimiento rápido de manera relativa y alcanzar el tamaño de árboles. Una excepción son algunos cayos de pinos en la Sierra Maestra, que se encuentran dentro de las formaciones Pluvilsilva de montaña o Monte nublado y se desarrollan en los sitios de derrumbe.

- **Los bosques húmedos:** están compuesto por cinco formaciones: Encinar, Semidecídúo sobre calizas, sobre suelo ácido, sobre suelo de mal drenaje y Pluvilsilva. *Quercus cubana* (encino), es un árbol de rasgos xeromorfos y poseedor de micorriza ectótrofa que acompaña a los pinares, aunque es más resistente al fuego que ellos y capaz de rebrotar de los tocones, formando rodales puros siempreverdes. Los montes semidecídúos constituyen la vegetación natural de Cuba hasta una altura aproximada de 600 m s.n.m.; alcanzan una altura entre 20 y 30 m y están constituidos por dos capas arbóreas y una capa arbustiva, pero la capa herbácea normalmente falta. Es característico que los árboles que forman la capa arbórea más alta pierdan sus hojas durante la época de seca, mientras los de la segunda las conservan casi durante todo el año; los diferentes tipos corresponden a diferentes condiciones edáficas y en ellos existen composiciones florísticas distintas. Las pluvilsilvas verdaderas se encuentran en Cuba solamente en los valles de los ríos que desembocan en la costa norte de la región oriental, entre Mayarí y Baracoa, en alturas entre 200 m y 400 m s.n.m. y se desarrollan en suelos montañosos rojos sobre roca ígnea silíceo o básica; este tipo de vegetación es la más vigorosa, alcanza alturas hasta de 40 m y consiste de tres capas arbóreas.
- **Los bosques de montaña:** de las tres formaciones que los componen, el Monte nublado y el Monte fresco solo se encuentran en el país por encima de 1 000 y 1 700 m s.n.m., respectivamente, en tanto que la Pluvilsilva de montaña aparece por encima de 600 m s.n.m., aunque hacia el noroeste de la región oriental baja hasta alturas entre 300 m y 400 m s.n.m.

7.1.2. SITUACIÓN DE LOS BOSQUES NATURALES AL TÉRMINO DEL 2007

Al término del año 2007, los bosques naturales cubrían 2 337 598,8 ha, representando 63,4% del patrimonio forestal nacional y 21,9% de la superficie total del país. De las 16 formaciones naturales, dos presentaban más de medio millón de hectáreas; cuatro tenían entre 100 mil y 200 mil y las 10 restantes, entre 2,5 y 86,0 miles de hectáreas (DNF, 2008; tabla 7.1). Camagüey, Matanzas y Pinar del Río fueron las provincias con mayor superficie de bosques naturales, agrupando el 40,8% del total nacional, mientras que de los 169 municipios existentes, solo seis no reportaban existencias: el municipio Bauta, en la provincia La Habana y los municipios Habana Vieja, Centro Habana, Plaza de la Revolución, Diez de Octubre y La Lisa, todos en la provincia Ciudad de La Habana.

Cuando las 16 formaciones naturales son agrupadas según los cinco tipos de bosque identificados (tabla 7.2), los Bosques húmedos y Semidecídúos son los de mayor extensión superficial del país, con algo más de 1,2 millones de hectáreas, mientras que los Bosques de Pino son los menos extensos, con un poco más de 85 mil hectáreas. Por otra parte, las superficies representativas del 61,12% de los bosques naturales del país, donde se concentra la mayor parte de las existencias variaron entre 775,5 y 55,1 miles de hectáreas, con un total de 1,4 millones de hectáreas (tabla 7.2).

Tabla 7.1. Extensión superficial de las formaciones forestales naturales del país al término de 2007 (DNF, 2008)

FORMACIÓN FORESTAL	SUPERFICIE (ha)	FORMACIÓN FORESTAL	SUPERFICIE (ha)
Semideciduo sobre calizas	912 869,9	Xerófilo típico	61 264,6
Manglar	532 739,4	Pluvisilva	24 715,6
Semideciduo de mal drenaje	168 951,6	Encinar	23 641,6
Manigua costera	151 414,0	Cuabal	21 815,0
Semideciduo sobre suelo ácido	144 537,7	Xerófilo de mogote	15 108,1
Pluvisilva de montaña	107 165,9	Monte nublado	12 701,0
Pinar	85 707,1	Monte fresco	12 701,0
Charrascal	68 800,2	Uveral	2 564,3
TOTAL: 2 337 598,8 ha			

Tabla 7.2. Tipos de bosque ordenados según su extensión superficial (DNF, 2008)

TIPO DE BOSQUE	FORMACIÓN FORESTAL	SUPERFICIE TOTAL (ha)		SUPERFICIE PRINCIPAL	
				(ha)	(%)
Bosques Húmedos	Semideciduo sobre calizas	912 869,9	1 274 716,4	775 704,0	60,85
	Semideciduo mal drenaje	168 951,6			
	Semideciduo suelo ácido	144 537,7			
	Pluvisilva	24 715,6			
	Encinar	23 641,6			
Bosques Costeros	Manglar	532 739,4	686 717,7	414 586,9	60,37
	Manigua costera	151 414,0			
	Uveral	2 564,3			
Bosques Secos	Charrascal	68 800,2	166 987,9	102 569,3	61,42
	Xerófilo típico	61 264,6			
	Cuabal	21 815,0			
	Xerófilo de mogote	15 108,1			
Bosques de Montaña	Pluvisilva montaña	107 165,9	123 469,7	80 839,1	65,47
	Monte nublado	15 697,8			
	Monte fresco	606,0			
Bosques de Pino	Pinar	85 707,1	85 707,1	55 055,0	64,24
TOTAL		2 337 598,8		1 428 754,3	61,12

Al ubicar espacialmente los 43 municipios donde se localiza el 60% de los bosques naturales del país, se evidencia la formación de cinco áreas distribuidas a lo largo de Cuba (figura 7.1):

- El área occidental, con 334 274,8 ha de bosques naturales, que comprende los municipios Sandino, Minas de Matahambre, Viñales y San Cristobal (Pinar del Río), así como el municipio especial Isla de la Juventud, donde aparecen Bosques de Montaña (218,0 ha), Secos (7 444,1 ha), Pinares (32 304,9 ha), Costeros (81 781,6 ha) y predomina el Bosque Húmedo (212 722,4 ha; 63,64% del total).
- El área centro-occidental, con 426 263,5 ha de bosques naturales, que comprende los municipios Cárdenas, Jagüey Grande y Ciénaga de Zapata (Matanzas), Sagua la Grande y Caibarién (Villa Clara), Cumanayagua (Cienfuegos), Yaguajay y Trinidad (Sancti Spíritus), donde aparecen Bosques Secos (1 055,7 ha), de Montaña (22 209,0 ha), Costeros (186 503,7 ha) y predomina el Bosque Húmedo (216 495,1 ha; 50,79% del total).
- El área centro-oriental, con 388 785,7 ha de bosques naturales, que comprende los municipios Morón y Bolivia (Ciego de Ávila), Esmeralda, Cubitas, Minas, Nuevitas, Guáimaro y Vertientes (Camagüey), Manatí y Puerto Padre (Las Tunas), donde aparecen Bosques Secos (22 563,3 ha), Húmedos (1 69 711,5 ha) y predomina el Bosque Costero (196 510,9 ha; 50,5% del total).
- El área nororiental, con 396 875,7 ha de bosques naturales, que comprende los municipios Rafael Freyre, Banes, Báguanos, Mayarí, Frank País, Sagua de Tánamo y Moa (Holguín), Yateras, Baracoa, Maisí, Imías, San Antonio del Sur, Manuel Tames y Caimanera (Guantánamo), donde aparecen Bosques Costeros (23 612,9 ha), Pinares (28 657,7 ha), de Montaña (57 283,6 ha), Secos (87 738,8 ha) y predomina el Bosque Húmedo (199 582,7 ha; 50,3% del total).

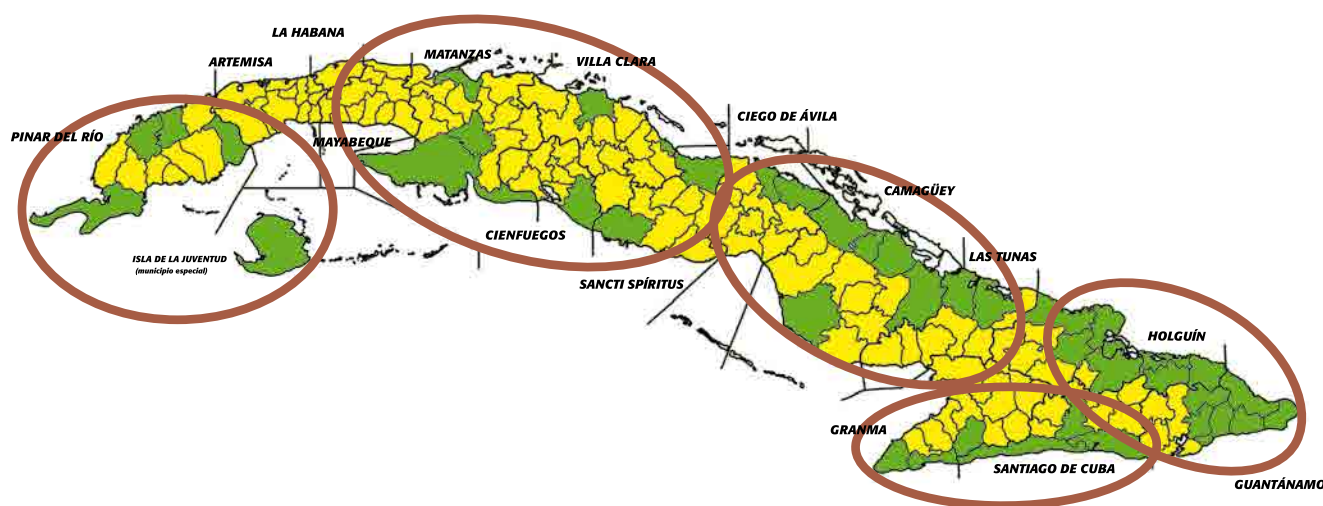


Figura 7.1. Distribución municipal de las áreas de bosques naturales considerada para la evaluación. De izquierda a derecha: Occidental, Centro-occidental, Centro-Oriental, Nororiental y Suroriental

- El área suroriental, con 152 364,3 ha de bosques naturales, que comprende los municipios Niquero, Pílon y Bartolomé Masó (Granma), Guamá, Santiago de Cuba y Palma Soriano (Santiago de Cuba), donde aparecen Bosques de Pinar (2 457,4 ha), Costeros (3 940,6 ha), Secos (11 849,6 ha), de Montaña (18 808,4 ha) y predomina el Bosque Húmedo (115 308,3 ha; 75,7% del total).

7.2. IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS BOSQUES NATURALES

7.2.1. PRINCIPALES IMPACTOS

Para la valoración de los impactos por tipo de bosque natural, partiendo de su distribución municipal y de los escenarios climáticos disponibles, se han sugerido las relaciones presentadas en la tabla 7.3.

Tabla 7.3. Principales impactos asociados a los tipos de bosque

TIPO DE BOSQUE	FORMACIÓN FORESTAL	CAUSAS CLIMÁTICAS Y AMBIENTALES DE LOS PRINCIPALES IMPACTOS		
Bosques Costeros	Manglar	Aumento del nivel del mar, intrusión salina de los acuíferos, disminución de las lluvias y del volumen de agua dulce que los ríos aportan en la desembocadura, surgencia.	A u m e n t o d e C O ₂ a t m o s f é r i c o	H u r a c a n e s y p l a g a s
	Manigua costera			
	Uveral			
Bosques Secos	Charrascal	Aumento de la temperatura ambiental y de la velocidad del viento; disminución de las lluvias y de la humedad.		
	Xerófilo típico			
	Cuabal			
	Xerófilo de mogote			
Bosques de Pino	Pinar			
Bosques Húmedos	Semidecíduos sobre calizas	Aumento de la temperatura ambiental y disminución de las lluvias y la humedad.		
	Semidecíduos mal drenaje			
	Semidecíduos suelo ácido			
	Pluvisilva			
	Encinar			
Bosques de Montaña	Pluvisilva montaña	Aumento de la temperatura ambiental.		
	Monte nublado			
	Monte fresco			

7.2.2. IMPACTOS POR AUMENTO DE LA TEMPERATURA

7.2.2.1. FENOLOGÍA DE ESPECIES ARBÓREAS DE MONTAÑA CON DIFERENTE CAPACIDAD ADAPTATIVA

El estudio de caso fue llevado a cabo en Tope de Collantes, Trinidad, Sancti Spíritus. Las alturas de Trinidad son montañas excesivamente inclinadas, entre las que se destacan Pico San Juan a 1 156 m s.n.m., Pico Potrerillo a 931 m s.n.m. y Tope de Collantes a 784 m de altitud. Se seleccionaron tres especies con diferentes grados de endemismo; y en cada caso se escogieron 10 ejemplares en estado fustal, con plena capacidad reproductiva, los que fueron observados durante un período de entre ocho y diez años: *Magnolia cubensis* Urb. subsp. *acunae* Imkhan., *Juglans jamaicensis* C. DC. subsp. *jamaicensis* y *Laurocerasus occidentalis* (Sw.) Roem. Se tuvieron en cuenta dos tipos de registros fenológicos:

- Fenología vegetativa. Permanencia de hojas (HA) y formación de hojas nuevas (HN).
- Fenología reproductiva. Floración (FL) y maduración de los frutos (FM).

Las variables climáticas fueron sometidas a un análisis de componentes principales, donde la temperatura quedó definida en el componente 1, con un control de casi el 40% de la variabilidad total (38,94%), razón que indicó la importancia de su estudio, en especial el de la temperatura mínima.

Partiendo de las informaciones anteriores, se profundizó en el análisis de las series de la temperatura mínima en Tope de Collantes del período 1989-1999, evidenciándose que la temperatura mínima promedio anual del aire osciló entre 13,7 °C y 18,8 °C, con el valor mínimo en el año 1992 y el máximo en 1997. Tomando en consideración que la temperatura mínima histórica de Topes de Collantes fue estimada en 16,8 °C, los valores medios anuales registrados para el período 1989-1999 fueron organizados en dos grupos (tabla 7.4), cuyos respectivos valores promedio evidenciaron una diferencia entre ambos superior a los 2,0 °C.

Tabla 7.4. Agrupamiento de los años de observaciones fenológicas, según su temperatura mínima promedio anual

AÑOS NORMALES ($T_{\text{MÍN}} \leq 16,8\text{ }^{\circ}\text{C}$)		AÑOS CALIENTES ($T_{\text{MÍN}} > 16,8\text{ }^{\circ}\text{C}$)	
AÑO	$T_{\text{MÍN. PROM.}}\text{ (}^{\circ}\text{C)}$	AÑO	$T_{\text{MÍN. PROM.}}\text{ (}^{\circ}\text{C)}$
1989	16,80	1990	17,20
1991	16,20	1995	17,20
1992	13,68	1997	18,80
1993	14,09	1998	17,80
1994	14,80	1999	17,23
1996	16,82	$T_{\text{Min prom.}}$	17,65
$T_{\text{Min prom.}}$	15,40		
Diferencia entre grupos de años: 2,25 °C			

A partir de estos resultados, las series de observaciones fenológicas de las tres especies consideradas fueron organizadas según los años correspondientes a cada grupo, realizándose posteriormente la comparación de la distribución temporal media anual de cada par de variables fenológicas para las especies. Lo cual demostró que en las tres especies evaluadas, el patrón fenológico temporal obtenido para todas las variables fenológicas analizadas, en los años en que la temperatura mínima promedio fue igual o inferior a 16,8 °C, fue diferente al patrón presentado por esas mismas variables fenológicas en los años en que el valor de esta variable climática superó los 16,8 °C. La única excepción se presentó con la permanencia de las hojas adultas en la especie *L. occidentalis*.

Así, fueron evidenciados los siguientes impactos fenológicos con el aumento de la temperatura:

- *Magnolia cubensis* Urb. subsp. *acunae* Imkhan: se adelanta y prolonga la floración, a la par que concluye la floración un mes antes. Ello propicia la aparición de una mayor cantidad de frutos y favorece la coincidencia del final de esta fenofase con la época de lluvias que, de ser intensas, afectarían la fructificación. La maduración de los frutos se adelanta y aumenta en intensidad.
- *Juglans jamaicensis* C.DC. subsp. *Jamaicensis*: aumenta la intensidad de la floración y la posibilidad de recolectar mayor cantidad de frutos. Sin embargo, es necesario tomar en consideración que la maduración de los frutos se presenta en dos momentos: en el primer trimestre del año (la menos intensa) y en el tercer trimestre (la más intensa).
- *Laurocerasus occidentalis* (Sw.) Roem. aumenta la intensidad de la floración, se prolongó la presencia de frutos y se duplicó el valor máximo de su intensidad, por lo que se eleva la posibilidad de obtener una mayor cantidad de material reproductivo.

Las tres especies valoradas son representantes de tres niveles diferentes de adaptabilidad genética, por cuanto *M. cubensis* presenta una distribución exclusiva de T. de Collantes; *J. jamaicensis* está presente exclusivamente en tres de las Antillas Mayores, una subregión de la región Centroamericana y del Caribe, mientras que *L. occidentalis* aparece naturalmente en toda la región e incluso, en la parte norte de Sur América que comprende a Colombia y Venezuela y por encima de ellas solo quedarían especies como *Cedrela odorata* L., de distribución pantropical.

Si se valoran las posibles combinaciones de (fenofases x especies), se conformarían 12 niveles de capacidad de adaptación creciente y cuando esas categorías son organizadas sucesivamente, se puede apreciar que de todos los niveles de adaptación conformados, el único que no presentó diferencias significativas al comparar sus distribuciones entre "años normales" y "años calientes", fue el nivel 12, el más alto, integrado por la fenofase menos sensible a la temperatura y la especie de mayor distribución geográfica.

Una afirmación de esta índole requiere una validación más amplia que la obtenida en este estudio de caso; sin embargo, de ser cierto lo expuesto, pudiera significar que ante un aumento de 2 °C en la temperatura mínima ambiental, los niveles adaptativos capaces de enfrentarla sin expresar cambios apreciables en las fenofases vegetales estarían restringidos solo a especies arbóreas de distribución pantropical y algunas de distribución regional, pero solo en sus fenofases menos sensibles al clima y ello constituye prácticamente, un límite extremo de adaptación climática.

7.2.2.1.1. Estrategia de adaptación

- a) *Magnolia cubensis* Urb. subsp. *acunae* Imkhan. Las alteraciones fenológicas propician una mayor cosecha, que debe ser vigilada desde que se observan los puntos máximos de floración. Ambos aspectos deben ser tomados en consideración al realizar el pronóstico y la preparación de la cosecha de la especie, ya que en años calientes la recolección deberá planificarse para comenzar antes y con más recursos. Además, se deberán prever las actividades de recolección de manera que no permitan que los frutos permanezcan abiertos en el árbol por mucho tiempo (es decir, mayor intensidad de cosecha), para evitar su remoción por las aves o el ataque de larvas de insectos que ocasionan grandes daños, ya que se alimentan del endospermo de las semillas (Castillo et al., 2002).
- b) *Juglans jamaicensis* C.DC. subsp. *jamaicensis*. La respuesta no altera la planificación habitual del período de cosecha, pero si la cantidad de recursos requeridos, porque no resulta igual coleccionar frutos una vez al año, que dos veces. También resulta conveniente acometer estudios sobre la capacidad germinativa de las semillas cosechadas en ambos momentos de maduración de los frutos en años calientes, para definir si la viabilidad no varía.
- c) *Laurocerasus occidentalis* (Sw.) Roem. La presencia de frutos durante gran parte del año refuerza la realización de una mayor cosecha, pero pueden coexistir con restos de la fructificación anterior y producir una disminución de la viabilidad de las semillas. Por ello se refuerza la conveniencia de que, una vez que los frutos abren, se compruebe la madurez de las semillas por la consistencia de los cotiledones y el color pardo de su cubierta o cutícula en el inicio, clímax y declinación de la fructificación. La respuesta de esta especie altera la duración de la planificación habitual del período de cosecha, al prolongarse la presencia de los frutos, así como la cantidad de personal y recursos requeridos, debido a la duplicación de la intensidad en la fructificación.

7.2.2.2. BOSQUE NUBLADO Y BOSQUE FRESCO

Las formaciones forestales Monte Nublado y Monte Fresco solo se encuentran por encima de 1 000 y 1 700 m s.n.m., respectivamente (Bisse, 1988), lo que limita su distribución al municipio Guamá en la provincia Santiago de Cuba; los municipios Bartolomé Masó, Buey Arriba y Guisa en la provincia Granma y los municipios Baracoa e Imías en Guantánamo (DNF, 2008), siempre en las mayores elevaciones del país, entre las que están el Pico Real del Turquino (1 974 m s.n.m.; 19°59' N y 76°50' W), la mayor de Cuba; el Pico Cuba (1 872 m s.n.m.); el Pico Bayamesa (1 730 m s.n.m.) y el Pico Martí (1 722 m s.n.m.), todos en la Sierra Maestra, así como en las principales alturas de la región Sagua-Baracoa, donde la máxima altitud registrada es 1 231 m.

Al caracterizar el Monte Nublado, Bisse (1988) señala: *este tipo de vegetación es mojado diariamente por la neblina de las nubes que chocan con las montañas a esa altura. Estos montes constan de dos capas arbóreas y alcanzan una altura de 20 m. Es propia de esta vegetación la gran abundancia de formas epífitas; los troncos están cubiertos, hasta una altura aproximada de 3 m, por una densa capa de musgos y helechos, entre ellos y en primer lugar de Hymenophylláceas; las orquídeas están*

representadas en primer término por el género *Pleurothallis* y otros géneros afines. También existen, en los montes nublados, varias especies de *Lycopodiaceae* epífitas. En tanto que sobre el Monte Fresco apunta: en las alturas del macizo del Pico Turquino, especialmente en exposición sur, se encuentra esta vegetación en forma de monte bajo con una altura aproximada de 8 m, que no se puede incluir en los montes nublados porque sus participantes principales muestran rasgos más xeromorfos. La misma se asemeja mucho a los charrascales por la existencia de bambusoideas rastreras que la hacen casi impenetrable, pero aquí predomina el género *Chusquea*, no así el género *Arthrostylidium*, aunque se encuentra presente.

La proyección del comportamiento de la temperatura ambiental entre 1961 y 2099 para una cuadrícula de 50 x 50 km, cuyo centro está en los 20° N y los 77° W, se obtuvo a partir de las simulaciones realizadas por el Instituto de Meteorología para los escenarios climáticos A2 y B2 propuestos por el IPCC (2001), con los modelos de circulación global HECHAM y HADLEY, a nivel del mar (INSMET, 2010). Así, a partir de las bases de datos de las temperaturas mínima y máxima media mensual, fueron obtenidos los datos correspondientes al período 1960-2100, con intervalos de 10 años, para los meses de enero y agosto (el más frío y el más caliente del año, respectivamente). Posteriormente, para el conjunto de datos de cada variable correspondiente a cada escenario y modelo, fue estimada la tendencia de variación a lo largo del siglo empleando un modelo polinómico cuadrático, utilizando como estimador de ajuste el coeficiente de determinación (R^2). Para la temperatura media, primero se obtuvieron los datos mensuales para los mismos años que para la mínima y máxima, a partir de ellos se estimó la temperatura media anual y a estos valores se les aplicó el mismo procedimiento estadístico antes descrito.

Los resultados alcanzados con las temperaturas fueron valorados en términos de la potencial migración altitudinal que pudieran inducir sobre la distribución natural de las especies forestales arbóreas existentes en ambas formaciones naturales, tomando en consideración que, según lo planteado por el IPCC (2001a), un aumento de la temperatura media de 1,0 a 3,5 °C equivaldría a un aumento en altitud entre 150 y 550 m para las formaciones vegetales de montaña, lo que aproximadamente representa un aumento medio de altitud de 15 m por cada 0,1°C de aumento en la temperatura media.

Con respecto a la temperatura mínima media del aire, mientras que en el período 1961-1990 cabría encontrar temperaturas mínimas medias entre 11 y 14 °C a 1 000 m s.n.m. en el área de la Sierra Maestra, a finales del presente siglo esos valores habrán aumentado a un rango entre 15 y 17 °C. Sin embargo, en cuanto a la temperatura máxima media del aire, mientras que en el período 1961-1990 cabría encontrar temperaturas máximas medias entre 20 y 22 °C a 1 000 m s.n.m. en el área de la Sierra Maestra, a finales del presente siglo esos valores habrán aumentado a un rango entre 23 y 26 °C. En correspondencia con lo anterior, mientras que en el período 1961-1990 la temperatura media anual del aire presentaría valores entre 14 y 21 °C a 1000 m s.n.m. en el área de la Sierra Maestra, a finales del presente siglo esos valores habrán aumentado a un rango entre 17 y 22 °C.

Los resultados obtenidos señalan que de comportarse la temperatura media anual del aire en la forma prevista por los escenarios y modelos utilizados, en algún momento posterior a la mitad del presente siglo la formación forestal Monte fresco enfrenta el riesgo de desaparecer debido al desplazamiento altitudinal ascendente de sus especies en busca de mantener su adaptación al ambiente en que se desarrollan,

ya que en su totalidad son endémicas de los cuatro mayores picos del país: Real del Turquino, Cuba, Bayamesa y Martí, todos ubicados en la Sierra Maestra.

En cuanto a la formación Monte nublado, distribuida entre las mayores elevaciones de la Sierra Maestra y, de la cordillera Sagua-Baracoa en la provincia de Guantánamo, en la zona evaluada y para finales del presente siglo la formación habrá ascendido entre el 35% y el 55% de la altura que actualmente tiene disponible, buscando mantener una adaptación ambiental muy estricta, dado que el 62% de las especies que la integran son endémicas.

En el caso de la parte de la distribución correspondiente a Guantánamo, esta región no fue incluida en el análisis; sin embargo, cabe señalar que la altitud máxima de la Sierra Cristal no rebasa los 1 231 m, por lo que en los municipios Baracoa e Imías las mayores alturas son inferiores a este valor y que además, la temperatura media anual de la provincia es actualmente la más alta del país (26,3 °C), mientras que los municipios de Baracoa y San Antonio del Sur (límitrofe con Imías) alcanzan temperaturas medias anuales de 25,6 °C y 24,8 °C, respectivamente (INSMET, 2008). Estos datos, unidos al análisis efectuado por Ajete, Álvarez y Mercadet (2009) sobre los riesgos que enfrenta la diversidad arbórea forestal en Baracoa, hacen suponer que la parte de los Bosques nublados existente en Guantánamo enfrente a fines del siglo, mayores riesgos de extinción que los que afrontarán sus similares de la Sierra Maestra.

7.2.2.1.1. Estrategia de adaptación

- a) Acometer un exhaustivo proceso de documentación sobre las características y peculiaridades de la formación Bosque fresco y sus especies, empleando todos los recursos de las modernas tecnologías de la información, que permita proteger el conocimiento sobre lo que hoy existe y mantenerlo asequible a las generaciones futuras, aun cuando después desaparezca. Probablemente una parte importante de esta medida incluya la ejecución de investigaciones intensivas, que permitan ampliar el horizonte del conocimiento disponible sobre estos recursos.
- b) En el caso de los Bosques nublados, se dispone de más tiempo y una minoría de sus especies no son endémicas, compartiendo probablemente áreas de distribución de la formación Pluvilva de montaña. Por tal razón, las alternativas de adaptación para esta formación comprenden en esencia las mismas propuestas para los Bosques Frescos, con la atenuante de que para las especies no endémicas será posible acometer la protección de sus recursos en otras áreas nacionales del patrimonio forestal, sobre todo si estas se incluyen dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del País.
- c) En adición a lo anterior, una medida de adaptación que puede ser implementada con los Bosques frescos y nublados a corto plazo es, la reorganización de su distribución por categorías, cambiando la clasificación de las 16 303,8 ha existentes de estos bosques a la categoría de Bosques de Conservación Educativos y Científicos, para eliminar en ellos toda actividad extractiva con fines productivos y preservaría al máximo sus existencias.

7.2.3. IMPACTOS COMBINADOS DE CAMBIOS EN LA TEMPERATURA Y LA PRECIPITACIÓN

7.2.3.1. RENDIMIENTO DE RESINA DE *PINUS CARIBAEA* M. VAR. *CARIBAEA* B.&G

El estudio de caso fue llevado a cabo en dos parcelas de 30 árboles *Pinus caribaea* M. var. *caribaea* B.&G., en etapa fustal, establecidas en el área de la Estación Experimental Forestal de Viñales, Pinar del Río (22°37' N; 83°43' W; 150 m s.n.m.), con una topografía ondulada y suelo Ferralítico Cuarsítico Amarillo. La semilla utilizada para ambas plantaciones, con espaciamiento de 3 x 3 m, procedió de masas semilleras seleccionadas en áreas naturales de la especie, con similar nivel de ganancia genética masal e individual.

Los sitios de ambas plantaciones distan menos de un kilómetro, con similares suelos, altitudes, topografía e hidrología; la tecnología de resinación utilizada en ambos casos fue la misma: árboles de 20 cm o más de diámetro a 1,30 m sobre el suelo, en los que se realizaron picas descendentes con canal central, aprovechando un tercio de la circunferencia, con frecuencia semanal. La producción por árbol en cada pica (P) se obtuvo por diferencia de pesadas entre el envase recolector lleno y vacío (en gramos), y el rendimiento (R; en g*m-pica⁻¹) se estimó mediante la expresión:

$$R = (300 * P) * (\pi * D_{1,30})^{-1}$$

Donde: $D_{1,30}$ es el diámetro del árbol en centímetros, a 1,30 m sobre el suelo.

Con los datos de cada pica por árbol, se estimó el rendimiento medio semanal de la parcela y con las medias semanales correspondientes al mes, se estimó el rendimiento medio mensual de la especie. La resinación se prolongó durante cuatro años en ambos casos: la primera ocasión comprendió el período 1981-1984 (Álvarez *et al.*, 1991), y la segunda, el período 2005-2008 (Ávila, 2010), separadas ambas por un tiempo de 20 años.

La marcha anual de la temperatura máxima y mínima promedio mensual del aire y la temperatura máxima y mínima promedio anual del aire durante ambos períodos de resinación, fueron estimadas a partir de los registros de las estaciones meteorológicas de los municipios Minas de Matahambre y La Palma, debido a que el municipio Viñales no cuenta con una estación de este tipo. Los municipios de las estaciones de referencia se encuentran al Oeste y al Este del municipio Viñales, respectivamente.

Del primer período de resinación al segundo, el rendimiento medio anual de la especie aumentó en 43,88 g*m-cara⁻¹, con cambios importantes en los meses comprendidos de marzo hasta octubre, variaciones que no pueden ser atribuidas ni a una diferencia de calidad genética de los árboles de las parcelas, ni a diferencias edáficas de los sitios, por ser ambos elementos similares para las dos parcelas, razón por la cual solo resta buscar una explicación en el clima reportado para ambos períodos.

Se puede afirmar que la diferencia climática existente entre los períodos 1981-1984 y 2005-2008 en las estaciones meteorológicas de M. Matahambre y La Palma, estuvo caracterizada porque en el segundo período ocurrió un aumento de la temperatura mínima ambiental de julio a enero entre 0,6 y 1,6 °C, acompañado de una disminución de las lluvias durante todo el año, que redujo el acumulado anual entre 107,3 y 138,9 mm y dada la posición geográfica de ambas estaciones

con respecto al área de estudio. Cabe esperar que también allí tengan un patrón de comportamiento similar estas variables climáticas, causando la inversión del patrón anual de los rendimientos mensuales de resina de la especie valorada.

Hasta la fecha de este informe no se conocen reportes sobre la ocurrencia de un proceso similar en el género *Pinus* ni nacional, ni internacionalmente.

7.2.3.1.1. Estrategia de adaptación

- a) Las modificaciones detectadas en esta localidad con el comportamiento de los rendimientos medios mensuales *P. caribaea* a lo largo del año, indican la conveniencia de someter a un reanálisis la regulación técnica vigente sobre la planificación anual de las fases de trabajo de la resinación, porque su validez puede estar condicionada a la variación que haya presentado el comportamiento de la temperatura y de las lluvias en diferentes lugares durante los últimos 20-30 años, y puede ocurrir que también en otras partes el período apropiado para la preparación de las áreas deba ser trasladado a los meses de noviembre a enero.
- b) De confirmarse la existencia de un patrón general de modificación de los rendimientos de resina a lo largo del año en esta especie, procedería la modificación de la regulación técnica actual y se reforzaría la posibilidad que también esté sucediendo algo similar en las otras tres especies de pinos cubanos.

7.2.4. RIESGOS DE LA DIVERSIDAD ARBÓREA FORESTAL EN LA EFI BARACOA

La Empresa Forestal Integral Baracoa se encuentra en la parte norte del extremo más oriental de la provincia de Guantánamo, ubicada entre los 20,16 y los 20,55° N y entre los 74,29 y los 74,79° W; limita al Norte con el océano Atlántico, al Este con el municipio Maisí, al Sur con los municipios Imías y San Antonio del Sur, al Suroeste con el municipio Yateras, todos de la provincia Guantánamo y al Noroeste con el municipio Moa, de la provincia Holguín.

El patrimonio forestal administrado por la EFI Baracoa comprende 54 143,8 ha, con 53 475,8 ha de área forestal mayoritariamente cubierta por bosques naturales (MINAG, 2002), y el manejo del mismo es realizado a partir de la subdivisión de todo el territorio en cuatro unidades silvícolas: Cayo Güín, Palma Clara, Baracoa y Paso de Cuba, en las que existe un volumen en pie de 11 209 544,3 m³. La empresa posee 95% de su superficie montañosa, con pendientes mayores de 15%, mientras que el 5% restantes se encuentra en áreas limitadas por los valles aluviales, llanuras aluvio-marinas y cárnicas. Las alturas oscilan entre la cota cero y los 700 m s.n.m., encontrándose las menores de 100 m s.n.m. en la franja costera y penetrando en los valles fluviales.

Para la generación de los escenarios climáticos fue utilizado el sistema PRECIS (Suministrador de Climas Regionales para los Estudios de Impacto), sistema de modelado climático regional derivado del modelo de clima global (GCM) de tercera generación del Hadley Centre en el Reino Unido y se obtuvieron los siguientes escenarios climáticos para el área comprendida entre los 20-21° N y los 74-75° W, bajo los escenarios de emisiones A2 y B1:

- Comportamiento de la temperatura media del aire (°C), para enero 2011, 2015, 2020, 2025 y diciembre del 2029.

- Comportamiento de la temperatura mínima del aire (°C), para enero 2011, 2015, 2020, 2025 y diciembre del 2029.
- Comportamiento de la proporción de precipitación total (mm/día), para enero 2011, 2015, 2020, 2025 y diciembre del 2029.

Los escenarios climáticos obtenidos fueron analizados de manera integrada por variable climática, considerando sus patrones de variación temporal para el área de estudio y los resultados alcanzados con las temperaturas fueron valorados en términos de la potencial migración altitudinal que pudieran inducir sobre la distribución natural de las especies forestales arbóreas existentes en la EFI Baracoa, en especial las endémicas y las protegidas, efecto complementado por la acción de la variación reportada para la disponibilidad de agua.

Los resultados alcanzados con ambas temperaturas (media y mínima) bajo los dos escenarios de emisión (A2 y B1) indican que en general deben esperarse aumentos entre 0,48 y 0,88 °C en la costa y entre 0,53 y 1,03 °C en las montañas, para el período 2011-2029. Ello evidencia que, con la excepción de la temperatura media de la zona montañosa en el 2011, todos los restantes aumentos de temperatura serán siempre mayores en las áreas montañosas del territorio de la EFI Baracoa que en las áreas costeras y que en general, todo el territorio de la Empresa evolucionará hacia un clima más caliente que el registrado en el período 1961-1990. Mientras tanto en términos del acumulado anual de lluvias, los resultados del 2011 y del 2029 implican aumentos entre 36,5 mm (en la costa) y 73,0 mm (en las montañas), mientras que los del 2020 representan disminuciones entre 164,3 mm (en las montañas) y 237,3 mm (en la costa).

De manera general, con independencia de los escenarios de emisiones utilizados y de los años considerados, la tendencia climática futura del territorio comprendido por la Empresa Forestal Integral Baracoa (hasta fines del 2029) será hacia un clima más cálido y menos húmedo. Donde las regiones montañosas presentarán mayores aumentos de temperatura y menores reducciones de las lluvias que las costeras y ello pudiera significar que hasta principios del 2011, el rango de distribución altitudinal de las especies de montaña podría presentar un desplazamiento entre 72 y 85 m hacia la cima, en dependencia del escenario de emisiones valorado, corrimiento que a principios del 2020 pudiera alcanzar entre 94 y 100 m para, al final del 2029 llegar a un máximo entre 105 y 120 m.

De las principales 79 especies forestales arbóreas reportadas para el territorio de la empresa, 36 son exclusivas de la formación Pluvilsilva de montaña y de estas últimas, 27 son endémicas, siete están específicamente distribuidas en Baracoa (todas endémicas) y dos se encuentran ya protegidas por sus escasas existencias físicas (ambas endémicas y en Baracoa). Si, como señalara Bisse (1988), se toma en cuenta que con la excepción del NW de la región oriental del país (área de Nipe-Sagua), la formación Pluvilsilva de Montaña se encuentra en las montañas por encima de 600 m s.n.m. y las zonas montañosas del área de Baracoa excepcionalmente superan los 850 m s.n.m., entonces un desplazamiento altitudinal hacia la cima entre 70 y 120 m para los años 2011 al 2029 podría colocar en grave riesgo los recursos genéticos de las 37 especies identificadas como exclusivas de esa formación en la empresa. Esto afectaría la diversidad biológica de la región, riesgo cuya intensidad crecería en la medida en que la especificidad de su distribución aumentara y/o la abundancia de sus existencias físicas disminuyera, situación que se agudizaría de forma creciente más allá del 2029, en caso que la concentración de gases de efecto invernadero en la

atmósfera mantuviera el patrón de aumento actualmente considerado, pudiendo dar lugar incluso, a la extinción de varios de estos taxa.

A los aspectos hasta aquí señalados, referidos solo a los efectos de la temperatura, habría que añadir además el de la disminución de las lluvias en las regiones montañosas del área de la Empresa, del orden de los 164 mm anuales en el 2020. Dadas las características del régimen pluviométrico de la región de Baracoa, el mayor de Cuba y del orden de los 2 000 mm anuales, una reducción equivalente al 8% del total no significaría una modificación drástica de la disponibilidad de agua o de la humedad en la región, así como tampoco acrecentaría de manera destacada los riesgos potenciales de incendios.

Sin embargo, estas 37 especies, bajo el estrés térmico causado por el aumento de la temperatura se verán obligadas a reducir su evapo-transpiración por una parte y a modificar su área altitudinal de distribución por otra, lo que propiciaría un estado de alteración de sus respectivos equilibrios poblacionales. Si a ello se adiciona la interacción que pudiera originar una pequeña disminución de la disponibilidad de agua, entonces podría originarse una magnificación del impacto general causado, razón por la que esta ligera disminución de la lluvia no debe ser desestimada.

En base al análisis anterior se considera que en el área de la EFI Baracoa las especies forestales arbóreas que enfrentarán los máximos riesgos ante el aumento de temperatura y la variación de las lluvias, serán:

- **Primer grupo de riesgo** (especies bajo protección por la Ley Forestal, endémicas, exclusivas de la formación Pluvilsilva de montaña y reportadas para Baracoa): *Magnolia cacuminicola* Bisse y *Victorinia regina* (Leon) Leon (sabrosa).
- **Segundo grupo de riesgo** (especie bajo protección por la Ley Forestal, endémica, exclusiva de la formación Pluvilsilva de montaña y reportada para el Norte de la región oriental): *Pera ekmanii* Urb. (jiquí).
- **Tercer grupo de riesgo** (especies endémicas, exclusivas de la formación Pluvilsilva de montaña y reportadas para Baracoa): *Bonnetia cubensis* (Britt.) Howard; *Henriettella acunae* Alain; *Laplacea moaensis* M. Vict.; *Ocotea moaensis* Bisse y *Podocarpus ekmanii* Urb.
- **Cuarto grupo de riesgo** (especies endémicas, exclusivas de la formación Pluvilsilva de montaña y especies reportadas para el Norte de la región oriental): *Ardisia grisebachiana* (Kuntze) Alain; *Byrsonima biflora* Griseb (sangre de doncella); *Calophyllum utile* Bisse (ocuje colorado); *Coccoloba costata* Wr. ex Sauvalle (uvilla); *Erythroxylon longipes* O. E. Schulz.; *Guapira rufescens* (Griseb) Lundell. (hilacho, hilacho de charrasco); *Guatteria cubensis* Bisse; *Haenianthus variifolius* Urb.; *Hyeronima nipensis* Urb.; *Linociera cubensis* (P. Wils.) Urb.; *Magnolia cristalensis* Bisse (laurel); *Maytenus loeseneri* Urb. (sangre de toro); *Mettenia acutifolia* Britt. et Wils.; *Terminalia nipensis* Alain y *Terminalia orientensis* Monachino.

7.2.4.1. ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN

- a) Estaría orientada hacia la conservación *ex situ* de los recursos amenazados, empleando para ello no solo los jardines botánicos y la conservación *in vivo* en otros lugares, sino también técnicas de conservación a largo plazo de material propagativo que incluyan polen, semillas y tejidos. No obstante, ello requerirá la

localización sobre el terreno de ejemplares de cada una de estas especies y la determinación de su abundancia relativa; la identificación de su fenología; la recolección de material propagativo (polen, semillas y tejidos) y la identificación de su manejo o beneficio, para finalmente acometer la determinación del protocolo de conservación a seguir para cada especie y material propagativo.

- b) La mayor parte de los aspectos antes señalados hoy no se conocen en lo absoluto para estas especies o se conocen insuficientemente, por lo que también como parte de la estrategia de adaptación habrá que desarrollar un programa de investigación que permita dar respuesta a todos los elementos necesarios.
- c) La conservación *in vivo* de estos taxones requerirá el previo conocimiento de la variabilidad intraespecífica de cada uno, a fin de que ella quede adecuadamente representada en las áreas de conservación que se establezcan, objetivo para el cual será preciso también poner a punto las técnicas de manejo en vivero y plantación, para que las áreas que se creen alcancen la supervivencia necesaria.

7.2.5. RIESGO DE MUERTE REGRESIVA DEL BOSQUE

Partiendo de los valores promedio mensuales provinciales de la temperatura media del aire durante el período 1981-2000 (INSMET, 2008), asumidos como representativos para todos los municipios de una misma provincia y de los valores municipales de la pluviosidad acumulada para el período 1961-2000 (INRH, 2008), fue estimada la temperatura media anual y la pluviosidad acumulada media anual del país. La diferencia en los períodos de tiempo considerados para la estimación del valor medio anual de cada variable (22 años para la temperatura y 40 para la pluviosidad), estuvo determinada por el nivel de variación inherente a cada una de ellas.

Fueron señalados gráficamente en un mapa todos los municipios cuya temperatura media anual del aire fuese superior a la media nacional y cuya pluviosidad acumulada anual fuese inferior a la media nacional. Se identificaron los valores mínimo y máximo de temperatura y lluvia correspondientes a este conjunto de municipios y el rango comprendido entre los valores extremos fue dividido en tres partes, para identificar así los límites de valores de las dos variables que determinaban las categorías de leve, medio y alto nivel de riesgo climático para muerte regresiva de sus bosques (tabla 7.5). El conjunto de municipios antes identificado fue clasificado y representado gráficamente, según estas categorías de riesgo y ubicado espacialmente sobre un mapa del país.

Tabla 7.5. Categorías de riesgo de muerte regresiva de los bosques

TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIONES (mm/año)		
	1 320-1 096	1 095-871	870-647
25,27 - 25,59	Leve	Leve	Medio
25,60 - 25,92	Leve	Medio	Alto
25,93 - 26,27	Medio	Alto	Alto

A partir de los resultados de la Dinámica Forestal al término del 2007 (Dirección Nacional Forestal, 2008), fueron identificadas las especies que componían las plantaciones de más de tres años de establecidas en cada uno de los municipios de riesgo alto, así como las formaciones forestales naturales en ellos existentes, identificando luego las especies principales que las componen. En el caso de las formaciones forestales, la composición de especies más abundantes en las formaciones se obtuvo a partir de Bisse (1988).

De acuerdo a la información disponible, se identificó si la especie era de rápido crecimiento (Bisse, 1988; Mercadet *et al.*, 2000) y/o si la densidad de su madera no era alta (Álvarez y Mercadet, inédito), adoptándose como límite máximo para ello un valor de $700 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ en la densidad estimada mediante secado al aire de la madera (Álvarez, 2010). En base a la rapidez del crecimiento y/o a la densidad de la madera fueron identificadas las especies arbóreas que en plantaciones o en bosques naturales enfrentarían los mayores riesgos de muerte por los efectos combinados del estrés hídrico y el calor, valorándose las implicaciones que de ello pudieran derivarse para la cobertura forestal de los municipios analizados.

La proyección futura de las variables climáticas vinculadas a la aparición de la muerte regresiva de los bosques fue realizada, a partir del análisis de los efectos del escenario A2 de emisiones de gases de efecto invernadero (IPCC, 2001) en la región del Caribe, para la temperatura media del aire en enero y agosto (meses de valores promedio mínimo y máximo en los municipios de interés, respectivamente) y la precipitación total en enero y mayo (meses de acumulados mínimo y máximo en los municipios de interés, respectivamente), utilizando el generador de escenarios PRECIS (Wilson *et al.*, 2008), empleando períodos de 10 años a partir del 2011. La estimación de la tendencia en el tiempo fue realizada utilizando un ajuste potencial en el primer caso y polinómico en el segundo, calculándose el coeficiente de determinación correspondiente.

Para el análisis de la evolución futura de la vegetación del país fueron empleados los resultados de la modelación de la zonas de vida de Holdridge para Cuba en los años 2000, 2030, 2050 y 2100, presentados en la Primera Comunicación Nacional a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) (Centella, Llanes y Paz, 2001).

7.2.5.1. MUNICIPIOS CON MAYORES RIESGOS DE MUERTE REGRESIVA

La distribución de los 15 municipios donde los bosques existentes enfrentan los mayores riesgos de muerte regresiva en el país (con temperatura superior a la media nacional y acumulado de lluvias inferior a la media nacional), distribuidos por categoría de riesgo (según la tabla 7.5), se presenta en la tabla 7.6.

7.2.5.2. BOSQUES EN MUNICIPIOS CON MAYOR RIESGO DE MUERTE REGRESIVA

Las informaciones disponibles con respecto a las plantaciones existentes indican que el principal riesgo lo enfrenta el municipio Manuel Tames, de la provincia Guantánamo, al registrar el 82,2% de sus plantaciones con ipil-ipil (especie que cumple ambas características). Mientras que los tres municipios de la provincia Granma reducen sustancialmente sus riesgos al no concentrar sus plantaciones en pocas especies, aun cuando el municipio Jiguaní reporta el 34,6% de sus plantaciones totales también con esta misma especie.

Tabla 7.6. Municipios donde los bosques existentes enfrentan los mayores riesgos de muerte regresiva en el país

MUNICIPIOS CON RIESGO MEDIO				MUNICIPIOS CON RIESGO ALTO			
PROVINCIA	MUNICIPIO	T (°C)	P(mm)	PROVINCIA	MUNICIPIO	T (°C)	P(mm)
Guantánamo	San Antonio del Sur	26,27	1 142	Guantánamo	Caimanera	26,27	647
Guantánamo	Guantánamo	26,27	1 275	Guantánamo	Niceto Pérez	26,27	910
Granma	Río Cauto	25,99	1 110	Guantánamo	Manuel Tames	26,27	998
Granma	Niquero	25,99	1 132	Granma	Jiguaní	25,99	929
Granma	Manzanillo	25,99	1 185	Granma	Cauto Cristo	25,99	937
Granma	Media Luna	25,99	1 199	Granma	Bayamo	25,99	1072
Granma	Yara	25,99	1 217				
Granma	Pilón	25,99	1 292				
Las Tunas	Puerto Padre	25,58	864				

T: temperatura P: precipitación

En cuanto a los bosques naturales, el municipio Caimanera concentra sus existencias en la formación Xerófilo típico, con bajos niveles de riesgo. La única excepción reportada es la especie *Simaruba glauca* var. *latifolia*, que presenta una densidad de la madera de 595 kg*m⁻³, aspecto que le otorgaría cierta vulnerabilidad a los impactos climáticos. Mientras que el municipio Cauto Cristo presenta sus principales existencias de bosques naturales en la formación Semideciduo sobre suelos de mal drenaje, formación donde fue identificada una especie de rápido crecimiento entre sus principales componentes (*Crescentia cujete*) y otras tres especies con densidades de la madera inferiores a 700 kg*m⁻³ (*Annona glabra*, *Cordia collococca* y *Tabebuia angustata*), conjunto de elementos que unido a las pocas especies arbóreas principales que se reportan para esta formación (12 especies), aumentarían el nivel de riesgo de este municipio con respecto al anterior; sin embargo, la relativa abundancia de agua en el territorio por la cercanía del río hace poco probable la ocurrencia de un proceso agudo de sequía, lo que reduciría el riesgo a enfrentar.

7.2.5.3. RIESGOS EN MUNICIPIOS MÁS VULNERABLES A LA MUERTE REGRESIVA

La perspectiva futura de cómo pudieran evolucionar los niveles de riesgo identificados en el presente solo pudo ser valorada en base a las variables climáticas, pues no se dispone de escenarios temporales que analicen los cambios futuros de las plagas forestales.

De forma general, las situaciones futuras a lo largo del siglo XXI derivadas del análisis del escenario A2 indican que en ambas provincias y para los seis municipios considerados, las temperaturas tenderán a aumentar aun más, mientras que las lluvias en el mes más seco del año presentarán escasas variaciones, pero en el mes

más lluvioso, exhibirán fuertes cambios que en Granma estarán caracterizados por la alternancia de años de disminución y de aumento, mientras que en Guantánamo siempre ocurrirán disminuciones, alternando años de mayores y menores disminuciones con respecto a los valores medios del período 1961-1990.

Tales resultados indican que los riesgos futuros de los seis municipios hoy más vulnerables a la muerte regresiva de los bosques aumentarán progresivamente a lo largo del siglo, aun cuando las emisiones de gases de efecto invernadero correspondientes al escenario A2 iniciarán una sostenida disminución, porque en tal caso la inercia propia del sistema climático impedirá que tales cambios de emisiones se reviertan en cambios positivos a corto plazo, de las variables climáticas consideradas.

7.2.5.4. ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN

- a) Establecer un sistema informativo de alerta climática para el Sector Forestal, con alcance municipal.
- b) Reforzar el monitoreo de bosques naturales y plantaciones en los 15 municipios de riesgos medios y altos, especialmente cuando entre noviembre y abril la temperatura del aire supere los 24 °C y cuando entre mayo y octubre, la lluvia mensual sea inferior a 150 mm.
- c) Evitar el empleo de especies de rápido crecimiento y/o bajas densidades de la madera en los planes de (re)forestación que en el futuro se desarrollen en los seis municipios de mayores riesgos.
- d) Acometer la paulatina sustitución de las 3 889,2 ha de plantaciones de *Leucaena leucocephala* (ipil-ipil), *Pithecellobium dulce* (inga dulce), *Albizia saman* (algarrobo del país), *Eucalyptus* spp. (eucalipto) y *Tectona grandis* (teca), existentes en los seis municipios de mayores riesgos.
- e) Acometer en los municipios Jiguaní, Bayamo, N. Pérez y M. Tames, mediante la tala selectiva y la reconstrucción de bosques, la paulatina sustitución de las 20 especies de alto riesgo existentes en las más de 23 Mha de la formación Semidecidua sobre calizas.

7.2.6. IMPACTOS POR EL AUMENTO DEL NIVEL MEDIO DEL MAR

7.2.6.1. EFI MAYABEQUE, PROVINCIA LA HABANA

La Empresa Forestal Integral Mayabeque está ubicada en la provincia del mismo nombre, por lo que sus límites geográficos son: al Norte la provincia de La Habana y el estrecho de La Florida, al Sur el golfo de Batabanó, al Este la provincia de Matanzas y al Oeste la provincia de Artemisa. Por su posición geográfica está incluida en la región de Cuba más seriamente amenazada y azotada por huracanes en la temporada ciclónica (junio-noviembre) (Limia, Vega y Pérez, 2007). La precipitación media anual es 1 398 mm (INRH, 2007); la temperatura máxima anual 28,7 °C, la mínima anual 18,7 °C, y la media anual 22,0 °C; la humedad relativa media anual es de 80%, mientras los vientos predominantes son del ENE, con una velocidad media anual de 5,3 km/h (INSMET, 2007).

Los bosques de la empresa están caracterizados por tener tres categorías: productor, protector agua y suelo y protector del litoral. Presenta una composición mayoritaria

de bosques naturales con las formaciones Semidecídúo sobre caliza, Semidecídúo sobre suelos de mal drenaje, Manglar, Xerófilo de mogotes, Cuabal y Uveral.

El área empleada para el estudio comprendió los nueve municipios situados al sur de la provincia e incluyó el análisis de los impactos esperables a partir del escenario de emisiones A1C (IPCC, 2001), para una sensibilidad climática alta (4,2 °C), con las proyecciones de aumento del nivel medio del mar para Cuba en los años 2050 y 2100 (Modelo MAGICC/SCENGEN, versión 4.1; IPCC, 2001), reportado por Salas (2008), así como por la ocurrencia de un huracán categoría 5 en la escala Saffir-Simpson que circulara paralelo a la costa sur de la provincia, tomando en consideración que investigaciones realizadas por el Instituto de Meteorología han señalado que en tal caso, el área de Surgidero de Batabanó es el lugar de máximo riesgo de surgencia en el país, con una sobre-elevación potencial del mar de hasta 8 m de altura.

La capa con la distribución espacial de los lotes forestales de la empresa existentes en los nueve municipios del sur de la provincia fue facilitada por el Departamento Ordenación Forestal del Grupo Empresarial Agricultura de Montaña (GEAM), en tanto que la correspondiente a la penetración del mar para los años y el escenario utilizado fue suministrada por la Agencia de Medio Ambiente de CITMA, que adicionalmente entregó la correspondiente a la penetración del mar que ocurriría por surgencia. A partir de la superposición de estas informaciones gráficas, fueron identificados los lotes y rodales que recibirían el impacto del aumento del mar; y con la información contenida en el proyecto de ordenación forestal de la empresa, se determinaron las superficies afectadas y los volúmenes de madera allí existentes.

El aumento del nivel del mar: con la única excepción de los lotes situados más tierra adentro en los municipios Nueva Paz y Melena del Sur, todos los restantes serán afectados en algún grado por la penetración prevista por el mar a lo largo del siglo, bajo el escenario utilizado y del patrimonio administrado se perderían 35 617,01 ha que quedarían cubiertas por el mar, área equivalente al 71,9% del patrimonio de la empresa en los nueve municipios del sur y al 50,2% administrado en toda la provincia.

Al término del 2007, de la superficie total que resultaría afectada, 15 608,45 ha estaban cubiertas de bosques naturales y plantaciones con más de tres años de establecidas (48,2% de la superficie administrada en los municipios del sur), en las que existía un volumen de madera en pie ascendente a 1 349 677,60 m³, para un promedio de 86,47 m³*ha⁻¹, así como 1 480,4 ha pendientes de reforestar o con plantaciones con menos de tres años de establecidas que representarían un volumen potencial adicional de madera en pie equivalente a 128 010,19 m³, por lo que el impacto potencial del aumento del nivel del mar a lo largo de los restantes 90 años del presente siglo pudiera llegar a comprometer un total general de 1 477 687,79 m³ de madera en pie en la superficie que quedaría bajo las aguas. Y suponiendo que al menos una parte de las 10 688,03 ha de manglares reportadas en el 2007 fuese capaz de adaptarse al paulatino aumento del nivel del mar, aun restarían más de 4 988,05 ha de bosques en desarrollo o ya establecidos, con 402 330,35 m³ de madera en pie, cuyas especies serían incapaces de mantenerse en terrenos permanentemente inundados y con altos tenores salinos.

Sin embargo, el Instituto de Meteorología ha alertado que el escenario A1C es el resultado de un modelo global, no ajustado para la región del Caribe, en tanto que el Instituto de Oceanología (Hernández *et al.*, 2010), ha señalado que el escenario

empleado no incluye las variaciones intra e interanuales del nivel del mar en las costas del país. Las cuales en base a los registros mareográficos de la estación de La Coloma, la más próxima a la zona de estudio, presentaron una variación intra-anual entre 6-25 cm en 1997 y entre 8-30 cm en 1998, para una variación interanual media del mar de 10,32 cm en años normales, cifra que aumentaría hasta 20,00 cm en los años de ocurrencia de un evento ENOS, por lo que tales valores tendrían que ser añadidos a los generados por el escenario utilizado, elevando entonces el nivel del mar hasta 37-47 cm en el 2050 y 95-105 cm en el 2100 y en ese caso, se espera que aun menos lotes forestales del sur de la provincia escapen a este impacto del cambio climático.

La surgencia de un huracán: la totalidad de los lotes forestales administrados por la EFI Mayabeque en el sur de La Habana tendrían que enfrentar el impacto no solo del ablandamiento del suelo causado por la lluvia y de vientos sostenidos superiores a $250 \text{ Km} \cdot \text{h}^{-1}$ propios de un huracán categoría 5, sino también el embate del mar originado por la surgencia, cuya penetración en profundidad superaría con creces los límites de la distribución espacial del recurso forestal, conjunto de factores que ocurrirían simultáneamente y no en el marco temporal de un siglo, sino cuando más en el lapso de algunos días.

De producirse tal situación, del patrimonio administrado 41 795,53 ha enfrentarían los efectos de la surgencia, área equivalente al 84,4% del patrimonio de la empresa en los nueve municipios del sur y al 58,9% administrado en toda la provincia, área en la que al término del 2007 estaba reportada la existencia de 1 578 285,82 m³ de madera en pie.

7.2.6.1.1. Estrategia de adaptación

La formulación de una estrategia de adaptación para la situación específica de la EFI Mayabeque ha obligado a tomar en consideración un conjunto de elementos adicionales a los ya expuestos, que no están directamente relacionados con la actividad forestal, por lo que partiendo del análisis conjunto de toda la información disponible para el estudio de caso, se propone lo siguiente:

- a) En el tramo de la costa sur comprendido desde el límite Este del municipio Nueva Paz hasta el límite Oeste del municipio Artemisa, suspender definitivamente toda labor de aprovechamiento forestal en una profundidad de 15 km a partir de la línea costera y recategorizar todo el patrimonio forestal comprendido en el área, clasificándolo como áreas de conservación.
- b) Reforzar al máximo nivel posible la ejecución del programa de reforestación en toda la región litoral de los nueve municipios del sur de la actual provincia La Habana, especialmente en lo referido a los manglares, tomando en cuenta las recomendaciones que a este respecto sean formuladas por los equipos de trabajo que abordan el estudio de las zonas costeras tanto en el Instituto de Ecología y Sistemática (IES), como en el Instituto de Oceanología (IDO), ambos de CITMA.
- c) Tomar en cuenta la posible existencia de especies amenazadas o protegidas (animales y vegetales) en las zonas que serán afectadas por el aumento del nivel del mar, implementando con ellas una estrategia de conservación *ex situ* con un tiempo de antelación apropiado.

- d) Se enfatiza la importancia de reflejar adecuadamente todos los aspectos de esta estrategia en los proyectos de ordenación forestal de las empresas forestales correspondientes.
- e) Se advierte sobre la posible existencia de impactos colaterales en otros sectores económicos y ambientales, que deberán ser valorados por personal competente para formular complementariamente sus respectivas estrategias de adaptación.
- f) Mantener la existencia de la EFI Mayabeque en la nueva provincia de igual nombre, incluyendo en su objeto la prestación de atención especializada a los bosques costeros del sur de la provincia, desde el municipio Batabanó hasta el municipio Nueva Paz.
- g) Encomendar a la empresa forestal apropiada en la nueva provincia de Artemisa, incluir dentro de su objeto la atención especializada a los bosques costeros del sur de la provincia, desde el municipio Artemisa hasta el municipio Quivicán.

7.2.7. EFI VICTORIA DE GIRÓN, PROVINCIA MATANZAS

Ubicado al sur de la provincia Matanzas se localiza el municipio Ciénaga de Zapata, que constituye el mayor humedal de Cuba y del Caribe insular; colinda al Norte con el municipio de Jagüey Grande, al Este con la provincia Cienfuegos y al Noroeste con la provincia La Habana. La administración de la península de Zapata está subordinada a la Empresa Forestal Integral Victoria de Girón (actualmente fue transferida a la Empresa Nacional para la Conservación de la Flora y la Fauna del MINAG).

La extensión territorial de la Empresa supera las 436 mil hectáreas, con un área forestal de 276 801 ha casi totalmente cubierta de bosques (96%), caracterizada por una temperatura mínima de 20-25 °C y máxima de 25-30 °C y una precipitación media anual de 1 375 mm (1 000-1 200 mm en la costa y 1 200-1 400 mm en el resto del área, excepto en la parte central, donde es de 1 400-1 600 mm) (MINAG, 2000). En ella se han registrado alrededor de 900 especies de plantas autóctonas agrupadas en 110 familias, destacándose 115 endémicas cubanas, de las cuales cinco son locales.

La empresa cuenta con tres unidades silvícolas, siendo las principales Manglar, Bosques semicaducifolio sobre mal drenaje, Bosques semicaducifolio sobre caliza y Herbazal de ciénaga. Las plantaciones se encuentran en las zonas más elevadas y se han llevado a cabo mediante hoyos de plantación o subsolación, según el caso, constituyendo generalmente plantaciones puras.

Para el estudio se tomaron las elevaciones del mar derivadas del escenario de emisiones IS92A y de los reportes del Instituto de Oceanología (2006), teniendo en cuenta que el primero prevé los mayores valores de elevación del nivel mar. Las distancias de penetración para cada tipo de pendiente en cada año (2015, 2030, 2050 y 2100) fueron estimadas mediante la expresión propuesta por Álvarez, Milián y Álvarez (1998), variando entre un mínimo de 17 y 24 m en el 2010, para una pendiente de 0,20% y entre un máximo de 1 000 y 2 760 m en el año 2100, para una pendiente de 0,02%. A partir de esos resultados, fue realizada la determinación cuantitativa del área y volumen perdidos, empleando una plantilla de puntos y utilizando una escala lineal, tomando como base el volumen total de la entidad.

7.2.7.1 EVALUACIÓN CUALITATIVA

La elevación del nivel del mar prevista para el 2010, conllevará ligeros impactos negativos en las áreas cubiertas por la asociación *Rizophora mangle* + *Avicennia germinans* y también sufrirán un ligero impacto las asociaciones *Conocarpus erecta* + *Bursera simaruba*; *Coccoloba retusa* (icaquillo macho) + *Pera bumeliaefolia* (jiquí espinoso) y el uveral (*Coccoloba uvifera*). En el año 2030 los impactos negativos aumentarán provocando la muerte de las especies *Conocarpus erecta*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y la asociación *Lysiloma latisiliquum* + *Bursera simaruba* (soplillo y almácigo) en aquellas áreas que queden permanentemente inundadas. En el año 2050 los impactos negativos serán reforzados por el aumento considerable de las ciénagas, la Laguna del Tesoro y los canales, lo cual conllevará la muerte fundamentalmente de *Conocarpus erecta* y las asociaciones *Bucida buseras* (júcaro) + *Tabebuia* spp. (roble) y, *Annona glabra* (bagá) + *Chrysobalanus icaco* (icaco). Para el año 2100 los impactos negativos ocasionarán considerables daños (sobre todo en aquellos lugares de pendiente igual o menor a 0,08%), al afectarse por el aumento considerable de las ciénagas, canales y lagunas, incluso áreas de vegetación boscosa no inundadas que se encuentran hacia zonas interiores, como son parte de los bosques decídúos caracterizados por la asociación (guayabillo) + *Spondias mombin* (jobo), así como una porción de los bosques subperennifolio mesófilo caracterizados por la asociación *Taliparathy elatus* (majagua) + *Prunus occidentalis* (cuajaní); también son de esperar afectaciones en zonas caracterizadas por la asociación *Conocarpus erectus* (yana) + *Bursera simaruba* (almácigo) y los uverales (*Coccoloba uvifera*).

Al afectarse su hábitat, especies tales como *Capromys pilorides* (jutía conga, endémico), *Asio stygius* (siguapa, endémico), *Epicrates angulifer* (majá de Santa María, endémico), *Anolis luteogulares* (chipojo, endémico), *Limnothlypis swainsonii* (bijirita de Swainson, endémico de la Ciénaga de Zapata), *Hemiltherus vermivorus* (bijirita gusanera, endémico de la Ciénaga de Zapata), *Chamaeleolis chamaeleonides* (chipojo ceniciento, endémico de la Ciénaga de Zapata), *Amazona leucocephala* (cotorra, endémico y en peligro de extinción), *Phoenicopterus ruber* (flamenco), *Falco peregrinus* (halcón peregrino), *Capromys prehensilis* (jutía carabalí, endémico), *Agelaius assimilis* (mayito de ciénaga, endémico), *Lepisosteus tristocchus* (manjuarí, endémico de la C. Zapata, en peligro de extinción) se verán forzadas a emigrar.

En adición a lo anterior, como consecuencia de la penetración del mar los tenores salinos de los acuíferos subterráneos y de los suelos irán aumentando progresiva y sostenidamente, afectando a todas las especies arbóreas de bosques naturales y plantaciones próximas a la autopista nacional, pudiendo incluso superar ese límite e incidir sobre cultivos frutales y agrícolas ubicados en el municipio Jagüey Grande.

7.2.7.2. EVALUACIÓN CUANTITATIVA

Atendiendo a la variación de la penetración del nivel del mar para el año 2100, se fijará una nueva línea de marea. Estas áreas ocupadas, actualmente por una vegetación temporalmente inundada conformada por Herbazales de ciénaga, Manglar y Bosque de ciénaga (*Annona glabra* con *Chrysobalanus icaco*; *Bucida buseras* con *Tabebuia angustata*) hacia el Oeste y de Bosques semicaducifolios (*Metopium brownei* con *Swietenia mahagoni*), bosques subperennifolios mesófilos (*Taliparathy elatus* con

Calophyllum antillanum y *Prunus occidentalis*) y Bosques semidecídúos mesófilos (*Lysiloma latisiliquum* con *Bursera simaruba*) hacia el Este, quedarán bajo la influencia del mar.

El impacto esperable es que de 436 878 ha existentes en la empresa, en el 2100 se afectarán por el aumento del nivel del mar 27 205 ha, donde existen casi 300 mil metros cúbicos de madera en pie, en tanto que el cambio que se producirá en la línea de marea añadirá a esta cifra 1 348 ha de bosques semidecídúos que serán paulatinamente convertidos en manglar, creciendo esta última formación en 63 892 ha (11,57%) con respecto a su área actual. Por otra parte, de las 147 862,74 ha (26,8%) de bosques semidecídúos hoy existentes, se perderán 3 652,00 ha como resultado del cambio de la línea de marea y por el aumento de lagunas y ciénagas, en tanto que 2 805,10 ha serán invadidas por el mar.

7.2.7.3. ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN PROPUESTA

- a) A corto plazo, para las áreas protectoras y en especial, para las de manejo especial, será preciso acometer la conservación *ex situ* de aquellas especies de particular interés florístico, tales como: *Albizzia cubana* (bacona); *Atkinsia cubensis* (majagua negra de Cuba); *Dendrocereus nudiflorus* (Aguacate cimarrón); *Lysiloma sabicú* (sabicú); *Manilkara jaimiquí* (jaimiquí); *Calycophyllum candidissimum* (dagame); *Diospyros crassinervis* (ébano carbonero) y *Prunus occidentalis* (cuajaní) entre otras, cuyas existencias físicas en su mayoría para el año 2100 se verán severamente comprometidas.
- b) También será necesario reforzar la ejecución del programa de reforestación en toda la región litoral del municipio, especialmente en lo referido a los manglares, tomando en cuenta las recomendaciones que a este respecto puedan ser formuladas por los equipos de trabajo que abordan el estudio de las zonas costeras tanto en el Instituto de Ecología y Sistemática (IES), como en el Instituto de Oceanología (IDO), ambos de CITMA.
- c) En las áreas productoras, desde el presente deberán adoptarse medidas de protección con los recursos genéticos de aquellas especies de interés económico, tales como la localización de sus existencias, la recolección de sus semillas y la producción de plántulas destinadas al enriquecimiento de estas formaciones boscosas en otros territorios o a la formación de plantaciones especializadas en la producción de semillas.
- d) Igualmente habrá de procederse en todas las áreas que no llegarán a ser cubiertas por el aumento del mar, pero que experimentarán los impactos del aumento de los tenores salinos de acuíferos y suelos.
- e) Para las superficies que integran los bosques productivos semidecídúos y parte de las plantaciones que paulatinamente quedarán bajo las aguas, debe orientarse en primera instancia el establecimiento de un sistema de monitoreo que permita identificar el momento a partir del cual, el aprovechamiento de los recursos forestales madereros y no madereros en ellas existentes deberá ser priorizado, para evitar su pérdida bajo el mar.
- f) Todas las áreas donde se aplique esta estrategia deberán ser previamente identificadas, evaluadas y analizados los posibles riesgos de éxito del proceso,

en base a sus condiciones específicas actuales; además, todas estas acciones deberán ser incorporadas al proyecto de ordenación forestal de la entidad.

7.2.8. EFI VILLA CLARA, PROVINCIA VILLA CLARA

Ubicada entre los 21°56'45'' y 23°04'14'' N y entre los 79°19'06'' y 80°45'16'' W, la Empresa Forestal Integral Villa Clara cuenta con una superficie total de 59 743,9 ha (EFI V. Clara, 2008); de las cuales 57191,7 ha están consideradas como áreas forestales (95,73%) y 2 552,2 ha consideradas como inforestales (4,27%), divididas en nueve unidades silvícolas. Las existencias maderables de la empresa han sido estimadas en 2 735 624 m³, con un incremento medio anual de la biomasa comercial de 5,3 m³*ha⁻¹*año⁻¹ en bosques naturales y de 13,1 m³*ha⁻¹*año⁻¹ en plantaciones. Anualmente se aprovechan 150,9 ha con 1 853,12 m³ de madera como promedio, aproximadamente 112,28 m³*ha⁻¹, lo que representa solo el 0,07% de sus existencias. Un 2,94% del área total de la empresa está formada por lagunas y ciénagas, agrupadas fundamentalmente en la unidad silvícola de Sagua.

El clima en la zona es tropical del tipo Aw (Köppen), con dos estaciones bien definidas, una de lluvias de mayo a octubre, donde se registra el 79% de las precipitaciones (1 042 mm), y otra seca de noviembre a abril (284 mm), con un acumulado anual de 1 326 mm. La temperatura oscila entre los 29 y 20 °C, con una media de 24 °C, una máxima absoluta de 32 °C y una mínima absoluta de 16 °C. En esta zona las temperaturas más frías ocurren en los meses de enero y febrero, siendo los meses de junio a agosto los más calientes. En el caso de los vientos, los de dirección ENE son predominantes y se comportan más fuertes en los meses de marzo y abril.

Para la evaluación de los impactos se empleó la metodología descrita por Álvarez y Ponce (2003); para la proyección del aumento del nivel medio del mar se empleó el escenario A1C (IPCC, 2001), con una sensibilidad climática alta (4,2 °C), que evidencia para los años 2030, 2050 y 2085 incrementos de 15 cm, 27 cm, y 64 cm, respectivamente. Teniendo en cuenta la elevación del mar y las características de la EFI Villa Clara, se calculó la pendiente en cada año utilizando el sistema de información geográfica ILWIS 4.0 para crear el modelo de elevación digital del terreno y así conocer los valores de pendiente, para posteriormente calcular la distancia de penetración. Luego, empleando las informaciones contenidas en el Proyecto de Ordenación 1996-2007 de la Empresa, se calcularon a nivel de rodal, los impactos que se producirían, teniendo en cuenta en cada rodal su pendiente y la composición de especies arbóreas.

El ecosistema Manglar se desarrolla en la EFI Villa Clara por toda la costa norte, abarcando los municipios de Corralillo, Encrucijada, Quemado, Sagua y Remedios; ni *A. germinans* ni *L. racemosa* son abundantes en el área de estudio y tampoco se observan ni siquiera restos de la manigua costera, debido a que en gran parte de la zona se buldocearon los jucarales y la manigua costera. Como consecuencia del impacto del aumento del nivel del mar, la distribución de estas especies puede modificarse de acuerdo a las condiciones específicas de cada lugar, principalmente en lo que se refiere a *A. germinans*, que se adapta muy bien a lugares de elevada salinidad y a *L. racemosa*, que es menos exigente en la competencia por la luz (Menéndez et al., 2000). Para los tres escenarios las unidades silvícolas que se verán más afectadas serán Sagua, Encrucijada y Remedios; en general, la empresa al finalizar el 2085 perderá 14 412,92 ha de sus bosques costeros, que representan el 60,32% de sus áreas en la zona costera, las que quedarán totalmente inundadas.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos los impactos esperables no solo afectarán las áreas de manglares que son las más perjudicadas, sino que otras áreas del interior, con especies tales como *Bursera simaruba* (almácigo), *Casuarina* sp. (casuarina), *Guazuma tomentosa* (guásima), *Albizia procera* (algarrobo indio), *Tectona grandis* (teca), *Calophyllum antillanum* (ocuje), *Pinus caribaea* var. *caribaea* (pino macho), *Swietenia mahagoni* (caoba del país), *Leucaena leucocephalla* (ipil ipil), *Swietenia macrophylla* (caoba de Honduras) y *Taliparathy elatus* (majagua), también se verán afectadas, porque la cuña salina penetrará tierra adentro, afectando incluso al sector agrícola, con nefastas consecuencias tanto desde el punto de vista económico, como ambiental.

Otro impacto estará relacionado con la fauna de la región, porque al perderse la vegetación que constituye su hábitat tendrá que emigrar, situación en la que estarán los flamencos y tortugas, que ya desarrollan estrategias de adaptación al enterrar sus huevos tierra adentro, para evitar que sean arrastrados por el aumento del nivel del mar.

7.2.8.1. ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN

- a) En las áreas de manglares que van a ser afectadas en cualquiera de los tres escenarios y en las unidades silvícolas, las medidas de adaptación están relacionadas con la dimensión económica, pues debe planificarse el aprovechamiento total de sus recursos maderables y no maderables.
- b) La utilización de los recursos maderables estará en concordancia con los surtidos que se extraigan de dichos bosques. En el caso de los manglares, la madera se utilizará principalmente como leña y para la producción de carbón vegetal, los cuales se utilizarán tanto para el consumo industrial como doméstico. En el caso de las áreas de la manigua costera, el aprovechamiento se realizaría con el objetivo de extraer tanto madera rolliza para construcciones rurales, cujes, utilización directa como combustible (leña) en el caso de la madera de muy cortas dimensiones, así como para la producción de traviesas.
- c) Los recursos no maderables, como la corteza de mangle, podrán ser empleados en la producción de curtientes vegetales o desde el punto de vista medicinal.
- d) Para llegar a cumplimentar este objetivo estas acciones deberán ser incluidas en el proyecto de ordenación de la empresa.
- e) En las áreas donde habitan varias de las especies integradoras del ecosistema manglar, no todas se verán afectadas al mismo tiempo, por lo que puede desarrollarse un proceso de colonización donde predomine una o dos especies; sin embargo puede ocurrir una nueva distribución de especies y un cambio en su abundancia relativa. Esta situación se presentará, fundamentalmente, en áreas de transición entre las formaciones Manglar y Semideciduo o en zonas donde coexistan tres o todas las especies que integran los manglares. El desarrollo de esta estrategia, basada en una sustitución natural, solo requerirá la intervención del hombre en los casos en que se detecte la invasión de vegetación indeseable.
- f) Sin embargo, podrán presentarse otras áreas cubiertas por solo una o dos especies de mangles que no se adapten a las nuevas condiciones, pero donde sea factible implementar una sustitución. En tales casos, la rehabilitación se efectuaría por medio de plantaciones, sea por siembra directa o por plantación,

para lo que será necesario realizar una valoración previa por área y determinar, en dependencia de las condiciones existentes (salinidad, inundaciones, etc.), qué especies emplear y cuál método de reforestación se debe usar.

- g) Las zonas que reflejen altos índices de salinidad requerirán una preparación previa por medio de un sistema de canales que faciliten la circulación e intercambio de las aguas marinas con las aguas interiores, teniendo en cuenta que la costa norte de Villa Clara es una región llana y existe la problemática de que hay muchos canales que se han interrumpido y no hay mucho intercambio entre agua dulce y salada, razón por la cual en muchos lugares no se ven grandes áreas de mangle rojo y mangle prieto, como sucede fundamentalmente en las zonas de Piñón, Uvero e Isabela de Sagua.
- h) En las zonas donde no se producirá penetración del mar hasta el 2085 se debe evitar la deforestación y tratar de llevar a cabo la conservación de los bosques maduros, como reserva de biomasa.
- i) En aquellas áreas donde se vayan a emplear estas estrategias de adaptación deben ser previamente identificados, evaluados y analizados los posibles riesgos del éxito del proceso en base a sus condiciones específicas actuales, labor que debe ser objeto de un programa de seguimiento que periódicamente vaya validando su avance temporal, a fin de evitar costosos fracasos futuros, lo cual debe ser adecuadamente incorporado al proyecto de ordenación forestal de la Empresa.
- j) La conversión de una parte de los bosques semidecíduos hoy existentes, en manglares futuros, será un proceso natural que ocurrirá paulatinamente y donde la adaptación fundamental será de carácter económico, debiendo estar orientada al aprovechamiento máximo e intensivo de los recursos forestales maderables y no maderables hoy existentes en las áreas de bosques semidecíduos que en el futuro serán sustituidos, tomando en consideración el lapso de evolución temporal previsto para este cambio y el proyecto de ordenación forestal de la empresa.
- k) Entre las medidas de adaptación también deben incluirse objetivos de carácter ambiental, ya que en la zona de estudio también son reportadas diversas especies arbóreas incluidas en la relación de especies protegidas emitida por el MINAG y para las cuales sería necesario adoptar medidas de conservación *ex situ*, entre las cuales deben estar la localización de sus existencias en las áreas que se convertirán a manglares, la cosecha de sus semillas y la producción de plántulas destinadas al enriquecimiento de estas formaciones boscosas en otros territorios de la propia empresa. Entre estas especies se encuentran *Haematoxylum campechianum* L. (palo Campeche) y *Calycophyllum candidissimum* (Vahl.) DC. (dagame).

7.2.9. ÁREA PROTEGIDA DELTA DEL CAUTO

Se encuentra ubicada en la porción suroriental de la isla de Cuba. Incluye la porción sur de los municipios de Jobabo y Colombia de Las Tunas, así como la porción suroeste del municipio Río Cauto y el este de Yara, ambos de la provincia Granma. Es el más extenso, complejo y mejor conservado sistema deltaico de Cuba y de las Antillas; constituye además, el segundo humedal del país en extensión, solo superado por la Ciénaga de Zapata y, el más meridional dentro de la geografía cubana (Cisneros et al., 1999). La extensión total del área es de 66 375 ha (56 384 ha terrestres y 9 991 ha marinas).

Forma una extensa llanura de altura media menor a un metro (excepcionalmente, hasta 2-3 m s.n.m.), con extensas zonas deprimidas inundadas (lagunas) y otras estacionalmente inundadas (marismas, pantanos, herbazales y bosques). Las características de estas llanuras se encuentran determinadas en su inmensa mayoría por el funcionamiento hidrológico de la zona dada, por su posición hipsométrica y distancia a la costa, por lo que para su caracterización puede ser subdividida en cuatro grandes zonas geográficas distintas, con diferentes comportamientos hídricos: Boca del Cauto Norte, Boca del Cauto Sur, Brazo de la Puente y Tunas.

La información climática se tomó sobre la base de los datos suministrados por la Estación Meteorológica de Jucarito, municipio Río Cauto, para el período 1980-2008. Las precipitaciones se dividen en dos períodos: uno lluvioso de mayo a octubre, con una media mensual de 149,5 mm y otro poco lluvioso de noviembre hasta abril, con una media mensual de 40,8 mm, en tanto que el promedio histórico anual de lluvia acumulada es de 1 132,6 mm; la temperatura media anual es de 25,5 °C, con una máxima absoluta de 32,4 °C y una mínima absoluta de 20,4 °C, siendo los meses más fríos de diciembre a febrero y los más cálidos, de junio hasta agosto y la media anual de humedad relativa del aire es 76,0%.

Las regularidades geo-morfológicas y climático-hídricas del área del refugio de fauna condicionan la existencia de las siguientes formaciones vegetales: Manglares, herbazales de ciénaga, bosque de ciénaga, comunidades acuáticas en agua dulce, bosque de galerías, matorral xeromorfo costero y subcostero, bosque semidecídúo sobre suelo de mal drenaje, vegetación de costa arenosa y sabanas seminaturales, mientras que los inventarios y observaciones de la fauna silvestre realizados solo se refieren al grupo de los vertebrados, donde el grupo mejor representado es el de las aves, con 138 especies ubicadas en 18 órdenes, 43 familias y 112 géneros.

Para la proyección del aumento del nivel medio del mar para Cuba en el tiempo se empleó el escenario A1C (IPCC, 2001), con una sensibilidad climática alta, que evidencia para los años 2030, 2050, 2070 y 2100 incrementos de 15 cm, 27 cm, 48 cm y 85 cm, respectivamente, teniendo en cuenta que estos son los límites mayores esperables. A partir de los valores de elevación del mar previstos por el escenario A1C y las características de pendiente presentes en el refugio de fauna "Delta del Cauto", se estimaron las distancias de penetración para cada tipo de pendiente en cada año, así como el área que ocupará el mar como consecuencia de esta situación mediante la expresión propuesta por Álvarez, Milián y Álvarez (1998). Para poder identificar cualitativamente los resultados del análisis hecho, los datos originales y los correspondientes a cada uno de los años del escenario considerado fueron transferidos a un mapa del área a escala 1:50 000, donde se pudieron apreciar en detalle los impactos esperables.

En consecuencia, para el año 2030 la penetración esperable experimentará valores considerables, con un mínimo de 35,25 m y un máximo de 543,75 m; mientras que para el año 2100 este fenómeno será mucho más intenso, variando entre un quinto y más de tres kilómetros de penetración del mar tierra adentro. De forma general el área que quedará sumergida bajo el mar como consecuencia de la penetración estimada alcanzará valores del orden de las 3 134,86 ha para el 2030, 4881,14 ha para el 2050, 7 753,14 ha para el 2070 y 12 561,00 ha en el 2100, situación que repercutirá negativamente sobre los recursos de la flora y la fauna que sostengan algún tipo de relación con el área.

Las características de relieve eminentemente llano que presenta el área que ocupa el Refugio de fauna "Delta del Cauto" con pendientes que oscilan entre 0,03% y 0,40%, no posibilitarán que existan muchas opciones de supervivencia de este ecosistema incluso para el año 2030, cuando se espera que ocurran los menores impactos debido a que el nivel de penetración será tan significativo, que estas zonas quedarán permanente inundadas. En los pocos casos del área donde se evidencian las mayores pendientes del orden de 0,40%, podrán sobrevivir para el año 2030 algunos individuos de *Rhizophora mangle* L., debido a que esta especie soporta mayores niveles de salinidad e inundación; no obstante esto estará en correspondencia con el comportamiento que tengan los tenores salinos ya que en la medida en que estos se incrementen serán más improbables las opciones de supervivencia. A partir del año 2050 se intensificarán los impactos negativos, reforzados por el incremento considerable de la superficie de esteros y ciénagas, lo que traerá aparejada la muerte de las especies de mangle que crezcan en sus perímetros debido al aumento de las áreas inundadas de forma permanente, afectándose fundamentalmente *A. germinans*, *L. racemosa* y *C. erecta* por este motivo. En los años 2070 y 2100 los impactos negativos serán mucho más severos, porque se afectarán las zonas litorales, las zonas interiores y las áreas de lagunas, esteros y ciénagas, previéndose pérdidas totales en las cuatro especies de mangles.

La elevación del nivel del mar con su consecuente penetración hacia tierra firme producirá consecuencias devastadoras sobre los recursos de la fauna que se conservan y protegen en el área, máxime si se tiene en cuenta que existe el 45% de las aves endémicas de Cuba, además de una población aproximada de 40 000 flamencos, la presencia en el grupo de los reptiles de endémicos locales y otras especies cuyas poblaciones son consideradas de relevancia internacional, como la de *Crocodylus acutus* (cocodrilo americano). Para el año 2030 la penetración estimada tendrá sus mayores impactos sobre algunas áreas donde habita *Crocodylus acutus*, con incidencia parcial sobre una de las cuatro zonas de nidificación fundamental de esta especie, además de producir una devastación casi total de dos de las cinco zonas de hábitat y reproducción de *Cyclura nubila* y *Capromis pilorides*. Para el año 2050 se intensificarán las afectaciones sobre las zonas de nidificación del cocodrilo y habrán desaparecido dos de las que son hábitat de iguanas y jutías, además de extenderse los impactos hacia otras áreas de gran importancia, donde nidifican flamencos, se villas, pelícanos y garzas. Para el 2070 habrán desaparecido dos importantes zonas de nidificación de cocodrilos y una de las tres donde nidifican flamencos, se villas, pelícanos y garzas y para el 2100 estos se intensificará al extremo, con una marcada influencia sobre las zonas actuales de nidificación de cocodrilos, que habrán desaparecido en su totalidad. Similarmente sucederá con aquellas donde nidifican flamencos, se villas, pelícanos y garzas, debido a que solo una de estas áreas quedará exenta de sufrir estos impactos y las dos restantes, quedarán afectadas parcial y totalmente, según el caso.

El incremento del nivel del mar como consecuencia del cambio climático también tendrá repercusiones directas sobre la extensión del río Cauto. A partir de los estudios de penetración del mar en el refugio de fauna "Delta del Cauto" se obtuvo que para el 2030 el río Cauto habrá perdido aproximadamente 900 m desde su desembocadura hacia su interior, situación que se irá intensificando en la medida en que transcurra el tiempo, alcanzando valores de 1 750 m, 4 750 m y 11 500 m para el 2050, 2070 y 2100, respectivamente. Estas estimaciones proporcionan una

idea de las numerosas alteraciones que de esto se puedan derivar, destacándose el recrudecimiento de la situación alimentaria en el territorio, específicamente en la comunidad “El Júcaro”, donde se manifestarán afectaciones relacionadas con la disminución de los rendimientos de las producciones agrícolas por la escasez de agua para regadío, con énfasis en la producción de arroz. Otro aspecto de gran importancia lo constituye el hecho de que la población sufrirá limitaciones para la obtención de agua potable, viéndose en la necesidad de trasladarse distancias apreciables aguas arriba en busca de este recurso, hasta donde el mar no lo haya afectado.

7.2.9.1. ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN

- a) Deben implementarse planes de conservación *ex situ* de aquellas especies susceptibles de sufrir alguna afectación que incluya entre otras, la identificación y repoblación de áreas con condiciones de clima y alimentación favorables para su reproducción que, aunque no permitan que se produzca un incremento continuo de estas especies en una primera etapa, por lo menos logren mantener la existencia de una población estable o con una disminución relativamente baja, para con esto garantizar la conservación de sus genofondos.
- b) Las áreas donde se vayan a emplear estas estrategias de adaptación o de sustitución, deberán ser previamente identificadas, evaluadas y analizados los posibles riesgos del éxito del proceso en base a sus condiciones específicas actuales, lo cual debe ser adecuadamente incorporado al proyecto de ordenación de la Empresa para la Protección de la Flora y la Fauna.
- c) Implementación de un sistema de monitoreo permanente de la situación costera, que permita conocer sistemáticamente lo que esté sucediendo con el nivel del mar y los efectos que se estén produciendo sobre los recursos arbóreos forestales del área, incluyendo la identificación de aquellos que enfrenten riesgos de muerte inminente.
- d) Aprovechamiento total de los recursos madereros y no madereros en los lugares de efectos extremos e irreversibles.

7.2.10. LAS PLAGAS FORESTALES

7.2.10.1. VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS PLAGAS FORESTALES

Varias de las plagas se encuentran en toda el área de distribución a la que se han adaptado ecológicamente, por lo que pueden considerarse como plagas establecidas y sus daños pueden ser graves y variar de un año a otro, mientras que otras plagas actuales no se encuentran en toda la zona potencial de distribución ecológica, debido a factores evolutivos, fisiológicos, geográficos e históricos.

Entre los factores mundiales que provocan problemas relacionados con las plagas de las plantas figura el cambio climático, que puede producir diferentes efectos en los distintos tipos de plagas. Según se desprende de estudios sobre especies concretas, el cambio climático puede influir en los siguientes aspectos: tasas de desarrollo de las plagas y número de generaciones de estas al año; mortalidad de las plagas debido al frío y a la congelación durante los meses de invierno, o susceptibilidad de las plantas hospedadoras de las plagas. En el caso de las plagas que son migratorias, puede impulsar

cambios ecológicos en las áreas donde se originan o desplazar su ubicación, por lo que algunos brotes serán menos frecuentes, mientras que en otros, aumentarán su frecuencia.

Cuando dos o más especies contribuyen a un problema asociado con las plagas, como en los patógenos transmitidos por vectores o los patógenos que provocan síntomas más graves en presencia de daños de insectos simultáneos, los efectos del cambio climático podrían expresarse a través de cualquiera de esas especies. En términos generales, el aumento de la temperatura puede influir en las interacciones entre patógenos y cultivos, acelerando el ritmo de crecimiento de los patógenos, lo que incrementa las generaciones reproductivas por ciclo vegetativo, disminuyendo la mortalidad de los patógenos debida a las frías temperaturas del invierno.

El cambio en las condiciones ecológicas asociado con el clima puede aumentar la idoneidad de nuevas áreas para posibles plagas cuarentenadas, lo que aumentaría su susceptibilidad a la invasión de patógenos. La distribución geográfica de una plaga o cultivo puede cambiar en paralelo con el clima. Así pues, las evaluaciones iniciales de riesgo que anteriormente formaban la base de las decisiones que favorecían o restringían el comercio, quizá deban reconsiderarse en el contexto del cambio climático.

En diversos estudios realizados fuera y dentro del país se conoce que después de un incendio comenzará la aparición de plagas oportunistas que afectarán la salud del bosque de forma irremediable; diversos estudios realizados en Cuba por García *et al.*, (2006) encontraron en dos estudios de casos la aparición de escolítidos del género *Ips* y comejenes del género *Nasutitermes* después de incendios forestales. Al respecto, los estudios realizados en bosques de pino de las regiones occidental (Viñales, provincia Pinar del Río, en *Pinus caribaea* var. *caribaea*) y oriental (Baracoa, provincia de Guantánamo, en *Pinus cubensis*) del país indicaron en el caso de Viñales, la presencia en las áreas quemadas de termitas del género *Nasutitermes* y después de transcurrido algunos meses de la primera observación, aproximadamente solo el 30% de la población de árboles quedó viva debido al incendio y el ataque de la plaga, que aparentemente no fue intenso, incidió sobre la recuperación de los árboles sobrevivientes. En Baracoa las evaluaciones fueron realizadas en dos localidades: En Las Cuabas, donde 49% de la especie *Pinus cubensis* presentaba una afectación ligera por el incendio y 51% sufría una afectación grave, con un ataque del 50% de perforadores y de 10% de taladradores y descortezadores, registrándose las especies *Ips grandicollis* (Eichh.) e *Ips calligraphum* (Eichh.) y en La Ceiba, donde se pudo apreciar que el 10% de la población muestreada presentaba una afectación grave por el fuego, el 30% no estaba afectada y el 60% tenía una afectación ligera (en casi todos los casos ya recuperados). Aquí, en total estaba afectado por plagas el 50% de los árboles, de los cuales 37% lo estaban por *Dioryctria horneana* (Dyar.) (presente en árboles con afectación ligera del fuego, es decir, solo el 10% de los árboles dañados por las llamas) y el 13% restante, por taladradores.

7.2.10.2. ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN

- a) Planificar la prevención y las medidas previas de supresión y de supresión en sí de los incendios forestales, así como el mejoramiento de la salud del bosque a través de la silvicultura y del manejo integrado de plagas.

- b) Acelerar los programas para la recuperación de maderas y para la ordenación de los productos combustibles con el fin de reducir el riesgo de incendios en los bosques, especialmente en los que han sido afectados por altos niveles de plagas, o por decadencia forestal.
- c) Crear programas para el control de insectos y enfermedades que sean capaces de detectar aumentos en la aparición y en la intensidad de la decadencia de los bosques, en la actividad de nuevas plagas (naturales o introducidas), además de las que históricamente causaron pérdidas. Los sistemas de vigilancia y monitoreo también deberían ser capaces de detectar cambios en la biología, ecología, y distribución natural de las especies que causan las plagas, incluyendo el registro de factores claves de sus vidas, número de generaciones, modelos de alimentación e interacciones plaga/huésped.
- d) Comenzar programas para investigar los efectos a largo plazo del cambio climático en la biología y en las interacciones entre plaga/huésped de las especies de plagas tradicionales. Identificar, también las especies que tienen el potencial de convertirse en plagas tras el cambio climático y transferir lo antes posible el resultado de las investigaciones a los programas operativos de la producción.
- e) Realizar estudios sobre los efectos de los incendios, insectos y enfermedades sobre la biodiversidad en términos de especies colonizadoras, descendientes y clímax. Determinar el grado de “perturbación” en el proceso de auto recuperación de los sistemas vegetales debido al cambio climático. Algunos ejemplos son: La incapacidad de los bosques para volver a ocupar las áreas quemadas o taladas, o una descendencia “detenida” donde la vegetación formada por lianas no vuelve a ser sustituida por el bosque.

7.2.11. VULNERABILIDAD DE LOS BOSQUES A LAS PLAGAS

Uno de los primeros efectos observados del cambio climático fue el aumento de los insectos y las enfermedades que causaron pérdidas en los bosques, lo que se puede verificar analizando las epidemias de plagas que ocurrieron y que son el resultado del estrés causado por las sequías periódicas y por el exceso de lluvia (Ciesla, 1996). Los estudios de Kristiasen (1993) y de Sauerbeck (1992), sobre los posibles efectos del cambio climático con respecto a las plagas en la agricultura, permitirán identificar los efectos en el sector forestal, los que pueden ser negativos o positivos.

Entre los efectos negativos se encuentran:

- Las mayores temperaturas en ciertas localidades acelerarán los ciclos reproductivos de las plagas de insectos al año, aumentando su potencial destructivo como es el caso del gusano de los brotes *Rhyacionia frustrana* (Comst), el que está presente en casi todos los sitios de la Isla de Cuba donde crecen sus hospedantes. El desarrollo de la plaga es continuo durante todo el año y es definida como plaga crónica. Lo mismo puede ocurrir con el taladrador de las meliáceas *Hypsipyla grandella* (Zeller), conocido en todo el país y cuyo desarrollo es continuo durante todo el año.
- La relación entre las especies que causan plagas y sus enemigos naturales podría cambiar a favor de las plagas, lo que aumentaría el potencial reproductivo de las plagas que destruyen los bosques, produciendo un mayor nivel de daños.

- Una mayor frecuencia de sequías, ciclones, períodos de excesiva lluvia y grandes fríos, causarían una mayor tensión en los árboles y en los bosques, haciéndolos más sensibles al ataque de las plagas.
- La ampliación de la relación carbono/nitrógeno en los árboles debido a elevados niveles de CO₂ podría aumentar el consumo de follaje de los insectos. Algunos autores plantean que la velocidad de alimentación de las larvas de lepidópteros aumentó contemporáneamente con los aumentos de CO₂ atmosférico. Lincoln (1993) ha encontrado reacciones similares en la alimentación de follaje con los himenópteros llamados moscas de la sierra (*Neodiprion* spp.), por lo que puede ocurrir de la misma manera con el aumento de la defoliación en *Pinus caribaea* en la región occidental del país, provocado por el himenóptero *Neodiprion insularis* (Cress.) y por *Neodiprion merkei* Ross. para la región oriental del país en *Pinus maestrensis*.
- Una mayor frecuencia de epidemias de insectos y enfermedades debido al estrés de los árboles asociado con el cambio climático, produciría mayores niveles de productos combustibles en los bosques, aumentando el peligro de incendios y en consecuencia, una explosión de perforadores de la corteza, principalmente de la familia Scolytidae. En el año 2001, después del paso del huracán Michel, se produjo una explosión de escolítidos en la provincia de Villa Clara, donde predominaban las altas temperaturas, la acumulación de productos combustibles y una gran sequía.

Algunos de los potenciales efectos positivos son:

- Los altos índices de crecimiento, que han sido pronosticados debido al aumento de las temperaturas y a los altos niveles de CO₂, podrían permitir a los bosques resistir el mayor número de insectos y de daños causados por enfermedades, sin que sean afectados el crecimiento y la productividad.
- El mayor vigor de los árboles y de los bosques que crecen con niveles elevados de CO₂, podría volverlos más resistentes al ataque de insectos y enfermedades.
- Los elevados niveles de CO₂, podrían traer beneficios para la salud de las plantas y para su productividad, alterando su morfología y fisiología en perjuicio de los agentes nocivos.

Para Cuba han sido identificados, además, los siguientes riesgos de introducción de plagas transfronterizas (Cruz, Vila y Álvarez, 2008):

- Eventos climáticos extremos como la sequía pueden aumentar la invasión por *Armillaria* spp. que es una plaga cuarentenada para Cuba y de entrar al país, afectaría considerablemente los bosques naturales y plantaciones de coníferas.
- *Monochamus titillator* presente en todas las especies de pino distribuidas en el área y puede trasladarse en estados inmaduros (larva o pupa) dentro de la madera o debajo de la corteza en árboles o pedazos de árboles que arriben a las costas del país por el efecto de los huracanes. Daña la madera tanto en forma de larva, como de adulto, pero su mayor importancia radica en su capacidad de transportar de forma forética las larvas dispersantes del nemátodo *Bursaphelenchus xylophilus* cuarentenado en Cuba.

- De los escarabajos de la corteza *Dendroctonus* spp., siete especies resultaron tener al menos un moderado riesgo de establecimiento en Cuba y *D. adjunctus*, *D. mexicanus* y *D. frontalis* resultan tener un alto riesgo de diseminación debido a que presentan una alta tasa de dispersión anual en Centroamérica, alto potencial reproductivo y son difíciles de controlar, debido a que se desarrollan con facilidad en árboles vivos y vigorosos de pino. Las seis especies que tienen de moderada a alta probabilidad de diseminación en Cuba, tienen un alto potencial de ocasionar daños económicos, ambientales e impactos negativos políticos y sociales, porque pueden causar una perturbación ecológica significativa y afectar *Pinus tropicalis* Morelet, especie de limitada distribución geográfica en Cuba, razones por las que clasifican como especies de alto riesgo en estos aspectos. De las seis, una especie resulta ser la de mayor riesgo: *D. frontalis*, debido a que tiene mayor dispersión a partir de su localidad de origen y es la única que se cita como plaga de *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barret & Golfari, taxón introducido experimentalmente en Cuba, del que la variedad *caribaea* constituye una especie autóctona y es la más empleada nacionalmente para los planes de reforestación.
- *Coptotermes formosanus* Shiraki es una plaga cuarentenada que presenta un potencial de entrada alto y también potenciales de establecimiento y diseminación razonablemente altos, motivos por los cuales se considera que el riesgo potencial de introducción para esta plaga es elevado.
- Existen otras plagas con riesgo de introducción en el país donde los factores climáticos podrían desempeñar un papel decisivo, tales como la chinche harinosa rosada (*Macollenicoccus hirsutus*), que afectaría tanto a las especies forestales, como a los cultivos agrícolas.

Sin embargo, tales riesgos de introducción no son exclusivos de agentes biológicos hoy inexistentes en el país como las plagas transfronterizas, sino que también incluyen la dispersión nacional a lugares hoy no afectados, de plagas ya reportadas para otros sitios dentro de Cuba, como es el caso de *Lecanosticta acicola*.

7.2.11.1. ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN

- a) Comenzar estudios para determinar los efectos de las anomalías climáticas en la estabilidad de los bosques naturales y plantaciones.
- b) Crear un sistema nacional de monitoreo de plagas forestales por cuadrantes, similar al existente para el Sector Agrícola, con emisión de resúmenes periódicos sobre la existencia y distribución de los agentes detectados y las especies arbóreas afectadas.
- c) Poner mayor interés en conciliar las especies arbóreas y sus procedencias con las áreas de los programas de plantaciones forestales. Evitar la utilización de rodales con una base genética limitada que podrían no tener la capacidad intrínseca para adaptarse a condiciones climáticas cambiantes.
- d) Disminuir la dependencia de una o dos especies en los programas de forestación y de reforestación. En cambio, incluir un número mixto de especies que se adapten bien a los sitios locales y a las condiciones climáticas y que respondan a las necesidades nacionales de productos y servicios forestales cuando sea posible.

- e) Establecer reservas *in situ* y *ex situ* de especies forestales claves, para asegurar la disponibilidad de un banco genético con suficiente diversidad para los programas de mejoramiento de los árboles, cuyo objetivo sea el de desarrollar variedades capaces de adaptarse al cambio climático.

7.2.12. IMPACTOS POR AUMENTO DE LA CONCENTRACIÓN ATMOSFÉRICA DE CO₂

El impacto del incremento de la concentración de CO₂ atmosférico sobre la fotosíntesis de las especies forestales arbóreas se determinó empleando el irga-porómetro LI-6400, que cuenta con un sistema para medir fotosíntesis y transpiración; controla tanto las concentraciones de CO₂, como las intensidades de la radiación fotosintéticamente activa. Este sistema incorpora programas internos que hacen posible obtener curvas de saturación, tanto de la radiación como del anhídrido carbónico, en tiempos no superiores a los 20-30 minutos. Durante el desarrollo de estas curvas funcionan una serie de sistemas de retroalimentación (feedback) que permiten mantener la humedad interna de la cubeta prácticamente constante y también una temperatura foliar con un mínimo de oscilaciones (Cordero, 2010).

Una parte de las especies fue evaluada en Viñales, Pinar del Río y el resto, en Ciénaga de Zapata, Matanzas. Para realizar las mediciones se seleccionaron tres árboles por especie, teniendo en cuenta que su apariencia externa general fuese normal (Escarré, com. personal); una muestra de sus hojas fue puesta en la pinza que está unida a la unidad central del sistema por un cable, la que además de la cámara de mediciones con termopares, sensores de radiación interna-externa y sistemas de calefacción-refrigeración, incorpora los sensores IRGA, que son los responsables de medir las concentraciones de vapor de agua y CO₂. La cámara estándar permite medir un rectángulo de hoja de 2 x 3 cm (Cordero, 2010).

Se efectuaron en cada árbol un total de nueve mediciones, variando la concentración de CO₂ en la cámara donde se encontraba la hoja para inducir un cambio en la concentración de CO₂ en su mesófilo y en la tasa de asimilación de CO₂ de la hoja, proceso durante el cual el irgaporómetro registró los datos. En total fueron evaluadas 14 especies, que aparecen reportadas en 14 de las 16 formaciones forestales del país, aunque ello no respondió a un proceso de selección, sino a las posibilidades que coyunturalmente se presentaron para disponer simultáneamente de ellas y del equipamiento requerido para realizar las mediciones. Con los registros disponibles se caracterizó el comportamiento por árbol, especie y tipo de bosque, en base a la permeabilidad estomática al aumento de la concentración externa de CO₂:

$$[\text{CO}_2]_{\text{Mesófilo}} = f [\text{CO}_2]_{\text{Externa}}$$

Y a la respuesta fotosintética de la planta a la variación de la concentración de CO₂ en el mesófilo:

$$\text{Tasa de asimilación de CO}_2 \text{ en la hoja} = f [\text{CO}_2]_{\text{Mesófilo}}$$

Para cada relación se obtuvo la línea de tendencia y se calculó el coeficiente de determinación (R²) como estimador de ajuste entre ambas variables.

Los resultados obtenidos para las especies de los Bosques húmedos pudieran sugerir la existencia de una capacidad adaptativa inter e intraespecífica para enfrentar el aumento de la concentración atmosférica de CO₂, caracterizada por:

- Una mayoría de especies en las que sus respectivas poblaciones alcanzarían un límite máximo de la tasa de asimilación de CO₂, a partir del cual ese valor se mantendría constante o disminuiría. Para este grupo, la fertilización atmosférica tendría un límite efectivo absoluto, más allá del cual dejaría de tener efecto.
- Un menor grupo de especies en las que, aunque la mayoría de sus poblaciones se comportarían como las especies del grupo anterior, existirían en ellas árboles capaces de continuar aumentando sus tasas de asimilación de CO₂ hasta límites superiores. Para este grupo, la fertilización atmosférica tendría un límite relativo, porque mientras para la mayor parte de la población dejaría de tener efecto una vez alcanzados los límites de saturación, una menor parte continuaría aumentando la tasa de conversión de C atmosférico en compuestos orgánicos.
- Un pequeño grupo de especies cuyas poblaciones no presentarían una saturación de la tasa de asimilación de CO₂ entre los límites valorados de aumento de la concentración de CO₂ externa al mesófilo, las que serían capaces de continuar sintetizando compuestos orgánicos a una tasa creciente. Para este grupo, la efectividad de la fertilización atmosférica continuaría aumentando hasta valores no identificados en estas evaluaciones.

Resultados que se corresponden con los alcanzados en los bosques de montaña, lo que en cierta medida es esperable, dado que los bosques de montaña también presentan elevados niveles de humedad y ambos tienen varias especies comunes, aunque es preciso resaltar que las formaciones forestales propias de las mayores alturas del país, no tuvieron representación alguna en las evaluaciones realizadas.

Los resultados alcanzados pudiesen sugerir una hipótesis de cómo operaría la estrategia adaptativa quizás existente en parte de las especies y árboles que componen los bosques húmedos y de montaña, la que pudiera estar sustentada por un mecanismo fisiológico mediante el cual, aun cuando la concentración externa de CO₂ aumente sostenidamente hasta los 800 moles, la permeabilidad estomática de la especie limita de alguna manera el aumento de la concentración del gas en el mesófilo hasta el 50% de la concentración externa o niveles solo algo superiores a ese valor, de forma tal que esa restricción evite que se produzca una saturación en el sistema molecular involucrado en la fotosíntesis, permitiéndole mantener un aumento sostenido de la tasa de asimilación, explicación que sería necesario corroborar experimentalmente.

De ser ciertas estas hipótesis, coincidirían con lo planteado por el IPCC (2007), al señalar que: *la retención neta de carbono de los ecosistemas terrestres probablemente alcance su valor máximo antes de mediados del siglo y luego, disminuya o se invierta, amplificando el cambio climático*. Esta capacidad adaptativa inter e intraespecífica natural existente en los Bosques húmedos pudiera convertirse en un importante mecanismo de modificación de la composición relativa de las especies que los componen, favoreciendo el aumento de las poblaciones de aquellas especies y árboles capaces de alcanzar mayores niveles de asimilación de CO₂, de producción de compuestos orgánicos y con ello, de crecimiento, con lo que a la par estarían colocándose en mejores condiciones para enfrentar los cambios que experimenten

las poblaciones de plagas bajo la acción del cambio climático y, tal modificación de la composición relativa de las especies de estos bosques pudiera colocar al Sector Forestal nacional ante un nuevo desafío, al tener que enfrentar la satisfacción de la demanda de madera con una creciente cantidad de especies que tradicionalmente no hayan sido utilizadas para esos fines o en el peor de los casos, con especies para las cuales no existen informaciones disponibles sobre sus posibles usos, pero que en definitiva sean las que mejor se adapten al sostenido aumento de CO₂ atmosférico.

La posibilidad de que también en los bosques costeros y secos ocurran procesos similares a los descritos no es descartable, por cuanto allí fueron detectadas especies con iguales comportamientos; sin embargo, la reducida cantidad de especies valorada no aconsejó efectuar con ella un análisis semejante al efectuado con los bosques húmedos y de montaña. Un caso aparte lo presentan los bosques de pinos, porque las dos especies en ellos valoradas alcanzaron máximos de saturación. Estas especies son las existentes naturalmente en el extremo occidental de Cuba, pero otras dos, *P. cubensis* Griseb y *P. maestrensis* Bisse aparecen distribuidas en el extremo oriental del país; si en las dos especies orientales se comprobara la existencia de una respuesta semejante a la verificada en las dos especies occidentales, entonces eso significaría que ante un aumento futuro de la concentración atmosférica de CO₂, todos los pinares del país alcanzarían una tasa de asimilación máxima de C, a partir del cual el proceso de fotosíntesis de compuestos orgánicos mantendría una tasa constante o disminuiría. De ocurrir esto, implicaría que unas 86 mil hectáreas de estos bosques dejarían de remover carbono atmosférico de forma creciente.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ajete, Arlety; A. Álvarez y Alicia Mercadet (2009): Evaluación de impacto y estrategia de adaptación para la empresa forestal integral Baracoa, provincia Guantánamo, Cuba. Rev. Ra Ximhai. vol. 5. no. 3, septiembre-diciembre, p. 271-280. Universidad Autónoma Indígena de México.
2. Álvarez, A. (2010): Preparación de la versión 3.0 del sistema SUMFOR: Densidad de la madera. En: Inf. Final Subproy. 11.69.03 "La mitigación del cambio climático por los bosques cubanos". Inst. Inv. Forestales, La Habana, 20 pág.
3. Álvarez, A. Inédito. Riesgos que enfrentan las formaciones forestales de mayor altitud (Bosque nublado y Bosque fresco) ante el aumento de la temperatura ambiental. Subproyecto 11.69.02 Vulnerabilidad de los bosques naturales cubanos al cambio climático y estrategias de adaptación; Proyecto 11.69 Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático: Subsector Forestal. Inst. Invest. Forestales, La Habana.
4. Álvarez, A. et al., (1991): Variaciones mensuales de los rendimientos en las especies del género *Pinus* resinadas en Cuba. Boletín Técn. Forestal 2, p. 45-52.
5. Álvarez, A. y Alicia Mercadet. Inédito. Muerte regresiva del bosque: Principales riesgos para Cuba. Subproyecto 11.69.02 Vulnerabilidad de los bosques naturales cubanos al cambio climático y estrategias de adaptación; Proyecto 11.69 Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático: Subsector Forestal. Inst. Invest. Forestales, La Habana. 20 p.
6. Álvarez, A., A. Escarré y Alicia Mercadet. Inédito. Impactos del aumento de la concentración atmosférica de CO₂ sobre los bosques naturales cubanos. Primera aproximación. Subproyecto 11.69.02 Vulnerabilidad de los bosques naturales cubanos al cambio climático y estrategias de adaptación; Proyecto 11.69 Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático: Subsector Forestal. Inst. Invest. Forestales, La Habana.
7. Álvarez, A.; C. Milián y Leyla Álvarez, (1998): Evaluación a fondo de los posibles impactos

- del cambio climático sobre los sectores socioeconómicos y ambientales del país. Sector silvícola. La EFI Guanahacabibes: Un estudio de caso. Inst. Invest. Forestales, La Habana. 21 p.
8. Álvarez, A. y Doralys Ponce (2003): Impactos del cambio climático sobre el sector forestal cubano: Segunda evaluación. Inf. Final Subproy. 11.25.01 Reanálisis y regionalización de los impactos del cambio climático; Proy. 11.25 El cambio climático y el sector forestal: Segunda aproximación. Inst. Invest. Forestales, La Habana. 43 p.
 9. Álvarez, A. y Magyuri Ávila. Inédito. Modificación de la distribución anual del rendimiento medio mensual de resina de *Pinus caribaea* M. var. *caribaea* B.&G. (pino macho). Subproyecto 11.69.02 Vulnerabilidad de los bosques naturales cubanos al cambio climático y estrategias de adaptación; Proyecto 11.69 Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático: Subsector Forestal. Inst. Invest. Forestales, La Habana.
 10. Álvarez, Y. y A. Álvarez. Inédito. Evaluación del impacto del aumento del nivel del mar como consecuencia del cambio climático en el refugio de fauna "Delta del Cauto" y estrategia de adaptación propuesta. Primera aproximación. Subproyecto 11.69.02 Vulnerabilidad de los bosques naturales cubanos al cambio climático y estrategias de adaptación; Proyecto 11.69 Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático: Subsector Forestal. Inst. Invest. Forestales, La Habana, Cuba. 18 p.
 11. Ávila, Magyuri (2010): Comunicación personal.
 12. Bisse, J. (1988): Árboles de Cuba. Editorial Científico-Técnica, La Habana. 384 p.
 13. Caballero, Liliana. Inédito. Informe técnico final sobre la evaluación de los impactos esperables del cambio climático en la EFI Villa Clara y estrategia de adaptación. Subproyecto 11.69.02 Vulnerabilidad de los bosques naturales cubanos al cambio climático y estrategias de adaptación; Proyecto 11.69 Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático: Subsector Forestal. Inst. Invest. Forestales, La Habana, Cuba. 20 p.
 14. Castillo, Eunice; Lourdes Sordo.; L. Díaz.; A. García e I. del Pino. 2002. Manejo de frutos y semillas de *Juglans jamaicensis* subsp. *jamaicensis* C. DC. y su manejo en vivero. En: Contribución a la conservación de la biodiversidad de 18 taxa arbóreas en Cuba, p: 30-32. Inst. Invest. Forestales, La Habana.
 15. Centella, A.; J. Llanes; L. Paz; C. López y Miriam Limia (2001): Primera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. República de Cuba. 166 p.
 16. Ciesla, W. M. (1996): Cambio Climático, bosques y ordenación forestal. Una visión de conjunto. Estudios FAO: Montes. No.126. 146 p.
 17. Cisneros, G.; G. Brull; R. Rosales; D. Espinosa; F. Sánchez; R. Olano y N. Alonso (1999): Plan de manejo. Refugio de fauna "Delta del Cauto". MINAG. Emp. Nac. Conserv. Flora y Fauna. Granma. 112 p.
 18. Cordero, Elsa Ma. (2010): Criterios e indicadores para el manejo sostenible de *Bambusa vulgaris* Schrader ex Wendland con fines de protección. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Ecológicas. Universidad P. Río Hermanos Saíz Montes de Oca, Cuba-Univ. Alicante, España. 150 p.
 19. Cruz, Haylet. (2008): Determinación de la vulnerabilidad al cambio climático de las principales plagas forestales cubanas. Primera aproximación. Subproyecto 11.69.02 Vulnerabilidad de los bosques naturales cubanos al cambio climático y estrategias de adaptación; Proyecto 11.69 Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático: Subsector Forestal. Inst. Invest. Forestales, La Habana. 10 p.
 20. Cruz, Haylet; Ivianne Vila y A. Álvarez (2008): Informe al Ministerio de la Agricultura sobre bosques, plagas transfronterizas y cambio climático. Inst. Invest. Forestales, La Habana. 6 p.
 21. DNF (2008): Base de datos del patrimonio forestal cubano al término del 2007. MINAG, La Habana.

22. EFI Villa Clara (2008): Dinámica Forestal. Informe final. EFI V. Clara, Villa Clara, Cuba. 23 p.
23. García, Y.; I. Cuesta; A. García; Y. Martínez; Y. Rodríguez; I. Urrutia y B. Rodríguez (2006): Comportamiento de las plagas después de un incendio forestal en Viñales y Baracoa. XV Congreso Científico del INCA. Noviembre.
24. Hechavarría, Orlidia (2009): Contribución de la fenología a la conservación de tres especies forestales en Tope de Collantes. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales. Fac. de Forestal y Agronomía; Dpto. Forestal; Univ. P. Río Hermanos Saíz Montes de Oca. 117 p.
25. Hernández, M.; S. L. Lorenzo; Y. I. Rodríguez; J. L. Juanes y Liliam Arriaza (2010): Caso Estudio Sur de La Habana (Sector Majana – Mayabeque). Informe del Sector de Evaluación Zonas Costeras. Inst. de Oceanología. C. Habana, Cuba. 15 p.
26. INRH (2007): Boletín Hidrológico enero-diciembre. Dirección de Cuencas Hidrográficas.
27. INRH (2008): Boletines Hidrológicos. <http://www.hidro.cu/boletines08.htm>.
28. INSMET (2007): Base de datos meteorológicos. Estación de Tapaste.
29. INSMET (2008): Base de datos del clima. Período 1981-2000.
30. INSMET (2008): Suministrador de Climas Regionales para los Estudios de Impacto. <http://precis.insmet.cu/Precis-Caribe.htm>.
31. INSMET (2010): Base de datos del sistema PRECIS para Cuba.
32. IPCC (2001): Special Report on Emissions Scenarios. IPCC WGIII. 35 p.
33. IPCC (2001a): Climatic Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Summary for Policymakers. 18 p.
34. IPCC (2007): Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1000pp.
35. Kristiansen, G. (1993): Biological effects of climate change: An introduction to the field and survey of current research. Global Change and Terrestrial Ecosystems. International Geosphere-Biosphere Program.
36. Limia, Miriam; R. Vega y R. Pérez (2007): Variación espacio-temporal de la probabilidad de la afectación de huracanes a Cuba. Valoración del peligro. IV Congreso Cubano de Meteorología. Capitolio Nacional, C. Habana, 4-8 diciembre.
37. Lincoln, D. E. (1993): Herbivore responses to plants grown in enriched CO₂ atmosphere. En: Global Change research in FY 1993: US Dept. Energy DOE/ER-059T, pag. 112.
38. Menéndez, Leda; A. V. González; J. M. Guzmán; L. Rodríguez; R. P. Capote *et al.*, (2000): Bases ecológicas para la restauración de manglares en áreas seleccionadas del Archipiélago Cubano y su relación con los cambios globales. Informe al PNCT Cambios Globales y Medio Ambiente, ACYT, CITMA. 153 p.
39. Mercadet, Alicia *et al.*, (2000): Base de datos sobre crecimiento de especies forestales arbóreas existentes en Cuba. Inst. Invest. Forestales, La Habana.
40. MINAG (1982): Proyecto de ordenación. Empresa Forestal Mayabeque. La Habana.
41. MINAG (2000): Documento de proyecto. Apoyo a la conservación integral de los recursos naturales de la Ciénaga de Zapata. GCP/CUB/011/NET. La Habana. 13 pág.
42. MINAG (2002): Proyecto de ordenación forestal de la EFI Baracoa. Serv. Estatal Forestal.
43. Ortiz, Osiris; A. Álvarez; Alicia Mercadet; A. Escarré; Lourdes Gómez y G. Fagundo (2008): Evaluación de impactos y estrategia de adaptación para la Empresa Forestal Integral Victoria de Girón, provincia Matanzas. Inf. de Resultado. Subproyecto 11.69.02 Vulnerabilidad de los bosques naturales cubanos al cambio climático y estrategias de adaptación; Proyecto 11.69 Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático: Subsector Forestal. Inst. Invest. Forestales, La Habana. 11 p.

44. Salas, L. (2008): Impacto de la surgencia en el archipiélago cubano, considerado los cambios climáticos. EN: Memorias del Taller Cambios Globales y Medio Ambiente: Tendencias mundiales, resultados y proyecciones de trabajo. La Habana.
45. Sauerbeck, D. R. (1992): Potential impacts of climate on agricultural production. Institute of Plant Production and Soil Science: German Federal Research Center of Agricultural Bundsallee, Braunschweig, Alemania, 15 p.
46. Vila, Ivaine (2008): Vulnerabilidad de los bosques naturales a las plagas forestales bajo la influencia del cambio climático. Primera aproximación. Subproyecto 11.69.02 Vulnerabilidad de los bosques naturales cubanos al cambio climático y estrategias de adaptación; Proyecto 11.69 Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático: Subsector Forestal. Inst. Invest. Forestales, La Habana. 10 p.
47. Wilson, S.; D. Hassell; D. Hein; R. Jones and Ruth Taylor (2008): Installing and using the Hadley Centre regional climate modelling system, PRECIS. Version 1.6.1. United Kingdom. 158 p.