

CAPÍTULO 7. BOSQUES

7.1 Metodología de trabajo.

Los datos presentados emplearon como fuentes las informaciones ofrecidas por la Oficina Nacional de Estadística (ONE, 2008) y por la Dirección Nacional Forestal del Ministerio de la Agricultura (DNF, 2008), en ambos casos referidos al término del año 2007. En el caso de la información sobre la EFI *Mayabeque*, fue empleado el reporte presentado por Álvarez *et al.* (2010) sobre la retención de carbono por diversas empresas forestales del país.

7.2 Vulnerabilidades e impactos.

El patrimonio forestal existente al término del 2007 en la antigua provincia de la Habana registraba un total de 115210,3 ha (3,10% del total nacional), lo que la ubica como el décimo tercer territorio en importancia a nivel de país (Figura 7.1), con la composición por áreas y categorías que se muestra en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1. Composición del patrimonio forestal de La Habana al término del 2007 (DNF, 2008).

COMPOSICIÓN	INDICADOR	Superf. (ha)	% vs el país	% vs la prov.
Por áreas	Área total del patrimonio	115 210,3	3,10	100,00
	- Área inforestal	21 650,8	0,58	18,79
	- Área forestal	93 559,5	2,51	81,21
	• Área por reforestar	9 558,4	0,26	8,30
	• Área de plantaciones en desarrollo	12 770,6	0,34	11,08
	• Área cubierta	71 230,5	1,91	61,83
	Área de plantaciones establecidas	10 251,6	0,28	8,90
	Área de bosques naturales	60 978,9	1,64	52,93
Por categorías	Bosques productores	32 078,0	2,68	27,84
	Bosques protectores	76 517,0	9,30	66,42
	- De aguas y suelos	44 969,4	4,15	39,03
	- Del litoral	31 547,6	5,15	27,38
	Bosques de conservación	6 615,4	8,70	5,74
	- De manejo especial	3 392,9	1,26	2,94
	- De conservación de la flora y la fauna	1 431,3	0,27	1,24
	- Educativos y científicos	0,0	0,00	0,00
- De recreación	1 791,2	7,19	1,55	

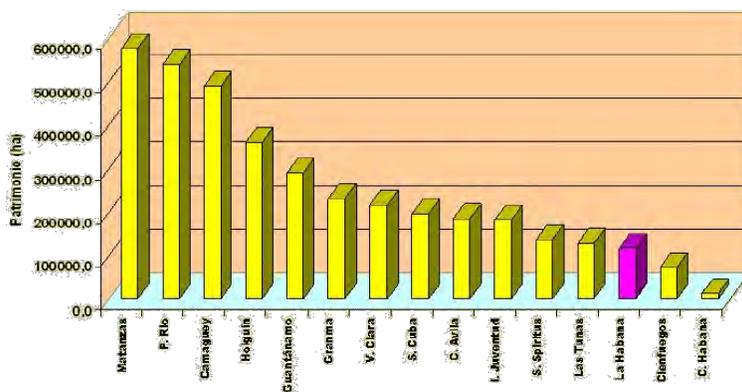


Figura 7.1. Posición relativa de la provincia La Habana en el país, según su patrimonio forestal, al término del 2007 (DNF, 2008).

Los elementos anteriores caracterizan a la provincia La Habana como un territorio de escasa importancia forestal en el país (sólo 3,10% del patrimonio nacional), con un patrimonio que tiene una importante composición de áreas inforestales (18,79% del patrimonio provincial), un área cubierta equivalente al 76,13% de su área forestal, predominantemente compuesta por bosques naturales (52,93% del patrimonio provincial) y un área por reforestar ascendente al 10,22% de su área forestal.

A su vez, el patrimonio forestal de la provincia está dedicado mayoritariamente, a la protección y a la conservación del ambiente y de la biodiversidad, así como a la prestación de servicios ambientales (72,16% del patrimonio provincial son bosques protectores y de conservación), mientras que sólo el 27,84% del área total está destinada a la producción de productos madereros.

Cuando el patrimonio forestal provincial se relaciona con la superficie y población del territorio, se evidencia que La Habana está muy por debajo de las correspondientes cifras nacionales, las que de por sí no son satisfactorias, si se comparan con los valores reportados internacionalmente (Tabla 7.2).

Tabla 7.2. Comparación de los indicadores básicos de disponibilidad forestal.

Referencia	A. cubierta (ha) / Superf. (km ²)	A. cubierta (ha) / Habitante
País	25,25	0,25 (50 x 50 m)
La Habana	12,43	0,10 (32 x 32 m)

La Dirección Forestal controla en el país nueve tenentes diferentes del patrimonio forestal, de ellos tres pertenecientes al Ministerio de la Agricultura: las empresas forestales, la Empresa Nacional para la Conservación de la Flora y la Fauna (ENCFF), las empresas agropecuarias, el sector cooperativo y campesino, los ministerios del Azúcar (MINAZ), de las Fuerzas Armadas (MINFAR), del Interior (MININT), de Ciencia, Tecnología y M. Ambiente (CITMA) y otros tenentes.

La composición de tenentes en la provincia La Habana, con respecto a la del país,

indica (Figura 7.2) que las principales diferencias se concentran en la ENCFF (inferior al valor nacional), las empresas agropecuarias y el MINAZ (ambas superiores al valor nacional); no obstante, en ambos casos predominan como tenentes las empresas forestales integrales del MINAG, con más del 60% del patrimonio.

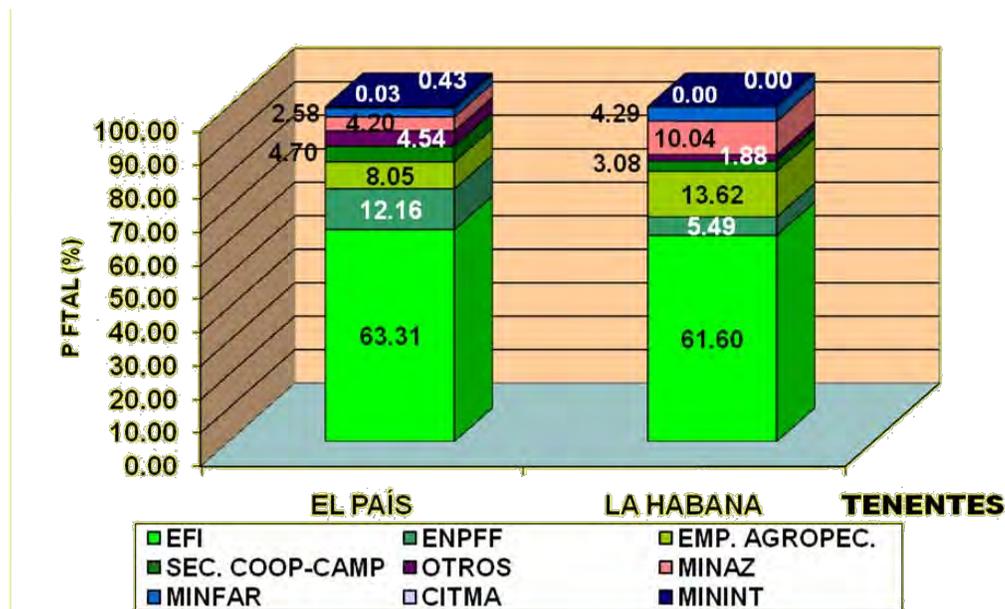


Figura 7.2. Composición e importancia relativa de los tenentes del patrimonio forestal, en el país y en la provincia La Habana (DNF, 2008).

En los nueve municipios del sur de este territorio queda agrupada la mayor parte del patrimonio forestal del territorio (59,3%), así como la superficie de todos los indicadores de sus áreas, con excepción del área por reforestar, que es mayoritaria en los municipios del norte de la provincia; sin embargo, al analizar la composición por categorías, los resultados no son tan definitorios, ya que en la región norte predominan los bosques para la protección de aguas y suelos, los de manejo especial, los recreativos y en general, los bosques de conservación (Tabla 7.3).

Estos nueve municipios son: Nueva Paz, San Nicolás, Güines, Melena del Sur, Batabanó, Quivicán, Güira de Melena, Alquizar y Artemisa, con una extensión superficial total de 2949,58 Km² (51,46% del total), de los que 43 Km² están compuestos por cayos, en tanto que su población era, al término del 2007, de 343 089 habitantes (43,37% del total provincial), para un promedio de 116,31 habitantes*(Km²)-1 (Tabla 7.4).

Las 68300,0 ha de patrimonio forestal en ellos existente puede ser agrupada en tres categorías diferentes (Figura 7.3):

- Los municipios con más de 10,0 Mha de patrimonio, ubicados sólo en los extremos de su distribución espacial (al extremo este Nueva Paz, con 17 627,0 ha y al extremo oeste Artemisa, con 11 835,3 ha).
- Los municipios con menos de 5,0 Mha de patrimonio, ubicados justo en la zona central del sur de la provincia (Batabanó, con 4 272,9 ha y Melena del Sur, con 4 136,8 ha).

Los municipios con un patrimonio comprendido entre las 5,0 y las 10,0 Mha, distribuidos entre los municipios extremos y los municipios centrales (entre Nueva Paz y Melena del Sur, Alquizar, con 7755,5 ha y Güines, con 5979,4 ha; entre Artemisa y Batabanó, Quivicán, con 5861,3 ha, Güira, con 5701,7 ha y San Nicolás, con 5130,0 ha).

Tabla 7.3. Composición del patrimonio forestal en las regiones norte y sur de La Habana al término del 2007 (DNF, 2008).

COMPOSICIÓN	INDICADOR	REGIÓN	
		Norte	Sur
Por áreas	Área total del patrimonio	46 910,4	68 300,0
	- Área inforestal	4 846,9	16 803,9
	- Área forestal	42 063,5	51 496,1
	• Área por reforestar	6 563,4	2 995,0
	• Área de plantaciones en desarrollo	6 724,8	6 045,8
	• Área cubierta	28 775,3	42 455,3
	Área de plantaciones establecidas	4 651,1	5 600,5
	Área de bosques naturales	24 124,2	36 854,8
Por categorías	Bosques productores	4 487,7	27 590,3
	Bosques protectores	37 371,6	39 145,4
	- De aguas y suelos	35 460,0	9 509,4
	- Del litoral	1 911,6	29 636,0
	Bosques de conservación	5 051,1	1 564,3
	- De manejo especial	3 391,7	1,2
	- De conservación de la flora y la fauna	1,2	1 430,1
	- Educativos y científicos	0,0	0,0
	- De recreación	1 658,2	133,0

Tabla 7.4. Superficie y población de los nueve municipios del sur de La Habana (ONE, 2007).

CONCEPTO	Extensión superficial (km ²)			Población 31/12/07
	Área total	Cayos	Tierra firme	
Nueva Paz	512,90	-	512,90	24 635
San Nicolás	241,46	-	241,46	21 407
Güines	436,80	-	436,80	68 414
Melena del Sur	228,46	-	228,46	20 367
Batabanó	228,36	43,10	185,26	26 414
Quivicán	284,63	-	284,63	30 062
Güira de Melena	176,69	-	176,69	38 322
Alquizar	194,26	-	194,26	30 881
Artemisa	689,12	-	689,12	82 587
TOTAL	2 992,68	43,10	2 949,58	343 089

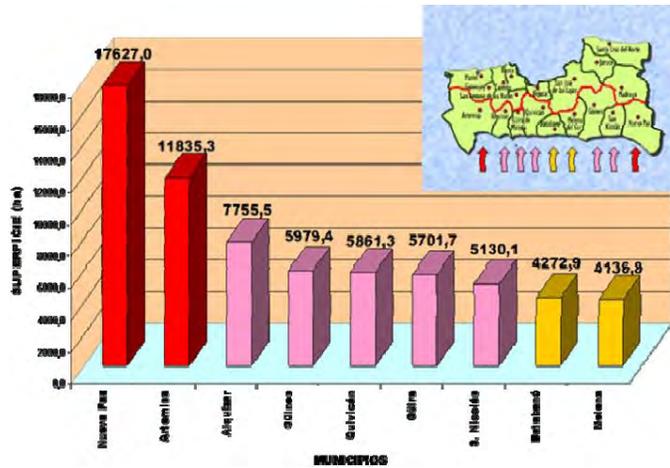


Figura 7.3. Distribución del patrimonio forestal en los nueve municipios del sur de La Habana (DNF, 2008).

En cinco de los nueve municipios predominan en el patrimonio los bosques establecidos (N. Paz, Artemisa, Alquizar, Güines y Melena S.), en tanto que en tres municipios el área inforestal es muy importante (Güira, Quivicán y S. Nicolás) y Batabanó se destaca por presentar la mayor parte del área por reforestar de toda la región sur (Figura 7.4).

Igualmente, en cinco de los nueve municipios predomina la categoría de bosques protectores del litoral (Güira, Alquizar, Quivicán, Batabanó y Güines) y en Artemisa los bosques protectores de aguas y suelos son mayoritarios, por lo que desde el centro hasta el extremo oeste del sur de la provincia, los bosques están principalmente dedicados a la protección y conservación del ambiente y la biodiversidad, mientras que en tres de los cuatro municipios orientales (Melena, N. Paz y S. Nicolás), son más abundantes los bosques dedicados a la producción maderera (Figura 7.5).

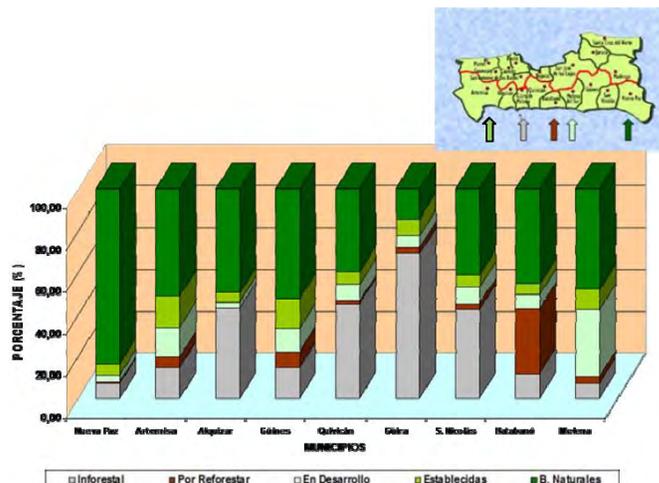


Figura 7.4. Composición del patrimonio por tipo de área en los municipios del sur de La Habana (DNF, 2008).

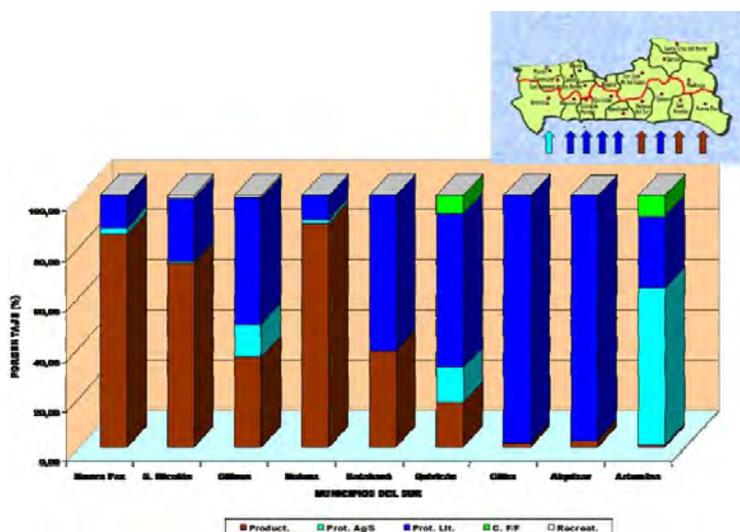


Figura 7.5. Composición del patrimonio por categoría de bosques en los municipios del sur de La Habana (DNF, 2008).

Cuando el patrimonio forestal del sur de la provincia se relaciona con la superficie y población del territorio, se evidencia que está algo mejor que las correspondientes cifras provinciales, aunque no por ello los resultados son satisfactorios, si se comparan con los valores reportados internacionalmente (Tabla 7.5).

Tabla 7.5. Comparación de los indicadores básicos de disponibilidad forestal.

Referencia	A. cubierta (ha) / Superf. (km ²)	A. cubierta (ha) / Habitante
País	25,25	0,25 (50 x 50 m)
La Habana	12,43	0,10 (32 x 32 m)
Sur de La Habana	14,39	0,12 (35 x 35 m)

7.2.1. Área forestal al cierre del 2007.

En los nueve municipios del sur de estas provincias quedaban por reforestar 2995,0 ha, desglosadas en 41,28% de bosques productores, 29,52% de bosques protectores del litoral, 24,56% de bosques protectores de aguas y suelos, y 4,64% de bosques para la conservación de la flora y la fauna (Tabla 7.6). Batabanó era el municipio que más área por reforestar presentaba (43,73% del total), muy separado del resto, mientras que Alquízar prácticamente no tenía áreas pendientes por cubrir (0,20%).

Las plantaciones en desarrollo (menores de 3 años) en estos municipios alcanzaban 6045,8 ha, en proceso de desarrollo y certificación, integradas por un total de 40 especies arbóreas, de las que cuatro eran frutales. Los municipios reportaban áreas en desarrollo con un máximo de 19 especies (Artemisa) y un mínimo de 10 especies (Güira de Melena).

Las 10 especies que presentaban más de 180,0 ha de plantaciones en desarrollo eran, por orden de importancia: algarrobo indio (*Albizia procera* Benth.), mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.), paraíso de la India (*Melia azadirachta* Lin.), melina (*Gmelina arborea* Roxb.), majagua (*Taliparathy elatus* (Sw.) Frixell.), ocuje (*Calophyllum*

antillanum Britt.), caoba de Honduras (*Swietenia macrophylla* King.), albizia (*Albizzia procera* Benth.), casuarina (*Casuarina spp.*) y piñón florido (*Gliricidia sepium* (Jacq) Steud.), que de conjunto representaban 72,63% de la superficie total de plantaciones en desarrollo (Tabla 7.7).

Tabla 7.6. Composición del área por reforestar en los nueve municipios del sur de La Habana al término del 2007 (DNF, 2008).

Municipio	Tipo de bosque				TOTAL (ha)
	Productor	Protección litoral	Protección agua y suelo	Cons. F y F	
Nueva Paz	124.7	0.3			125.0
San Nicolás	138.9				138.9
Güines	126.4	15.5	305.6		447.5
Melena del Sur.	137.5				137.5
Batabanó	655.9	653.9			1309.8
Quivicán	52.9	17.2			70.1
Güira de Melena		191.3			191.3
Alquízar		5.9			5.9
Artemisa			430.1	138.9	569.0
TOTAL (ha)	1236.3	884.1	735.7	138.9	2995.0

Entre todos los municipios se registraban 1042,3 ha (17,24% del área total) de plantaciones en desarrollo con especies propias de los manglares: mangle rojo (*R. mangle*), patabán (*Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. f.) y yana (*Conocarpus erecta* L.); sin embargo, en ningún municipio se reportaban plantaciones en desarrollo con mangle prieto (*Avicennia germinans* (L.)), especie que normalmente ocupa el segundo lugar en la sucesión del manglar, del mar hacia la tierra.

Tabla 7.7. Composición de las principales especies en plantaciones en desarrollo (< 3 años) por municipio, en el sur de La Habana, al término del 2007 (DNF, 2008).

Especie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TOTAL (ha)
Algarrobo indio		5.0	10.0	483.4	36.5	73.6	83.6	25.0	476.5	1193.6
Mangle rojo	149.8	111.0	128.1	242.8	59.0	62.0	50.0	78.3		881.0
Paraíso India	43.7	14.9	162.5	104.0	11.3	32.3			104.2	472.9
Melina			10.0			5.0			378.6	393.6
Majagua		10.2	64.0	187.9		20.0	9.7		38.4	330.2
Ocuje		5.2	41.0	96.5	84.2	25.0		15.2		267.1
Caoba Honduras	110.1					52.9		0.8	73.4	237.2
Albizia		232.6								232.6
Casuarina sp.	1.5		85.5	56.0	8.2		29.6	17.0		197.8
Piñón florido	40.1								144.8	184.9
TOTAL (ha)	724.1	880.0	1671.7	1369.8	470.0	443.7	309.2	1352.2	5606.8	4390.9

1: Nueva paz, 2: San Nicolás, 3: Güines, 4: Melena del Sur; 5: Batabanó; 6: Quivicán; 7: Güira de melena; 8: Alquízar; 9: Artemisa

Por su parte, las plantaciones establecidas (con 3 años ó más), contaban con 5 600,5 ha de plantaciones con tres o más años, integradas por un total de 37 especies arbóreas, de las que una era además, frutal. Los municipios reportaban áreas de plantaciones establecidas con un máximo de 17 especies (Güines) y un mínimo de siete especies (Alquízar).

Las 10 especies que presentaban 150,0 ha ó más de plantaciones establecidas eran, por orden de importancia de mayor a menor: mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.), algarrobo indio (*Albizzia procera* Benth.), casuarina (*Casuarina spp.*), patabán (*Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. f.), ipil gigante (*Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit., ocuje (*Calophyllum antillanum* Britt.), júcaro (*Bucida spp.*), yana (*Conocarpus erecta* L.), majagua (*Taliparathy elatus* (Sw.) Frixell.) y coco (*Cocos nucifera* L.), que de conjunto representaban 75,93% de la superficie total de plantaciones establecidas. Entre los nueve municipios se registraban 2180.9 ha (38.94% del área total) de plantaciones establecidas con especies propias de los manglares: mangle rojo (*R. mangle*), patabán (*L. racemosa*) y yana (*C. erecta*); sin embargo, de ellas sólo se reportaban 11.4 ha de plantaciones establecidas con mangle prieto (*A. germinans*) (Tabla 7.8).

Tabla 7.8. Composición de las principales especies en plantaciones establecidas (≥ 3 años) por municipio, en el sur de La Habana, al término del 2007 (DNF, 2008).

Espece	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Mangle rojo	471.9	126.3	121.2	110.1	41.0	70.4	203.9	198.5	303.9	1647.2
Algarrobo indio		44.0	78.8	47.1	11.0	92.6	15.0	27.3	334.2	650.0
Casuarina sp.	8.3		255.0	39.4			155.8	34.0	4.1	496.6
Patabán	46.0	38.9	30.6	11.0	63.3	38.5	37.2		108.6	374.1
Leucaena gigante			11.2		22.4	13.5			205.9	253.0
Ocuje			66.7	20.5	28.6		2.0	35.6	48.2	201.6
Júcaro sp.	169.0									169.0
Yana		27.8	9.5	29.7	35.5	37.5	19.6			159.6
Majagua		2.5	8.3	55.0		11.0	10.1		64.6	151.5
Coco			150.0							150.0
TOTAL (ha)	695.2	239.5	731.3	312.8	201.8	263.5	443.6	295.4	1069.5	4252.6

1: Nueva paz, 2: San Nicolás, 3: Güines, 4: Melena del Sur; 5: Batabanó; 6: Quivicán; 7: Güira de melena; 8: Alquízar; 9: Artemisa

Los bosques naturales contaban con 36 854, 7 ha de bosques naturales correspondientes a tres formaciones forestales diferentes: Semidecuidos sobre suelos de mal drenaje (18 321,4 ha), Manglar (9 707,1 ha) y Semidecuidos sobre calizas (8 826,2 ha) (Tabla 7.9).

Tabla 7.9. Composición de bosques naturales por municipio, en el sur de La Habana, al término del 2007 (DNF, 2008).

FORMACIÓN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Semid. mal drenaje	8603.8	1425.2	2141.2	1564.6		443.3		3850.4	292.9	18321.4
Manglar	2864.4	475.0	369.0	298.9	1930.1	646.1	810.8		2312.8	9707.1
Semid. sobre calizas	3223.0	201.0	609.5	111.2		1221.6			3459.9	8 26.2
TOTAL (ha)	14691.2	2101.2	3119.7	1974.7	1930.1	2311.0	810.8	3850.4	6065.6	36854.7

1: Nueva paz, 2: San Nicolás, 3: Güines, 4: Melena del Sur; 5: Batabanó; 6: Quivicán; 7: Güira de melena; 8: Alquizar; 9: Artemisa

Sólo el Municipio Güira presenta una superficie de bosques naturales muy inferior a las dos mil hectáreas (2.2% del total), en tanto que Nueva Paz prácticamente tiene existencias mayoritarias en las tres formaciones (sólo Artemisa la supera ligeramente en bosques Semidecuidos sobre calizas), representando el 39.9% del total. Todos los municipios tienen bosques naturales costeros, ya sean de Manglar o Semidecuidos sobre suelos de mal drenaje, los que representan 76.1% de la superficie total de bosques naturales. La representación gráfica general de la variación en la composición del área forestal de los nueve municipios analizados se presenta en la Figura 7.6.

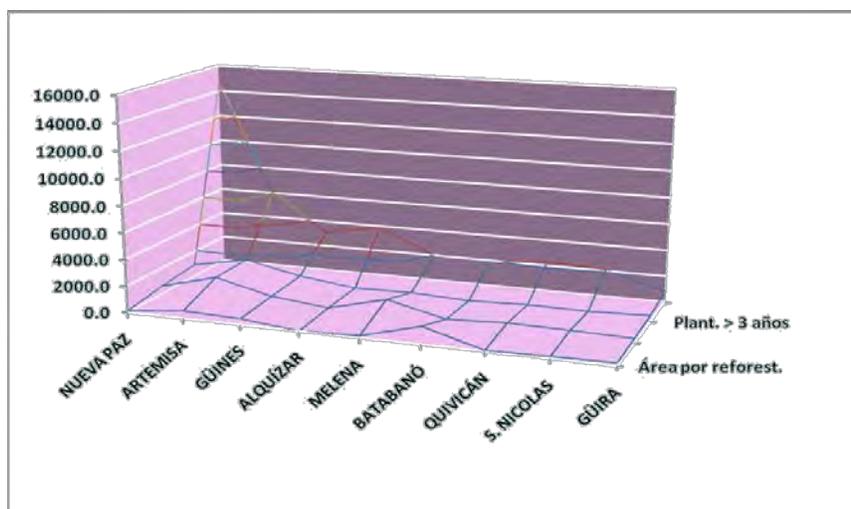


Figura 7.6. Variación general de la composición del área forestal en los nueve municipios del sur Artemisa y Mayabeque.

7.2.2. Aprovechamiento forestal

En la Tabla 7.10 se presentan los datos correspondientes a las talas efectuadas durante el año 2007.

Tabla 7.10. Nivel de aprovechamiento por municipio, en el sur de La Habana, durante el 2007 (DNF, 2008).

Municipio	Indicador					
	Superficie (ha)	Bosques productores	Bosques protectores litoral	Bosques protectores agua/suelo	Volumen (m3)	Rendimiento. (m3/ha)
Nueva Paz	680.0	680.0			5880.0	8.7
San Nicolás						
Güines						
Melena del Sur	29.4	28.4	1.0		3032.0	103.1
Batabanó	15.0	12.0		3.0	1201.0	80.1
Quivicán	6.0		6.0		366.0	61.0
Güira de Melena						
Alquízar	12.0		12.0		1921.9	160.2
Artemisa	516.0		516.0		88.0	0.2
TOTAL	158.4	720.4	535.0	3.0	12488.9	9.9

7.2.2.1. Plantaciones de bosques naturales menores de 3 años

Sólo fueron realizados aprovechamientos superiores a las 500 ha en los municipios de Nueva Paz y de Artemisa, los que presentan las mayores áreas forestales y superficies de bosques naturales del sur de la provincia; aunque en Artemisa todas las talas fueron realizadas en bosques protectores del litoral, las mismas fueron de hechas de forma selectiva, según lo previsto en la legislación vigente. En los restantes municipios no fueron efectuadas talas o éstas no superaron la 30 ha, lo que está en correspondencia con la composición y categoría de sus respectivos patrimonios.

Considerando los datos antes presentados, es posible realizar un estimado del tiempo total necesario para que el patrimonio forestal de los nueve municipios incluidos en el estudio quede completamente cubierto. Si en el territorio se aprovechan anualmente mediante tala rasa 707.4 ha, plantando como promedio anual 1465.0 ha que, al término del tercer año presentan un 70% de logro y la superficie por reforestar al término del 2007 era de 2995,0 ha, entonces la proyección futura de este proceso indica que en un término de tres años (2010) los nueve municipios habrán alcanzado su cobertura máxima y a partir de ese momento, sólo será preciso reforestar anualmente el área talada el año anterior (Tabla 7.10).

7.2.3. La EFI Mayabeque y el área de estudio.

La Empresa Forestal Integral Mayabeque es la única de su tipo existente en el territorio, administrando un patrimonio forestal de 70966.1 ha (equivalente al 61.60% del área total de la antigua provincia Habana), distribuido en los 19 municipios de la antigua provincia (Tabla 7.11), por lo que constituye el principal tenente forestal de la zona.

El patrimonio forestal de la Empresa se caracteriza por presentar la mayor parte del área cubierta por bosques naturales (60.1%) y contar con una importante composición de áreas inforestales (19.2%), mientras que la superficie por reforestar apenas supera el 5%. Con respecto al uso del patrimonio, el 41.5% está dedicado a la protección del litoral, mientras que también presenta un área considerable (31.0%) dedicada a la producción de madera (Tabla 7.12).

Tabla 7.10. Proyección de la dinámica de la reforestación en los nueve municipios considerados en el estudio de caso.

Año	2007	2008	2009	2010
Tala rasa (ha)	707.4	707.4	707.4	707.4
Plantación (ha)	1465.0	1465.0	1465.0	1465.0
Final Año		1318.5		
Final Año 2			2490.5	
Final Año 3				3516.0
Por reforestar (ha)	2995.0	2383.9	600.8	

El 69,8% del patrimonio que atiende la Empresa está localizado en los nueve municipios del sur de La Habana, donde también predominan las áreas de bosques naturales (55,8%) e inforestales (27,0%), así como las áreas para la protección del litoral (56,0%) y para la producción maderera (41,5%), restando por reforestar sólo 4,4% de ese territorio, elementos que de conjunto indican la importancia que para esta entidad representa la valoración de los posibles impactos que el cambio climático pueda ocasionarle y la adopción e implementación oportuna de una estrategia de adaptación que le permita reducir al máximo sus vulnerabilidades.

Tabla 7.11. Composición del patrimonio administrado por la EFI Mayabeque, por áreas (ha).

Región	Municipio	1	2	3	4.	5	TOTAL
NORTE	Mariel	418.6	763.4	2193.0	96.4	55.0	3526.4
	Guanajay	24.4	0.0	0.0	0.0	0.0	24.4
	Caimito	164.7	140.4	1009.4	85.0	7.0	1406.5
	Bauta	75.8	24.0	0.0	809.0	2.0	910.8
	San Antonio de los Baños	0.0	205.7	201.0	111.0	3.8	521.5
	Bejucal	133.7	413.0	0.0	0.0	0.0	546.7
	San José de las Lajas	181.3	229.5	292.1	0.0	34.6	737.5
	Jaruco	88.0	398.2	501.9	37.1	19.5	1044.7
	Santa. Cruz del Norte	95.8	786.2	5158.0	343.0	78.0	6461.0
	Madrugá	211.5	285.2	5623.5	97.3	31.0	6248.5
	Subtotal	1393.8	3245.6	14978.9	1578.8	230.9	21428.0
SUR	Nueva Paz	287.5	832.2	10892.7	117.0	1264.4	13393.8
	San Nicolás	120.2	248.6	1759.8	35.0	2034.6	4198.2
	Güines	399.1	702.7	3060.9	300.3	879.0	5342.0
	Melena del Sur	689.4	370.9	1974.7	137.5	296.5	3469.0
	Batabanó	81.0	168.4	1930.1	1309.8	521.0	4010.3
	Quivicán	131.6	178.5	698.6	70.1	936.8	2015.6
	Güira de Melena	306.7	448.1	810.8	191.3	3944.8	5701.7
	Alquízar	186.3	326.1	3850.4	5.9	3337.7	7706.4
	Artemisa	125.0	767.9	2659.7	0.0	148.5	3701.1
		Subtotal	2326.8	4043.4	27637.7	2166.9	13363.3
	TOTAL	3720.6	7289.0	42616.6	3745.7	13594.2	70966.1

1: Plantaciones en desarrollo; 2: Plantaciones establecidas; 3: Bosque natural; 4: Por reforestar; 5: Inforestada

Tabla 7.12. Composición del patrimonio administrado por la EFI Mayabeque. por categorías (ha).

Región	Municipio	1	2	3	4	5	6	TOTAL
Norte	Mariel	0.0	1970.0	1556.4	0.0	0.0	0.0	3526.4
	Guanajay	0.0	24.4	0.0	0.0	0.0	0.0	24.4
	Caimito	52.0	1257.5	97.0	0.0	0.0	0.0	1406.5
	Bauta	16.5	863.0	31.3	0.0	0.0	0.0	910.8
	San Antonio de los Baños	193.0	327.3	0.0	0.0	1.2	0.0	521.5
	Bejucal	0.0	546.7	0.0	0.0	0.0	0.0	546.7
	San José de las Lajas	77.8	598.7	0.0	61.0	0.0	0.0	737.5
	Jaruco	465.5	341.1	0.0	238.1	0.0	0.0	1044.7
	Santa. Cruz del Norte	13.9	5099.3	7.7	1340.1	0.0	0.0	6461.0
	Madrugá	610.9	2302.2	0.0	0.0	0.0	3335.4	6248.5
	Subtotal	1429.6	13330.2	1692.4	1639.2	1.2	3335.4	21428.0
Sur	Nueva Paz	11142.4	0.0	2249.4	2.0	0.0	0.0	13393.8
	San Nicolás	2872.8	0.0	1287.4	38.0	0.0	0.0	4198.2
	Güines	1620.3	677.6	2999.2	44.9	0.0	0.0	5342.0
	Melena del Sur	3072.0	0.0	397.0	0.0	0.0	0.0	3469.0
	Batabanó	1373.1	0.0	2637.2	0.0	0.0	0.0	4010.3
	Quivicán	139.8	1.8	1874.0	0.0	0.0	0.0	2015.6
	Güira de Melena	88.2	6.0	5607.5	0.0	0.0	0.0	5701.7
	Alquízar	151.0	17.8	7537.6	0.0	0.0	0.0	7706.4
	Artemisa	101.7	443.7	3155.7	0.0	0.0	0.0	3701.1
Subtotal	20561.3	1146.9	27745.0	84.9	0.0	0.0	49538.1	
TOTAL	21990.9	14477.1	29437.4	1724.1	1.2	3335.4	70966.1	

1: Bosques de producción; 2: Bosques de protección agua y suelo; 3: Bosques de protección de litoral; 4: Bosques recreativos; 5: Bosques de protección flora y fauna; 6: Bosques mantenimiento especial.

Los principales indicadores que caracterizan la gestión forestal de la Empresa en el año 2007 se presentan en la Tabla 7.13. La Empresa acumulaba en su patrimonio al término del 2007, un total de 17,7 MMtC, distribuido según se muestra en la Tabla 7.14, con un promedio por hectárea que la clasifica entre las EFI de mayor capacidad sumidero del país. Asumiendo la ejecución de una gestión similar a la de ese año durante los próximos 10 años, la Empresa deberá alcanzar un acumulado de 26,3 MMtC en 2017 (Álvarez *et al.*, 2010).

Tabla 7.13. Principales indicadores de la gestión forestal de la EFI Mayabeque en el 2007.

Plantaciones establecidas			Bosques naturales		
Principales Especies	Superficie (ha)	Volumen (m3)	Formación	Superficie (ha)	Volumen (m3)
Mangle rojo	1846.4	110784.0	Manglar	11046.2	925038.0
Algarrobo indio	1349.6	137659.2	Uveral	56.0	2800.0
Pino macho	765.5	68895.0	Semidecíduo de mal drenaje	11955.8	1080985.9
Casuarina	532.9	79935.0	Cuabal	1994.4	49860.0
Patabán	485.8	34006.0	Semidecíduo sobre suelo calizo	14623.8	998686.0
Leucaena gigante	386.4	28980.0	Xerófilo de mogote	188.6	9430.0
Yana	250.7	17549.0	TOTAL	39865.8	3066799.9
Ocuje	246.7	32071.0			
Majagua sp.	191.6	11496.0	Plantación anual: 1424 ha	Logro: 85%	
Coco	150.0	6000.0	Extracciones anuales		
Júcaro amarillo	149.0	14900.0	Raleos (m3):	Talas rasas (ha):	
Caoba de Honduras	101.5	7410.0	Plantaciones: 3700	Plantaciones: 26.4	
Almendra	86.2	7758.0	Bosques. naturales:	Bosques. naturales: 39.6	
Roble blanco	85.7	5999.0	Otras talas (m3):		
Paraíso de la India	63.9	5751.0	Plantaciones: 894.6		
TOTAL	6691.9	569193.2	Bosques naturales: 1 235.4		
La EFI maneja otras 21 especies en 383.2 ha. con 36 214.5 m ³ de madera.			Incendios forestales: 110 ha		
			Principal área afectada: A. inforestal (44%)		

Tabla 7.14. Retención de carbono de la EFI Mayabeque al término del 2007 (Álvarez et al., 2010).

Tipo de depósito de carbono	Biomasa	Necromasa	Suelo	Empresa	Promedio (tc/ha)
	(MtC)				
Area inforestal	490.4		7345.9	7836.2	
Area por (re)forestar	61.8		110.9	172.7	
Plantaciones en desarrollo			48.4	48.4	12.4
Plantaciones establecidas	828.6	61.7	853.4	1743.6	242.0
Bosques naturales	4024.0	340.1	3544.7	7908.9	198.4
EMPRESA	5404.8	401.8	11854.8	17709.8	265.0

7.2.4. Afectaciones actuales del patrimonio forestal.

7.2.4.1. Variabilidad climática.

La temperatura:

Esta variable climática, cuyo aumento aparentemente aún no afecta los ecosistemas

del país, ya ha comenzado sin embargo, a generar alteraciones en la fisiología de diversas especies arbóreas, con una expresión apreciable en la modificación de sus fenofases, tanto en su ocurrencia temporal, como en su magnitud, lo cual fue demostrado por primera vez en Cuba por Hechavarría (2009), en especies propias de las montañas y con diferentes capacidades adaptativas. Sin embargo, tal impacto no es exclusivo de las regiones más altas del país, sino que también comienza a ser registrado en otros tipos de bosque, incluidos los costeros.

En 2009 fueron registradas evidencias de alteraciones fenológicas temporales en la fructificación de mangle prieto (*A. germinans*) en Playa Larga, Ciénaga de Zapata, Matanzas, donde personal de la Empresa Forestal Integral *Victoria de Girón* reportó que habitualmente los propágulos de esta especie son cosechados en el mes de septiembre para su empleo en la reforestación y sin embargo, a fines de mayo, con tres-cuatro meses de anticipación, ya mostraban el desarrollo que se observa en la Figura 7.7, lo que implica a su vez la ocurrencia de corrimientos temporales también en la floración y en el proceso de fecundación de la especie. El lugar de este reporte, situado igualmente en la costa sur del país y a sólo 121 km (aéreos) de distancia con respecto a Surgidero de Batabanó, indica la posibilidad que también estén ocurriendo procesos similares en los manglares del sur de La Habana.



Figura 7.7. Desarrollo de frutos de mangle prieto (*A. germinans*) reportado en Playa Larga, Ciénaga de Zapata, Matanzas, con 3-4 meses de antelación al período habitual de cosecha. (A. Álvarez, 2009).

Ciclones tropicales:

La Región Occidental de Cuba es la más expuesta del país al efecto directo de los ciclones tropicales, muchos de los cuales transitan por la región sur, causando impactos de gran magnitud particularmente en los bosques costeros, donde se conjugan los efectos de los vientos, las lluvias y el embate del mar (Figura 7.8).



Figura 7.8. Evidencia de los impactos ocasionados por un huracán sobre los bosques costeros del sur de Guanahacabibes, Pinar del Río.

Sin embargo, a los efectos que sobre los bosques costeros producen los ciclones tropicales *per se*, es necesario añadir también los potenciales impactos de la surgencia que ellos pueden generar, según su nivel de organización o categoría, fenómeno que descrito en una forma muy simple consiste en una *impresionante y repentina ola que acompaña al ciclón tropical, que cubre como promedio de 150 a 200 km de costas.*

En tal sentido, investigaciones realizadas por Salas (2008) sobre el peligro de surgencia originado por la ocurrencia de ciclones tropicales indican que, precisamente es el poblado de Batabanó, al sur de Mayabeque, el punto donde un huracán de Categoría 5 que transite de este a oeste por el Golfo, puede generar la mayor surgencia esperable en el país, con una sobre-elevación del mar superior a los 8 m de altura (Figura 7.9). Si tal suceso llegara a producirse, prácticamente todos los bosques costeros comprendidos entre Playa Rosario en el municipio de Güines y Playa Cajío en el municipio de Güira de Melena, quedarían expuestos a los efectos de una surgencia de 4-5 m de sobre-elevación del nivel del mar, además de los impactos asociados a los vientos y lluvias propios del huracán, por lo que cabría esperar su completa destrucción.

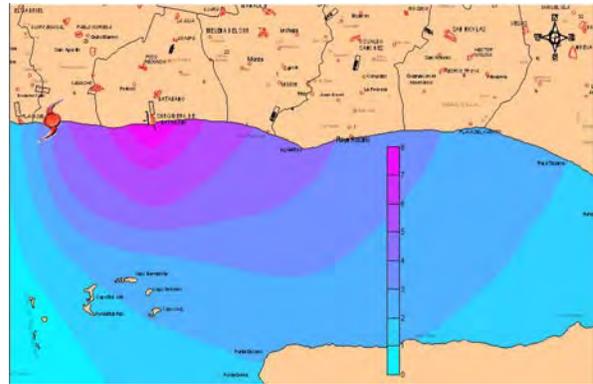


Figura 7.9. Lugar de máximo peligro de surgencia en el país, generada por un huracán de categoría 5, que transite por el golfo de Batabanó, de Este a Oeste (Salas, 2008).

Aumento del nivel del mar:

Reportes presentados en el evento GEOCIENCIAS 2009, sustentados en el análisis comparativo de fotos aéreas tomadas a mediados de las décadas de los años 50 y 90, demuestran que el avance del mar sobre los territorios costeros del sur de Artemisa y Mayabeque viene ocurriendo desde hace más de medio siglo, con impactos variables por lugares, probablemente como resultado de una combinación entre el aumento del nivel del mar y los movimientos descendentes de la corteza terrestre en la faja costera (Figura 7.10).



Figura 7.10. Avance del mar en la costa sur de Artemisa y Mayabeque durante los últimos 40 años del siglo XX.

Tomando en consideración que el área forestal costera de los nueve municipios

incluidos en este trabajo limita con importantes regiones agrícolas (principalmente, arroceras) y pecuarias (principalmente, de búfalos) situadas detrás de ella, que impiden todo intento de reubicación de estos bosques, la progresión temporal de estos dos procesos naturales representa una seria amenaza para su existencia futura.

7.2.4.2. Factores no climáticos.

Aun cuando este estudio de caso está especialmente orientado hacia la identificación de los principales impactos esperables en el territorio como consecuencia del cambio climático, es preciso considerar que otros factores diferentes del clima pueden forzar los impactos esperados e incluso, ser de mayor importancia que ellos para el recurso.

Consecuencias históricas del desarrollo:

La pequeña extensión actual del patrimonio forestal del territorio, incluyendo su región sur, es el resultado de un proceso histórico en el que intervinieron como elementos fundamentales la construcción naval para las flotas españolas durante el principio de la época colonial y posteriormente, el desarrollo acelerado de la ganadería y de las producciones azucarera y agrícola. Este proceso de desarrollo, hoy ajustado a un análisis integral conducente a la sostenibilidad, aún refleja sus efectos históricos sobre el patrimonio forestal y el área cubierta del sur de La Habana, donde el aumento de la densidad poblacional de los nueve municipios del sur (y por ende, de sus niveles de satisfacción de las necesidades alimentarias, económicas y de bienestar social), está asociado a una tendencia de reducción de la superficie de ambos indicadores, con un ajuste creciente de la relación del primero al segundo indicador (Figura 7.11).

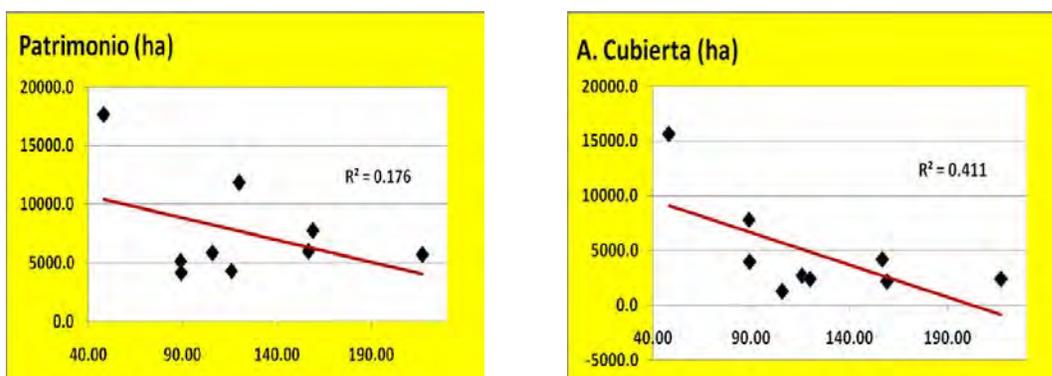


Figura 7.11. Relación entre los indicadores forestales y la densidad poblacional (hab/km^2) y en los nueve municipios del sur de La Habana.

Dique Sur:

La construcción de esta obra hidráulica ha tenido un elevado costo en términos forestales, porque el sector comprendido entre el Dique Sur y el borde del litoral sur a lo largo de sus 51 km de extensión, se ha visto expuesto a una intensa elevación de los tenores salinos de sus aguas y suelos, con la consiguiente repercusión negativa sobre todos los bosques costeros allí presentes, naturales o plantaciones, los que en muchas ocasiones fueron incapaces de adaptarse a estos niveles de salinidad en el tiempo disponible, dando como consecuencia su muerte, con una progresiva y creciente degradación de la calidad de este sector de los ecosistemas costeros.

Por otra parte, la elevación de los niveles de agua en toda el área de la ciénaga al norte

del Dique hace el efecto de una barrera hidráulica contra la penetración de las aguas del mar, desplazando a éstas tanto en la horizontal como en la vertical, viéndose reflejada la influencia del ascenso de los niveles en la zona pantanosa hasta puntos alejados hasta a 16 km de la costa, donde las cotas del agua subterránea no superan los 2 m. Estos desplazamientos combinados son los de mayor importancia, ya que de ellos depende el incremento de las reservas de agua dulce; además, los niveles de agua en la ciénaga permiten que disminuyan las pendientes del agua subterránea aguas arriba de esta zona, con lo que se reduce el flujo del agua hacia el mar y por tanto se logra una mayor retención de agua en la cuenca en general (Dirección Cuencas Hidrográficas, INRH, 2010). Estos beneficiosos efectos hídricos, que a su vez repercuten positivamente en el sector agropecuario, ocasionaron elevados costos en términos forestales, porque una porción considerable de bosques naturales y plantaciones existentes al norte del Dique o quedaron permanentemente inundados donde antes este fenómeno era sólo temporal, o presentaron períodos prolongados de inundación donde antes ésta no ocurría y no todas las especies allí existentes fueron capaces de adaptarse a estas nuevas condiciones, provocándose la muerte de numerosas especies y la pérdida de áreas de bosque.

Reordenamiento territorial:

El reordenamiento de la división político-administrativa de la antigua provincia La Habana, en dos nuevas provincias: Mayabeque y Artemisa, con la correspondiente redistribución de los nueve municipios costeros estudiados y del patrimonio forestal en ellos existente, implica desde el punto de vista forestal, que el proyecto de ordenación vigente para la administración del patrimonio subordinado a la EFI Mayabeque, la única empresa forestal de la provincia, quedará sin validez y será preciso acometer la elaboración de nuevos proyectos que partan de la situación de distribución y tenencia a que queden sometidas las áreas del patrimonio ubicadas en cada nueva provincia. Mientras tales proyectos sean elaborados y aprobados, aumentarán los riesgos de inadecuado manejo y utilización de los bosques existentes, con sus correspondientes consecuencias.

7.3. Bibliografía

1. Álvarez, A.; Alicia Mercadet; L. Yero; Isis Zulueta; Osiris Ortiz; Arlety Ajete y Teresa Suárez. Inf. Final de Resultado *Formulación de estrategias de mitigación para las empresas forestales*. Subproy. *La mitigación del cambio climático por los bosques cubanos*; Proy. *Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático: Subsector Forestal*; Prog. Ramal MINAG *Preservación de los recursos naturales*. Inst. Inv. Forestales. 54 p. 2010.
2. Direc. Cuencas Hidrográficas. Línea Base de Recursos Hídricos para el Ejercicio de Integración Sur de La Habana. Delegación Provincial de La Habana. 27 p. 2010.
3. DNF. *Dinámica Forestal 2007*. Ministerio de la Agricultura, 2008.
4. Hechavarría, Orlidia. *Contribución de la fenología a la conservación de tres especies forestales en Tope de Collantes*. Tesis en opción al grado de Doctor en C. Forestales. Univ. de P. Río *Hermanos Saíz Montes de Oca*; Facultad Forestal y de Agronomía. Mayo 2009. 117 p.

5. ONE. Anuarios Estadísticos de Cuba y sus Territorios. 2008.
6. Salas, E. Impacto de la surgencia en el archipiélago cubano considerando los cambios climáticos. Taller de Cambios Globales y Medio Ambiente: Tendencias Mundiales, Resultados y Proyecciones de Trabajo. Memorias. GEPROP, CITMA, C. Habana. 2008.

CAPÍTULO 8. AGRICULTURA

En los análisis que a continuación se hacen se han utilizado dos modelos de clima global pertenecientes a familias de modelos de larga tradición y se han especificado dos de las cuatro familias de escenarios de efectos de efecto invernadero. Tales escenarios conducen a un incremento de las temperaturas y a un decrecimiento de las precipitaciones. Pudiera pensarse que estos comportamientos fuesen privativos de tales escenarios pero no; todos los modelos de clima global prevén un aumento de las temperaturas durante el presente siglo (de no mediar acciones globales extremas que contrarresten esta tendencia), y la mayoría de los modelos más avanzados también prevén una reducción de las precipitaciones y un aumento continuado de la elevación del nivel del mar sobre el área del Caribe incluyendo a Cuba (Taylor *et al.*, 2007; Centella, 2010; Simpson *et al.*, 2009).

Cualquiera sea la magnitud del ascenso en las temperaturas, disminución de las precipitaciones y elevación del nivel del mar, tales combinaciones solo pueden conducir al deterioro de las condiciones climáticas para la producción de alimentos y la productividad primaria neta de ecosistemas terrestres. Como parámetros estimadores del efecto nocivo del cambio climático sobre los cultivos estudiados se eligieron solo aquellos relacionados con las duraciones de las fases fenológicas y el rendimiento potencial de los mismos. Un impacto negativo considerable a la duración de las fases fenológicas y al rendimiento potencial de un cultivo resulta ser una afectación seria a la que existen menos estrategias de adaptación que en otro tipo de afectación. Medidas agronómicas simples como el cambio en las fechas de plantación no constituyen soluciones adecuadas en este caso. Una agricultura de regadío tampoco pues ya ambos cultivos se encuentran bajo riego intensivo.

La metodología seguida, que con el tiempo ha sido estándar, es de naturaleza limitada e incapaz de extraer todas las conclusiones necesarias para la adaptación de un sector tan complejo que además está inmerso en un contexto político y socioeconómico de complejidad muy superior (PCC, 2010).

El enfoque metodológico utilizado resulta incapaz de tomar en cuenta la variabilidad climática que parece caracterizar el proceso continuo de ajuste al forzamiento radiativo en fase de transiente que está experimentando el clima global. Simplemente la ocurrencia de eventos extremos no necesariamente están simulados en los escenarios climáticos disponibles; sobre todo considerando que solo se han estudiado aquellos impactos que pudieran denominarse biofísicos. El resto de los eslabones de la cadena de producción agrícola no han sido suficientemente analizados.

En la zona de estudio se producirá una reducción sustancial y progresiva del potencial hídrico a lo largo del presente siglo. El clima de la región se hará cada vez más árido hasta alcanzar la categoría de subhúmedo seco en la segunda mitad de la centuria. Otras regiones de Cuba, como la Oriental, serán mucho más afectadas aún que en la estudiada aquí pero en éste territorio se presentará como un fenómeno nuevo sin precedentes históricos mientras que en la Región Oriental aparecerá como una exacerbación de las condiciones preexistentes. Esto implicará una reducción de las disponibilidades de agua aprovechable para fines de regadío y hará necesaria elevar la eficiencia en el uso del agua, posiblemente reduciendo las áreas bajo riego, para alcanzar rendimientos reales cercanos a los potenciales. Esto hará más difícil enfrentar la tarea de adaptación al cambio en el Sur de La Habana que en la región oriental de

Cuba pues no existe tradición agrícola de agricultura en climas secos en la primera de estas regiones.

La duración de las fases fenológicas de la papa y el arroz se verán modificadas progresivamente a lo largo del siglo actual en todos los escenarios, alargándose la fase vegetativa de la papa y acortándose todas las fases del arroz. Este efecto es muy evidente en los escenarios más nocivos pertenecientes a la familia de escenarios A2 y al modelo de clima global que prevé un mayor aumento de las temperaturas.

Los rendimientos potenciales en tubérculos y granos de los cultivos estudiados decrecerán en el futuro para todos los escenarios de cambio climático. La caída de tales rendimientos será más notable en los escenarios de la familia A2.

La caída de los rendimientos potenciales presenta sin embargo diferencias más dramáticas entre un cultivo y otro que el que presenta un mismo cultivo entre un escenario de cambio climático y otro. Esto es consecuencia de diferencias genéticas profundas que conducen a respuestas ambientales considerablemente distintas entre las familias de plantas con ciclo fotosintético C_3 de clima frío como la papa y las de clima cálido como el arroz que además poseen hábitos de crecimiento diferente.

Hoy la papa es cultivable (sembrada) exitosamente en Cuba durante una estrecha estación del año ubicada en noviembre – enero para el clima actual a alturas cercanas al nivel del mar. Para la región oriental del país esta ventana es aún más estrecha y se reduce a diciembre. En todos los escenarios la ventana estacional de invierno para la papa se estrecha progresivamente y los rendimientos potenciales del cultivo decrecen considerablemente al punto que en la segunda mitad del presente siglo la producción de papa en Cuba se hará extremadamente difícil con las variedades actuales. Es conocido que las variedades comerciales de papa han sido tradicionalmente obtenidas en países desarrollados con clima templado, paradigma que deberá ser modificado en el futuro a través de la obtención e introducción de variedades nacionales mejor adaptadas.

El arroz continuará teniendo rendimientos potenciales que pudiesen considerarse aceptables – pero decrecientes - en todos los escenarios futuros aunque de un modo que pudiéramos llamar condicional. Si esto se combina con falta de disponibilidad progresiva de agua para riego, lo que conllevaría a la reducción de área plantada en condiciones hoy consideradas óptimas, las aparentemente modestas reducciones en los rendimientos potenciales del arroz pudieran tener consecuencias serias para la producción total del grano. Dado que gran parte del arroz es también cultivado en Cuba a alturas cercanas al nivel del mar, a este análisis habría que añadir los impactos esperados en pérdida de áreas hoy cultivables, salinización y degradación de tierras a consecuencia de la intrusión salina y la elevación progresiva del nivel del mar.

Sucede que hoy en día para obtener rendimientos reales que se aproximen a los potenciales el arroz ha sido cultivado durante mucho tiempo bajo condiciones de aniego con un consumo considerable de agua. Tal manejo del cultivo será cada vez más difícil y costoso de mantener en el futuro si no se eleva la actual eficiencia tecnológica de producción (que solo alcanza valores en el rango 0.35 – 0.47) y no se reduce el uso consuntivo del agua elevándose la productividad en kilogramos de materia seca por metro cúbico de agua utilizada en su producción (Steduto *et al.*, 2009).

8.1. Metodología de trabajo

8.1.1. Clima de referencia

Como clima de referencia en la región de estudio se utilizaron diferentes representaciones, incluyendo una base multianual de datos mensuales observados (Rivero y Rivero, 2009). Para realizar estimaciones de variabilidad en los parámetros de impacto derivados de los modelos utilizados, se manejó además una base de datos diarios de estaciones meteorológicas seleccionadas. Ninguna de estas bases de datos contenía mediciones directas de radiación solar global, por lo que ésta fue estimada por procedimientos basados en observaciones de horas-luz y temperatura. La base de datos diarios solo pudo conformarse para el período 1994 - 2009. Sin embargo, esta base era imprescindible para ejemplificar la variabilidad temporal y aspectos concernientes a la estacionalidad del clima, que resultan de gran interés para las actividades agrícolas.

En lo que al territorio en estudio se refiere, fueron utilizados los datos correspondientes a las estaciones de Batabanó, Melena del Sur y Güira de Melena. Dado que los impactos estimados sobre estas tres localidades resultan muy semejantes, la mayoría de las conclusiones han sido ejemplificadas con solo una de estas estaciones. Por ello, los ejemplos mostrados para el cultivo de arroz y papa han sido ilustrados con la Estación de Batabanó, y los relacionados con el tabaco y el ganado porcino con la Estación Güira de Melena.

8.1.2. Modelos de impacto

Los modelos de impacto pueden ser clasificados en dos grandes tipos: los capaces de asimilar directamente valores de las variables recogidas en la base de datos climáticos y los que utilizan variables derivadas que deben ser obtenidas previamente, antes de ser asimiladas por el modelo de impacto.

8.1.2.1. Modelos Biofísicos

Modelos de la serie WOFOST:

La herramienta básica utilizada en la presente evaluación es un modelo biofísico dinámico del primer tipo, creado por la escuela holandesa de modelación de cultivos, el Modelo WOFOST 7.1.2, controlado desde el programa madre *Wofost Control Centre* (WCC 1.7), en la versión del año 2002 (Ittersum *et al.*, 2003). Este modelo es una versión muy avanzada del modelo original WOFOST 4.1 (Diepen *et al.*, 1988; Rivero, 2008a). La versión anterior ha sido también utilizada en la evaluación, como elemento de comparación, dada su transparencia y la disponibilidad completa de la documentación correspondiente. El Modelo WOFOST 7.1.2 fue entonces la herramienta básica utilizada para las simulaciones en la papa y el arroz, mientras que el WOFOST 4.1 fue el escogido para las correspondientes al cultivo del tabaco. Debe tenerse en cuenta que a pesar de sus elevadas capacidades, los modelos de la serie WOFOST poseen dos importantes limitaciones: (a) no pueden simular explícitamente el controvertido efecto de fertilización por CO₂ y (b) poseen solo un conjunto limitado de opciones de manejo agrícola. Tales limitaciones significan que los rendimientos obtenidos con WOFOST no pueden ser directamente utilizados como datos de entrada para el Modelo Integrado de Impactos Agrícolas del Cambio Climático MIIA 2.0, si no se estiman las necesidades de agua de riego por otras vías (Rivero, 2001; Rivero *et al.*, 2005a; Rivero, 2008a).

Otros Modelos Utilizados

El Índice de Temperatura Humedad (ITH) se empleó como indicador del estrés calórico en los animales. Para este índice se calcularon dos variantes:

- Considerando dos índices independientes, uno interpretado como el nivel de estrés calórico asociado a cambios conductuales de los animales en condiciones de confort desfavorables y otro relacionado con cambios en parámetros fisiológicos, como la temperatura rectal. Para esto, el primero de los índices se determinó mediante la ecuación:

$$ITH1 = (0.72 * Th) + (0.72 * Ts) + 40.6$$

Donde:

Ts- Temperatura Seca

Th- Temperatura de bulbo húmedo, la cual fue calculada a partir de los valores de temperatura seca y humedad relativa.

El segundo índice fue calculado con la ecuación:

$$ITH1 = (0.63 * Th) + (1.17 * Ts) + 32$$

Para la segunda variante la ecuación empleada fue:

$$ITH = (0.81 * Ts) + (HR/100 * (Ts - 14.4)) + 46.2$$

Donde:

Ts- Temperatura de bulbo seco y *HR*- Humedad Relativa del aire

En todos los casos, para evaluar el estado de confort de los animales se empleó la metodología descrita en NWSCR (1976):

ITH <=75 - no hay peligro

ITH >75 y <= 79 - peligro leve

ITH >79 y <= 83 - peligro moderado

ITH > 83 - peligro extremo

- Cálculo del ITH empleando la ecuación citada por Hanh (1999).

Para determinar la evolución en los escenarios futuros del consumo voluntario de alimento, de la tasa de incremento de peso y la conversión de alimento en masa, se emplearon las curvas de incremento de peso y consumo de alimento descrita por Nichols *et al.* (1980); las curvas referentes a cantidad de hembras en celo y la tasa de preñez (Serres, 1992) y la curva de mortalidad de cerdos al nacer de Stansbury *et al.* (1987). La correspondencia de estas curvas con la temperatura y un valor fijo de humedad relativa, permitió relacionar los valores productivos con los valores de ITH calculados para el par temperatura-humedad, que concierne a cada uno de los valores de los parámetros productivos mencionados anteriormente y obtener las ecuaciones de regresión para cada una de estas curvas. Los resultados finales fueron:

$$\text{ConsumoAlim} = (-0.002 * (ITH^2)) + (0.2195 * ITH) - 2.754$$

$$\text{IncrementoPeso} = (-0.0009 * (ITH^2)) + (0.1083 * ITH) - 2.4374$$

$$\text{HembrasCelo} = (-0.1172 * (ITH^2)) + (17.422 * ITH) - 547.46$$

$$TasaConcepc = (-0.0625 * (ITH^2)) + (8.375 * ITH) - 186.56$$

$$TasaMortalidad = (0.1181 * (ITH^2)) - (16.826 * ITH) + 611.5$$

También se empleó el modelo biofísico de cerdo del paquete de herramientas *LIFE-SIM* (Leon-Velarde *et al.*, 2008), considerando un sistema compuesto por 18 cerdos por corrales de 16m² y piso de cemento, abiertos y sin protección. La simulación fue realizada para 105 días de engorde, con peso mínimo de 25kg al comienzo de la simulación, tomado como el primer día de la etapa de ceba, el día 76 después del nacimiento. El alimento empleado para la simulación consistió en piensos a base de soya y maíz, en todo el ciclo de engorde.

En el caso del cultivo de la papa, arroz y tabaco, la determinación de los impactos del cambio climático conllevó un análisis previo de las vulnerabilidades actuales de la producción, hecho mediante el criterio de Juicio de Expertos (Soto y Castillo, 2011; MINAG, 2011; IIG, 2011a y b). Las vulnerabilidades detectadas que están directamente relacionadas con el clima son: la variabilidad climática incrementada y los fenómenos meteorológicos adversos. El análisis de los impactos esperados fue precedido de un análisis de los rendimientos potenciales estacionales y su variabilidad para todas las fechas de siembra, utilizando los datos climáticos diarios del período 1994 – 2009 y el modelo *WOFOST 7.1.2*. Tal análisis resultaba necesario para poder interpretar los resultados estimados para escenarios futuros.

8.2.3. Porcino

Para el estudio de la actividad pecuaria se abordó el impacto del cambio climático en el confort de los animales, y en algunos parámetros productivos, como el aumento de peso, el consumo de alimento, el porcentaje de hembras en celo, la tasa de preñez y la tasa de mortalidad de los cerdos al nacer. Un elemento importante que se verá es la eficiencia de conversión de alimento en peso corporal, traducido como la eficiencia del sistema productivo. Se emplearon los escenarios de cambio del Modelo Regional del Clima *PRECIS* (Jones *et al.*, 2004) y los datos reales del período 1961-90 de la estación de Güira de Melena para construir la línea base climática. Además se determinó los valores medios de cada variable para el período 1961-90 de los datos reales de la Estación antes mencionada y con los escenarios de cambio se construyeron las bases de datos correspondientes a los períodos de 30 años, ubicados alrededor de los años 2050 y 2085. Para ello se emplearon, por las técnicas universalmente reconocidas (Benioff *et al.*, 1996; Parry y Carter, 1998), las predicciones climáticas futuras generadas por el Modelo Regional *PRECIS* anidado en los modelos de circulación general (océano / atmósfera) *HadCM3* (Hadley Center, 2000) y *ECHAM4*, para los escenarios *SRES A2* y *SRES B2*. Las variables meteorológicas utilizadas en este estudio fueron, la temperatura del aire, la humedad relativa del aire y la rapidez del viento.

Indicadores de Impacto

El Índice de Temperatura Humedad (ITH) se empleó como indicador del estrés calórico presente en los animales. Para el caso de este índice se decidió calcular dos variantes del mismo, la primera variante considerando dos índices independientes, el primero traducido como el nivel de estrés calórico asociado al cambio en la conducta de los animales bajo condiciones de confort desfavorables (NWSCR, 1976; Lucas *et al.*, 2000)

y el segundo relacionado con cambios en algunos parámetros fisiológicos, como la temperatura rectal (Ingram, 1964; Lucas *et al.*, 2000). La segunda variante fue calcular el ITH empleando la ecuación citada por Hanh (1999) y desarrollada inicialmente para el ser humano por Thom (1958) y extendido posteriormente para el ganado bovino por Berry *et al.* (1964).

- Para la primera variante

El primero de los índices se determinó mediante la ecuación:

$$ITH1 = (0.72 * Th) + (0.72 * Ts) + 40.6$$

Donde:

Ts- Temperatura Seca

Th- Temperatura de bulbo húmedo, la cual fue calculada a partir de los valores de temperatura seca y humedad relativa.

El segundo índice fue calculado con la ecuación:

$$ITH1 = (0.63 * Th) + (1.17 * Ts) + 32$$

- Para la segunda variante la ecuación empleada fue:

$$ITH = (0.81 * Ts) + (HR/100 * (Ts - 14.4)) + 46.2$$

Donde:

Ts- Temperatura de bulbo seco

HR- humedad Relativa del aire

En todos los casos, para evaluar el estado de confort de los animales se empleará la metodología descrita en NWSCR (1976):

ITH <=75 - no hay peligro

ITH >75 y <= 79 - peligro leve

ITH >79 y <= 83 - peligro moderado

ITH > 83 - peligro extremo

Para determinar la evolución en los escenarios futuros del consumo voluntario de alimento, la tasa de incremento de peso y la conversión de alimento en masa se emplearon las curvas de incremento de peso y consumo de alimento descrita por Nichols *et al.* (1980). Además se utilizaron las curvas relacionadas con la cantidad de hembras en celo y tasa de preñez, descritas por Serres (1992) y la curva de mortalidad de cerdos al nacer descrita por Stansbury *et al.* (1987). El hecho de estar estas curvas relacionadas con la temperatura y un valor fijo de humedad relativa, nos permitió relacionar directamente los valores productivos con los valores de ITH calculados para el par temperatura-humedad que corresponde a cada uno de los valores de los parámetros productivos mencionados anteriormente y obtener las ecuaciones de regresión para cada una de estas curvas.

- En el caso del consumo voluntario de alimento se obtuvo la ecuación:

$$\text{ConsumoAlim} = (-0.002 * (ITH^2)) + (0.2195 * ITH) - 2.754$$

Donde:

ITH- Índice de Temperatura humedad

- El incremento diario de peso se calculó mediante la ecuación:
$$\text{IncrementoPeso} = (-0.0009 * (\text{ITH}^2)) + (0.1083 * \text{ITH}) - 2.4374$$
- La cantidad de hembras en celo fue calculada con la ecuación:
$$\text{HembrasCelo} = (-0.1172 * (\text{ITH}^2)) + (17.422 * \text{ITH}) - 547.46$$
- La tasa de preñez o concepción se determinó con la ecuación:
$$\text{TasaConcep} = (-0.0625 * (\text{ITH}^2)) + (8.375 * \text{ITH}) - 186.56$$
- La tasa de mortalidad de cerdos al nacer se determinó mediante la ecuación:
$$\text{TasaMortalidad} = (0.1181 * (\text{ITH}^2)) - (16.826 * \text{ITH}) + 611.5$$

También se empleó el modelo biofísico de cerdo del paquete de herramientas LIFE-SIM (Leon-Velarde, 2008), considerando un sistema compuesto por 18 cerdos por corral, con una dimensión del corral de 16m² y piso de cemento, generalmente abiertos y sin protección.

Se decidió realizar la simulación para 105 días de engorde, considerando un peso mínimo de 25kg al comienzo de la simulación, tomado como el primer día de la etapa de ceba, correspondiente al día 76 después del nacimiento. El alimento empleado para la simulación consistió en un pienso a base de soya y maíz, considerando satisfechas las necesidades alimenticias de los animales en todo el ciclo de engorde.

8.2. Vulnerabilidades e impactos

8.2.1. Cultivo de la papa.

El cultivo de la papa es altamente prioritario para el gobierno cubano. Cada año se gastan sumas elevadas de divisa convertible para importar semillas desde Europa y Canadá. En este sentido, el Ministerio de la Agricultura destinaba aproximadamente 40 millones de dólares estadounidenses para plantar aproximadamente 150000 ha y se garantizaba, además, una distribución normada a la población durante los 12 meses del año y las reservas alimentarias ante eventualidades. Este cultivo es importante para la seguridad alimentaria, sobre todo en situaciones de desastre (Soto y Castillo, 2011; INCA, 2011).

Sin embargo, durante las últimas campañas se han reducido a casi la mitad las áreas plantadas de este tubérculo (Tabla 8.1). A partir de la campaña 2006-2007 comenzó una reducción de área en más de 5000 ha y se ha tratado, con la implementación de una adecuada estrategia, de aumentar los rendimientos por área. El aumento significativo del área a plantar durante la campaña 2008-2009 se debió al paso de tres huracanes por el país y la necesidad de producir cantidades suficientes de alimentos para la población en poco tiempo. Durante la última campaña (2010-2011), el área plantada disminuyó hasta las 7515.2 ha; pero los rendimientos se mantuvieron en el mismo valor.

Las reducciones de áreas de este cultivo no solo se debieron a problemas financieros, sino también al comportamiento de las variables climáticas durante el periodo de plantación. Las provincias donde se plantaba papa, y no reunían condiciones óptimas

para su desarrollo, fueron eliminadas dentro de las productoras del tubérculo. Está demostrado que en el cultivo de la papa los resultados dependen, en alta medida, de las condiciones ambientales imperantes durante la etapa de desarrollo del cultivo y del cumplimiento estricto de las normas técnicas; los rendimientos están principalmente relacionados con el comportamiento de las variables meteorológicas, en específico con las temperaturas. La papa se cultiva actualmente en ocho provincias: Pinar del Río, Artemisa, Mayabeque, Matanzas, Cienfuegos, Villa Clara, Sancti Spiritus y Ciego de Ávila y el Municipio Especial Isla de la Juventud. Las provincias de Artemisa, Mayabeque, Matanzas y Ciego de Ávila son las que mayores áreas plantan cada año y también las de mayores volúmenes de producción.

Tabla 8.1. Rendimiento de las últimas cinco campañas paperas, según informe técnico del cultivo 2011.

Campaña de Papa	Área Plantada (ha)	Área Cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento Materia Húmeda (t/ha)
2006 – 2007	10 065,00	10 065,00	142 704,69	14,18
2007 – 2008	10 268,98	10 268,98	195 871,67	19,10
2008 – 2009	12 547,70	12 547,70	278 510,05	22,20
2009 – 2010	10 065,00	9 393,48	191 419,52	20,38
2010 – 2011	7 515,2	7 515,2	165 508,60	22,02

Informe técnico de la campaña de papa 2010-2011. MINAGRI, 2011

En la Tabla 8.2 se muestran los rendimientos obtenidos en cada una de las provincias donde se cultiva el tubérculo en el país y donde los rendimientos se corresponden con la media histórica para este cultivo, excepto en la provincia Villa Clara, que es ligeramente superior, con valores por encima de las 22 t/ha. Se observa para la provincia de La Habana un rendimiento que supera las 22 t/ha. Estos resultados muestran una campaña donde no existieron afectaciones significativas del clima.

Los datos que se presentan son el resultado de los principales problemas relacionados con el clima y que han impactado en la producción de papa en las últimas cinco campañas. Para este análisis se utilizaron los informes técnicos del cultivo, discutidos y analizados en el grupo nacional del cultivo y en el grupo de prospección y demandas tecnológicas del cultivo de la papa.

Durante las últimas campañas se han presentado repetidamente los siguientes problemas (en los casos necesarios se puntualizan fecha y lugar de ocurrencia):

Tabla 8.2. Resultados de la campaña papera 2008-2009 en las diferentes provincias donde se cultivó el tubérculo

Provincia	Área Cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)*
Pinar del Río	268.4	5892.64	21.95
La Habana	5475.4	122411.33	22.36
Matanzas	2375.3	52214.91	21.98
Villa Clara	778.4	18912.55	24.30
Cienfuegos	845.5	18924.05	22.38
Sancti Spiritus	335.5	7024.70	20.94
Ciego de Ávila	2375.3	51511.11	21.69
Isla de la Juventud	93.9	1618.75	17.23
Total	12547.7	278510.05	22.20

Para obtener el Rendimiento en Materia Seca, tales rendimientos deben ser divididos por cinco, para tomar en cuenta que el contenido medio de agua del tubérculo fresco en Cuba que es del 80 - 82%.

1. De forma reiterada en varias campañas, una estación de lluvias prolongada, que prácticamente no permite preparar los suelos en septiembre, octubre y principios de noviembre.
2. Lluvias intensas en octubre y noviembre, lo que limita utilizar la maquinaria. Esta situación ha sido crítica en la antigua provincia La Habana en dos campañas, donde solo se ha garantizó el 67% de la demanda en estos meses, aunque este problema se ha presentado en mayor o menor medida en todos los territorios. Al presentarse los atrasos en la preparación de suelo en septiembre, octubre y noviembre, se produce un gran pico de plantación, que ha movido la estrategia de siembra del cultivo a meses menos propicios para el desarrollo del mismo.
3. Se desplaza una gran cantidad de áreas a plantar hacia el mes de enero, lo que ha representado en algunos casos hasta el 20% del área plantada en una época no óptima, con condiciones menos propicias para el desarrollo del cultivo.
4. Presencia, a finales de las campañas, de episodios lluviosos no típicos para la temporada, tanto en cantidad como en frecuencia y localización (prácticamente en todas las zonas paperas). Por ejemplo: 210,0 mm en Remedios y 110,0 mm en Yabú, provincia de Villa Clara, el 20 de enero del 2008; así como que durante febrero, marzo y primeros días de abril, las lluvias fueron extremadamente intensas y frecuentes en lugares como Batabanó, provincia La Habana (actual Mayabeque), con 272,0 mm, el día 8 de abril del 2008.
5. Las labores de siembra y las fases de inducción de la tuberización en las principales provincias productoras del país han sido afectadas por las inusuales altas temperaturas nocturnas del mes de diciembre, las cuales presentan valores en algunos casos superiores a los 23°C. Por ejemplo: valores próximos a los 23.0°C alcanzados como promedio durante casi todo ese mes en la campaña 2007-2008.
6. Durante la campaña citada en el epígrafe anterior, el mes de enero también resultó muy cálido y a la vez desfavorable para las fases de engrosamiento de los tubérculos, ya que las noches presentaron temperaturas medias nocturnas decenales superiores a los 20.0 °C. El mes de febrero, si bien no fue tan cálido durante las noches como en diciembre y enero, solamente presentó una decena con temperaturas nocturnas inferiores a los 20.0 °C, por lo que casi todo el ciclo vegetativo del cultivo transcurrió con un régimen de temperaturas nocturnas muy desfavorables para las diferentes fases fenológicas.
7. La temperatura nocturna media de los meses de diciembre y enero en la llanura Habana-Matanzas (Artemisa-Mayabeque-Matanzas) mostró unas de las campañas más cálidas de los últimos 40 años, solamente comparable con la del año 1991. El régimen térmico nocturno en la provincia de Ciego de Ávila se caracterizó por temperaturas nocturnas más elevadas que las reportadas en las áreas paperas del occidente del país. Las 5537 ha que se plantaron entre el 20 de diciembre y el 20 de enero, el 53.8 % del área total plantada, en el momento de la tuberización no contaron con las temperaturas óptimas de, 17°C o menos, como medias nocturnas para comenzar el proceso de tuberización y desarrollar un proceso normal de engrosamiento del tubérculo.

Las situaciones antes mencionadas han traído como consecuencia atrasos en los ciclos de cosechas, por lo que muchas de las variedades permanecieron en campo

hasta después de los 100 días de plantada, cuando su ciclo de máximo rendimiento, es como promedio de 90 días en la mayoría de las variedades que se comercializan actualmente. A ello se une las afectaciones que se producen por plagas en el interior del suelo, con el consecuente deterioro del tubérculo.

La utilización de variedades de alto potencial de rendimiento ha sido, hasta la actualidad, una de las estrategias para aumentar los rendimientos; ejecutándose pruebas de adaptación de las nuevas variedades en cinco sitios del país (San José de las Lajas, Batabanó, Matanzas, Villa Clara y Ciego de Ávila), lo que ha jugado un papel importantísimo en dicha estrategia. Estos estudios han permitido seleccionar las variedades mejor adaptadas a los sitios específicos, de forma tal que se puedan explotar en cada territorio las variedades de mejor comportamiento.

En la Tabla 8.3 se presenta un resumen de las principales variedades que se han plantado desde la campaña 1999-2000 hasta la 2007-2008. Aunque existe un número importante en las primeras campañas, estas cantidades se reducen hasta solamente trece variedades. Existe otro grupo de variedades que se mantienen en extensión y que dependiendo de su comportamiento pasan a formar parte de la estructura varietal.

Tabla 8.3. Principales variedades de papa incluidas en la estrategia varietal del país durante las últimas nueve campañas

Variedad	CAMPAÑAS								
	Área plantada (UM Caballería)								
	2007/ 2008	2006/ 2007	2005/ 2006	2004/ 2005	2003/ 2004	2002/ 2003	2001/ 2002	2000/ 2001	1999/ 2000
Holandesas									
Romano	97,4	109,62	152,7	82,3	92,8	73,5	60,1	44,1	31,1
Spunta	148,8	118,80	145,8	95,0	102,2	72,1	73,5	57,4	51,0
Santana	94,8	115,40	139,4	95,7	84,7	84,0	45,0	29,9	17,0
Ajiba	29,0	66,89	71,5	59,1	47,9	47,5	41,8	32,4	21,2
Armada	42,9	28,43	34,7	29,0	16,4	3,05	1,0	1,17	
Maranca	29,0	21,90	14,1	10,0		1,95	1,1		
Red Scarlet	44,9	38,50	22,9	10,0	4,0	3,3			
Fabula		5,12	3,8	2,0	0,15				
Everest	10,5	3,45							
Desiree				14,8	60,4	36,3	42,6	81,4	118,1
Symfonia					3,7	9,1	4,7	9,3	5,5
Arnova				19,16	19,6	12,5	2,1	1,24	
Mondial				2,0	2,9			5,6	4,7
Carlita					2,2	5,2	1,6		
Francesas									
Aida		18,30	23,6	30,0	19,2	5,5	0,3	0,89	
Atlas	56,0	30,71	9,2						
Apolline		1,03							
Canadienses									
Chieftain			91,7	357,94	361,63	414,5	386,1	337,47	423,04
Red Pontiac		8,15	46,7	18,7	32,4	35,0	76,1	136,5	180,2
Atlantic		3,5	8,7	60,9	39,6	29,0	25,3	42,5	38,1
Cal White	101,3	105,33	103,0	33,2	6,7	6,8	2,7	0,75	
Red LaSoda	43,0	18,3	31,8	8,5	7,5	4,5	4,4	2,2	0,5
LaRouge	38,4	38,42	25,1	9,6	26,7	8,5	5,5	2,5	0,5
Spunta	5,0	12,0	15,7	3,4	9,9	12,7	29,3	2,6	

De un total de 24 variedades seleccionadas, que se utilizaron de forma general desde las primeras campañas, se nota que solamente 13 de ellas se mantienen hasta la última campaña. Los informes de la campaña 2010-2011 informan reducciones de hasta solamente ocho variedades tratando de que se contemplen en dicha estrategia las de mejor comportamiento combinado con características adecuadas en cuanto a la calidad interna del tubérculo y las conservación en cámaras refrigeradas.

Para el estudio se tomaron los municipios del sur de La Habana (Artemisa y Mayabeque). Es en estos municipios donde se concentran la mayor área y los mayores volúmenes de producción de papa en el país, ya que representan, entre las dos, más del 40% de las áreas plantadas y de la producción obtenida, como se muestra en la Tabla 8.4.

En la Tabla 8.5 se muestran los rendimientos de los principales municipios de las provincias Artemisa y Mayabeque. En la misma se establece una comparación entre los resultados de la campaña 2007-2008 con los de la campaña 2006-2007, en la cual se produjeron afectaciones notables por el clima. Se observa de forma general como en los municipios, la mayor parte de ellos situados al sur, obtuvieron rendimientos por debajo de los obtenidos en la campaña 2007-2008 y que se corresponden con los rendimientos medios obtenidos históricamente para este cultivo en el territorio. Los rendimientos fueron inferiores en la mayoría de los municipios en unas 6 t/ha, lo que demuestra que independientemente de errores humanos, las mayores afectaciones se produjeron por temperaturas inadecuadas durante la fase de emisión de estolones, lluvias intensas en los períodos de crecimiento y los periodos cercanos a la fase de cosecha, así como altos valores de la humedad relativa del aire.

Tabla 8.4. Producción real obtenida en la campaña 2010-2011 y porcentaje que representa en cada provincia.

Provincia	Producción (t)	
	Real	%
Pinar del Río	2233.8	1.4
Artemisa	27311.8	16.5
Mayabeque	40581.8	24.5
Matanzas	36246.3	21.8
Villa Clara	13608.7	8.2
Cienfuegos	10531.7	6.4
Sancti Spiritus	3300.2	2.0
Ciego de Ávila	31694.3	19.2
Total	165508.6	100.0

Tabla 8.5. Municipios productores de papa y la producción obtenida durante dos campañas paperas

Municipio	2007-08 Rendimiento (t/ha)	2006-07 Rendimiento (t/ha)	Diferencia (t/ha)
Artemisa	19.10	13.22	- 5.88
Alquízar	21.90	15.44	- 6.46
Güira Melena	19.36	12.81	- 6.55
San Antonio de los Baños	21.21	12.12	- 9.09
Quivicán	17.51	12.89	- 4.62
Batabanó	25.23	17.59	- 7.64
Melena del Sur	19.60	12.38	- 7.22
Güines	21.12	14.38	- 6.74
Nueva Paz	20.53	18.44	- 2.09
Media Regional	20.41	14.54	- 5.87

Durante la última campaña se presentaron en las provincias de Artemisa y Mayabeque

muy bajas temperaturas durante los meses de noviembre y diciembre, así como en la primera quincena de enero, y aunque son muy favorables para el desarrollo del cultivo, por ser tan bajas, la germinación de la semilla se vio seriamente afectada, retrasando las demás labores del cultivo y por supuesto la estrategia para la campaña. Durante enero, febrero y marzo se presentaron intensas neblinas en prácticamente todo el país y fueron más intensas en la llanura Mayabeque-Artemisa-Matanzas, lo que favoreció la aparición de enfermedades fungosas, fundamentalmente el tizón tardío de la papa.

Estas condiciones unidas a una mala implementación de la estrategia fitosanitaria originó severas afectaciones por tizón en las provincias Artemisa y Mayabeque, fundamentalmente en las empresas Agropecuaria Artemisa y Agropecuaria Melena del Sur; en el caso de Mayabeque las intensas lluvias ocurridas a fines de la primera decena de marzo y el 5 de abril afectaron severamente a las empresas Agropecuaria Melena del Sur, Batabanó y Miguel Soneira, acortando el ciclo de vida de las plantaciones y afectando la calidad de las producciones (pudriciones).

A continuación se muestra un resumen de las principales vulnerabilidades para la producción de la papa:

1. Los altos precios de la semilla de papa importada de Europa y Canadá, principales mercados de Cuba, no permiten un crecimiento del área de siembra del tubérculo a corto plazo.
2. Las necesidades de conservar otros tipos de alimentos en las cámaras refrigeradas, como los granos que son muy importantes en la sustitución de importaciones, hacen que disminuyan los volúmenes posibles de papa a almacenar en los frigoríficos.
3. Se cuenta con una sola variedad aconsejable para el procesamiento industrial y muy pocos cultivares que posean buenas características para su conservación en frío.
4. La utilización actual de un paquete tecnológico de cultivo no promueve la búsqueda de alternativas de mitigación y adaptación al cambio climático.
5. Existe actualmente una capacitación insuficiente de enfrentamiento a los problemas del cambio climático en el sector productivo y un hecho semejante se produce en relación a la divulgación y aplicación de medidas de adaptación al mismo.
6. No existe en el sector productivo una estrategia implementada para enfrentar la intensificación de la variabilidad climática y el cambio climático que se avecina o está en progreso.
7. La disminución de las extensiones plantadas, unida a los problemas financieros del país, podrían disminuir sensiblemente las áreas a plantar en el futuro con riesgo de la pérdida de uno de los recursos más preciados como lo es la formación del capital humano.
8. Los rendimientos reales del cultivo son superiores durante el período más fresco del año. Lo que denota que la papa es sensible y responde negativamente a las altas temperaturas existentes durante la estación más cálida del año.

Para la simulación de los impactos del cambio climático es necesario resaltar que la papa es un cultivo de ciclo fotosintético C3 y clima templado, con hábito de crecimiento

indeterminado (Oldeman y Frere, 1982; Rivero *et al.*, 1999). Tales características condicionan su respuesta a los cambios en las condiciones climáticas, diferenciándola considerablemente de los cultivos de cereales, como el arroz. Los parámetros denominados genéticos que resultan imprescindibles para realizar la modelación de su ciclo de cultivo, por cualquiera de los modelos biofísicos disponibles, han sido publicados por Heemst (1988) o se encuentran en los ficheros de datos de entrada de los modelos de simulación como *WOFOST* (Diepen *et al.*, 1988), *DSSAT* (Tsuji *et al.*, 1994) y *AquaCrop 3.1 Plus* (Steduto *et al.*, 2009).

Los modelos biofísicos de cultivo pueden simular el crecimiento y desarrollo, considerándolo como genérico, o como especialmente ajustado y calibrado a variedades específicas. En muchos de los casos considerados en este estudio, los cultivos fueron simulados como genéricos, ya que no se dispone de los parámetros fisiológicos genéticos correspondientes a las variedades nacionales. Esto introduce un nivel de incertidumbre en los resultados de la simulación que, sin embargo, no tiene un impacto tan considerable en la interpretación de los resultados, si se toman en cuenta los factores siguientes:

1. En los casos en que pudieron simularse decenas de variedades, todas manifestaban tendencias similares a lo largo del presente siglo en los escenarios climáticos utilizados en el estudio (Rivero, 2011).
2. Dada la dinámica tradicional del desarrollo agrícola internacional, es casi totalmente seguro que ninguna de las variedades actuales se encuentre en los campos de cultivo durante los últimos dos tercios del presente siglo.

Las circunstancias descritas serían diferentes si a lo largo del siglo se obtuviesen variedades de arroz y papa con ciclos fotosintéticos C4, genéticamente modificadas. La búsqueda de tales variedades ya se realiza afanosamente tanto en Estados Unidos como en el Instituto Internacional de Investigaciones de Arroz (IRRI) en Filipinas. No obstante, todas las simulaciones hechas con modelos contenidos en el sistema *DSSAT* fueron realizadas con el conjunto de variedades, cuyos parámetros genéticos han sido determinados experimentalmente y se encuentran disponibles en el mismo.

Los impactos esperados del cambio climático sobre el cultivo de la papa, identificados en este estudio son los siguientes:

1. El incremento de las precipitaciones intensas durante la época poco lluviosa, coincidiendo con el período de desarrollo vegetativo de la plantación, implica la disminución significativa de los rendimientos e incluso la pérdida total de la cosecha, en dependencia de la intensidad y la frecuencia de las precipitaciones. En el sur de las provincias Artemisa y Mayabeque, se han producido frecuentemente, durante las últimas campañas, lluvias intensas durante el período de crecimiento y desarrollo del cultivo, lo cual ha afectado en gran medida la producción, con pérdidas sustanciales en las cosechas.
2. Aumento de la incidencia de plagas y enfermedades, incluyendo la aparición de otras nuevas que hasta hoy no han constituido un problema serio para la producción del cultivo en la región de estudio
3. Aumento de los efectos negativos de la radiación solar intensa, debido a la posible disminución de la cobertura nubosa en un clima más árido.
4. Cambios morfo-fisiológicos en las variedades utilizadas
5. Aumento de la concentración de ozono troposférico asociado al cambio climático y

sus propias causales. Esto afecta la capacidad fotosintética de las plantas y produce lesiones en las hojas.

6. Pérdidas sustanciales en las cosechas, por posible aumento de la intensidad y los totales de precipitaciones, en períodos no adecuados para la papa como son la etapa de preparación de tierras y la de cosecha a finales del ciclo de cultivo.
7. Una posible reducción de los rendimientos, por afectación a la fase fenológica de inicio de la tuberización, debido a que la emisión de los estolones en las variedades actuales necesita temperaturas por debajo de 18°C, así como por modificaciones del ciclo vegetativo relacionadas con el posible alargamiento del ciclo de vida de las variedades comerciales.
8. Deterioro de las aguas de riego debido al incremento de la intrusión salina por elevación del nivel del mar. Aunque el cultivo de la papa puede tolerar hasta 500 ppm de sales en el suelo, los rendimientos se reducen sensiblemente si se sobrepasan estos valores. La utilización de esta agua para otras funciones, como la aplicación de medios biológicos y productos químicos, reduce la eficiencia de estas labores debido al aumento del pH (alcalinidad) de la misma.

Por otra parte, el resultado de las simulaciones efectuadas con el modelo biofísico de cultivo *WOFOST 7.1.2* en escenarios climáticos futuros indica que:

1. La duración de la fase fenológicas de la papa se verá modificada con el tiempo y este proceso continuará durante la segunda mitad del siglo cuando la temperatura media mensual de los meses más cálidos del verano sobrepasará los 30 grados.
2. La papa será el cultivo más afectado, por tratarse de una planta de clima templado que se cultiva hoy en Cuba, en condiciones climáticas marginales (Rivero *et al.*, 1999). Poseyendo este cultivo un ciclo fotosintético C3 de clima templado y hábito de crecimiento indeterminado, el Modelo *WOFOST* simula solo dos grandes fases, que van desde la emergencia hasta el comienzo de la tuberización (fase vegetativa) y desde la tuberización hasta la madurez (fase de formación del tubérculo). Confirmando los aspectos discutidos con anterioridad, el calentamiento progresivo a lo largo del presente siglo retrasará progresivamente el inicio de la fase de tuberización, prolongando indefinidamente la duración del ciclo vegetativo, al extremo de que con incremento de las temperaturas medias del orden de cuatro grados Celsius podría no ocurrir la formación del tubérculo durante la ventana temporal usual para la papa en nuestro país, que es de 90 – 100 días. Este comportamiento se traduciría en un decrecimiento del rendimiento potencial del cultivo.

Los rendimientos potenciales decrecerán para todas las fechas de siembra a lo largo del siglo actual en todos los escenarios empleados. En el marco de las metodologías utilizadas en el presente trabajo, esta es una consecuencia ineludible del ascenso de las temperaturas y completamente independiente del cambio del régimen de precipitaciones. El impacto negativo sobre los rendimientos potenciales será más notable e intenso en los escenarios de la familia A2, en caso de analizarse desde un punto de vista estacionario – o sea, para un climo-período determinado. Este resultado, desde el punto de vista de la evolución temporal del clima a lo largo del siglo, es prácticamente equivalente a afirmar que los impactos esperados en los escenarios de la familia B2 se retrasan en el tiempo, en relación con los de la familia A2, con independencia de que, eventualmente, ambas familias de escenarios conducen a

impactos altamente nocivos en el futuro (Tablas 8.6). En los ejemplos ilustrativos acompañantes (Figuras 8.1), se han elegido siempre los escenarios basados en el Modelo de Clima Global *ECHAM4*, porque para este modelo resultó posible evaluar impactos escalonadamente a lo largo del siglo, ya que para el Modelo *HadCM3* solo se dispuso de escenarios para 2071 – 2100, y porque los escenarios de la serie *ECHAM* no pudieron ser utilizados en evaluaciones anteriores del sector agrícola (Rivero *et al.*, 1999; INSMET, 2001). De todos modos, tanto el Modelo de Clima Global *ECHAM4* como el *HadCM3* generan escenarios similares, que conducen a impactos semejantes e incluso más extremos para este último. El impacto sobre la papa será superior que en el arroz, porque la ventana temporal de invierno, en que el cultivo resulta hoy posible, se estrechará aún más, haciendo muy difícil el uso de las variedades actuales durante la segunda mitad del presente siglo.

Tabla 8.6. Desviaciones estándar (kg / ha) y coeficientes de variación (%) de los rendimientos potenciales de la papa con fecha de emergencia en diciembre, según el modelo WOFOST 7.1.2, para diferentes escenarios climáticos durante el siglo actual en Batabanó. Los valores del 2001 corresponden a la serie modelada 1994 – 2008.

	2001		2021		2051		2086	
	DS	CV	DS	CV	DS	CV	DS	CV
Clima actual	919.96	10.00	-	-	-	-	-	-
ECHAM 4 A2	-	-	1244.5	18.8	1278.5	22.3	1130.6	30.1
HadCM3 A2	-	-	-	-	-	-	951.3	35.0
ECHAM4 B2	-	-	898.5	13.7	1009.1	16.3	1164.26	23.4
HadCM3 B2	-	-	-	-	-	-	720.9	18.7

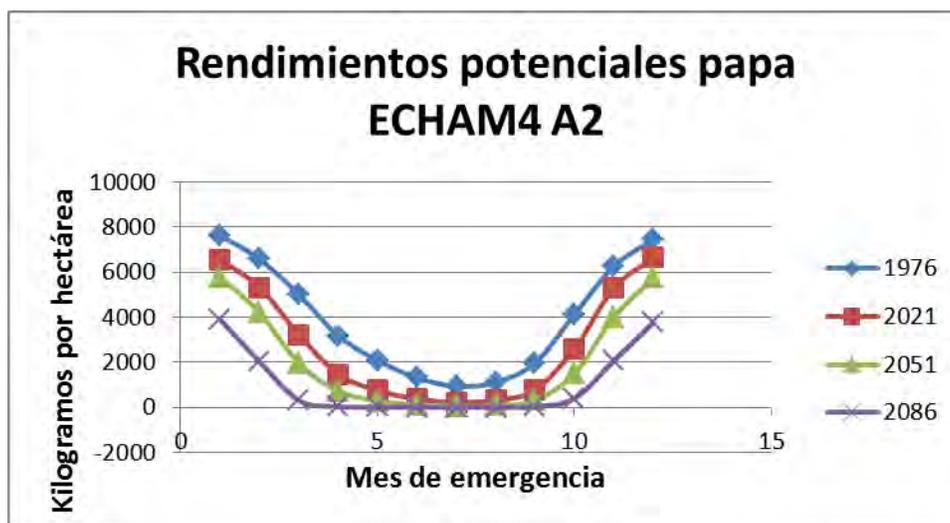


Figura 8.1. Comportamiento estacional de los rendimientos potenciales de la papa a lo largo del presente siglo, obtenidos con el modelo WOFOST 7.1.2, según los escenarios creados con el modelo de clima global ECHAM4 A2

Como compensación de aquellos aspectos de alta complejidad que aún quedan por ser exhaustivamente abordados en estudios de impacto, a continuación se discuten algunos de los resultados alcanzados simulando el cultivo de la papa, utilizando los modelos de impacto embebidos en el Sistema *DSSAT*. Para comprender mejor las figuras mostradas a continuación, es importante mencionar que los escenarios continuos de cambio climático utilizados, tienen incorporados la variabilidad climática interanual, así como que cada punto de los gráficos mostrados corresponde a un año determinado de la presente centuria.

En el caso de la papa se realizaron experimentos de simulación utilizando las variedades de cultivo *Atlantic*, *Desiree* y *Shepody*. La fecha de emergencia estipulada fue la del 30 de noviembre; para todos los fines prácticos, es considerada en este trabajo como un ciclo de cultivo que comienza en el mes de diciembre. Al contrario de lo discutido en el epígrafe anterior, no todas las fechas de siembra fueron estudiadas. El comportamiento de sus rendimientos potenciales en el clima actual puede ser observado en la Figura 8.3.

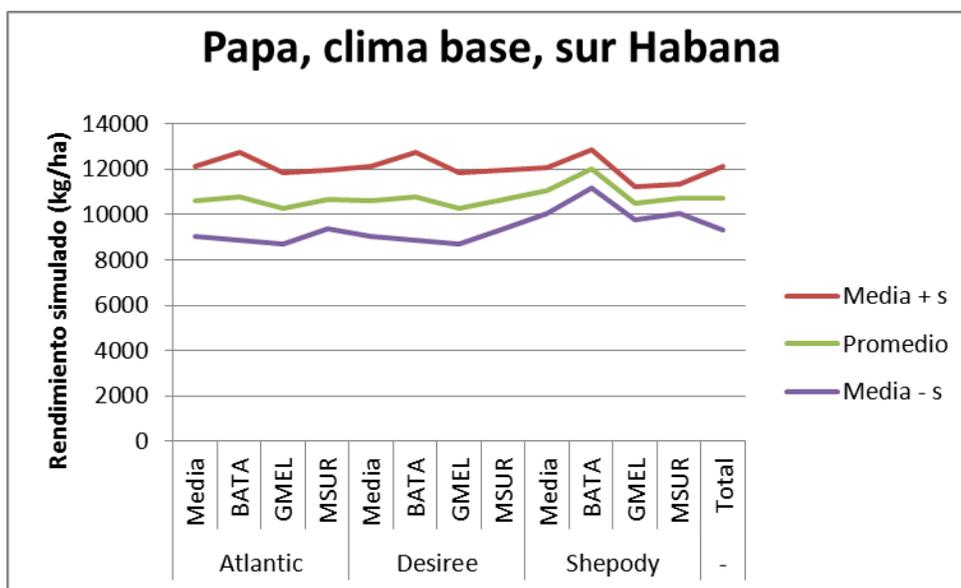


Figura 8.2. Rendimientos potenciales de papa e n materia seca, sobre un suelo ferralítico rojo típico, aplicando la metodología de cultivo descrita en las normas técnicas del Ministerio de la Agricultura, con fecha de emergencia el 30 de n oviembre, empleando tres variedades diferentes (*Atlantic*, *Desiree* y *Shepody*) y el modelo de cultivo CSM en el clima base para las estaciones meteorológicas del Sur de la Habana, a saber: *Batabanó* (BATA), *Güira de Melena* (GMEL) y *Melena del Sur* (MSUR). El factor *s* es la desviación estándar de los rendimientos.

El rendimiento potencial de estas tres variedades fue simulado del mismo modo para los escenarios climáticos futuros elegidos para este estudio, con independencia de que al tratarse de modelos que necesitan datos diarios de entrada hubo de utilizarse la técnica original de construcción de escenarios ya descrita en epígrafes anteriores (Rivero, 2011). Los ejemplos mostrados corresponden al *PRECIS* anidado en el modelo de clima global *ECHAM4* (Figuras 8.3 a la 8.5).

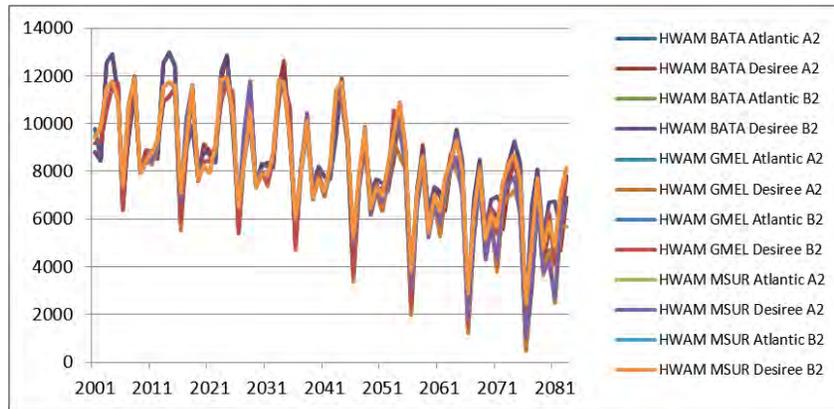


Figura 8.3. Rendimientos en materia seca de papa, obtenidos bajo las condiciones de manejo estipuladas por el Ministerio de la Agricultura, para las variedades Atlantic y Desiree según los escenarios continuos elaborados a partir del PRECIS con los escenarios de emisión de gases A2 y B2 y el modelo global del clima ECHAM4.

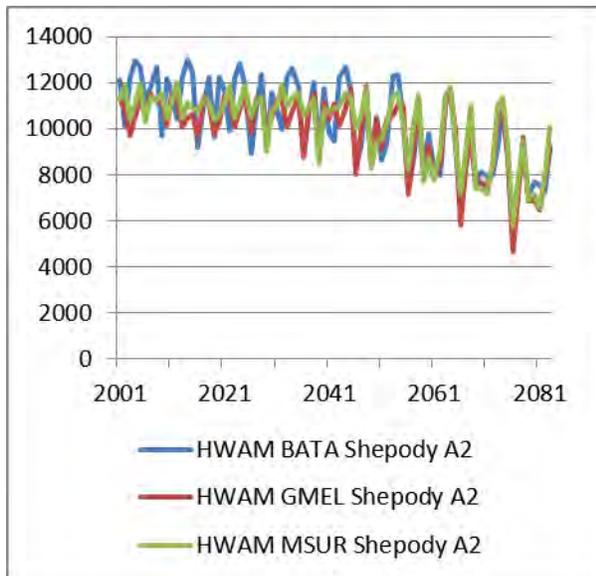


Figura 8.4. Rendimientos en materia seca de papa, obtenidos bajo las condiciones de manejo estipuladas por el Ministerio de la Agricultura, para la variedad Shepody según los escenarios continuos elaborados a partir del PRECIS con el escenario de emisión de gases A2 y el modelo global del clima ECHAM4.

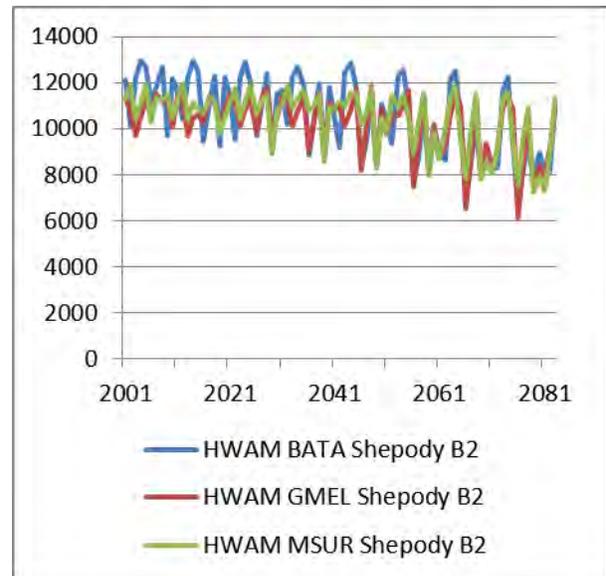


Figura 8.5. Rendimientos en materia seca de papa, obtenidos bajo las condiciones de manejo estipuladas por el Ministerio de la Agricultura, para la variedad Shepody, según los escenarios continuos elaborados a partir del PRECIS con el escenario de emisión de gases B2 y el modelo global del clima ECHAM4.

Puede observarse que tanto en los experimentos de simulación realizados con el Modelo *WOFOST* 7.1.2, utilizando variedades genéricas de papa y escenarios climáticos mensuales, como en los experimentos de simulación realizados con el modelo *CSM* inmerso en el Sistema *DSSAT* y escenarios climáticos diarios con variedades específicas, el rendimiento potencial de la papa decrecerá en el futuro, haciendo cada vez más difícil su sostenibilidad en la segunda mitad del siglo actual. Los autores han concluido que este impacto negativo es resultado de los escenarios de cambio climático, que se esperan de los escenarios de emisión de gases de efecto invernadero A2 y B2, según los modelos de clima global *ECHAM4* y *HadCM3*.

El uso de las múltiples posibilidades intrínsecas al Sistema *DSSAT* permitió estimar el aumento con el tiempo de la evapotranspiración real durante el ciclo de cultivo de la papa a medida que el cambio climático evoluciona hacia climas más cálidos y áridos (Rivero, 2011). Los resultados obtenidos confirman los discutidos en el acápite de recursos hídricos del presente estudio, ejemplificando como habrá de producirse una sinergia de impactos negativos entre la demanda creciente de agua por parte del cultivo, a pesar de obtenerse rendimientos potenciales cada vez más bajos, en escenarios donde el potencial hídrico de la región decrece a lo largo del siglo actual (Figura 8.6). La necesidad de utilizar modelos integrados de impacto intersectoriales como el *MIIA* 2.0 para comprender la magnitud y complejidad de los procesos involucrados se hace evidente de estos análisis (Rivero, 2008).

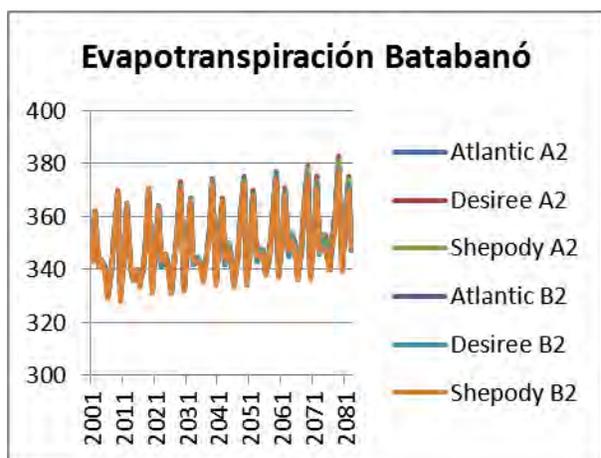


Figura 8.6. Evapotranspiración real total durante el ciclo de cultivo de la papa a medida que el cambio climático avanza según los escenarios creados sobre la base del Modelo de Clima Global *ECHAM4*.

8.2.2. Cultivo del arroz

El arroz constituye una parte importante en la dieta diaria de la población cubana, siendo el consumo per cápita actual uno de los más altos de América Latina, con cerca de 70 kg/año. Este valor representa el 20% de las calorías diarias que consumen los cubanos. En los últimos años, el país importa más de 400000 t, erogándose sólo por importación de este cereal más de cien millones de dólares (IIG, 2011a y b). Más del 60% del consumo total proviene de las importaciones desde países lejanos como Vietnam, lo que incrementa los gastos por transportación.

El país cuenta con la infraestructura requerida para producir potencialmente más de 200 mil toneladas de arroz de consumo en las áreas especializadas. Sin embargo, por limitaciones económicas no han podido explotarse de forma eficiente y estable. La aplicación con eficiencia de las tecnologías existentes permitiría alcanzar rendimientos superiores, lograr precios competitivos en la producción de arroz y si, por otra parte, se siguen reduciendo los gastos en portadores energéticos, se hace un uso eficiente de los fertilizantes, se logra el manejo integrado de plagas y malezas, y se obtienen nuevas variedades de arroz y de tecnologías que respondan a las exigencias de la

producción popular, se podrá asegurar la producción arrocerá nacional en niveles competitivos con el arroz importado.

Ante la inseguridad de las importaciones de arroz en Cuba, se inicia en 1967 un intenso programa de desarrollo de la producción arrocerá nacional, empleando un modelo tecnológico con un alto grado de mecanización y quimificación. En un lapso de 25 años, hasta el comienzo de la década de los noventa, se produce una acumulación inversionista cuantiosa en obras hidráulicas, sistemas de riego y drenaje, viales, pistas de aviación, comunidades rurales, centros de enseñanza e investigación, medios de mecanización agrícola, incluyendo la aviación y la industria de beneficio; así como la habilitación de 150000 ha de tierra para la producción de este cereal. La mayoría de estas áreas se encontraban improductivas.

En el decenio de los ochenta se obtienen los mejores rendimientos y producciones por encima de los 10 MMq de arroz húmedo, resaltándose el año 1984, con el más alto rendimiento, equivalente a 3,71 t/ha. En 1986, el récord de producción fue de 11.7 MMq, (256.0 Mt de arroz de consumo), lo que permitió la satisfacción de la demanda en un 55 %, manifestándose en ese período una producción estable. Pero, a partir de la década del 90, la producción arrocerá no ha tenido sostenibilidad, debido a la problemática causada por el período especial. La falta de financiamiento e ineficiencia productiva afecta la producción del cultivo, deteriorando su rendimiento y causando la disminución de las siembras. En este sentido, el área cosechada disminuyó de 147620 ha en el quinquenio 1986 - 1990 a 91256 ha en el quinquenio 1996 - 2000, con rendimientos agrícolas que disminuyeron a niveles de 2.8 t/ha (Tabla 8.7).

A partir del año 1996, se desarrolla la producción de arroz no especializado (arroz popular o del sector cooperativo campesino), como una alternativa para aumentar la producción con menor costo. Este proyecto fue estimulado por el gobierno dando tierra a todo quien desee producir arroz, a los que se les ayuda con asistencia técnica y algunos insumos. Su ejecución ayudó a disminuir los precios en el mercado libre, por lo cual se requiere mantener políticas que permitan la sostenibilidad de este sistema de producción de arroz.

Tanto el área de siembra como la producción en este sector ha ido en aumento, manteniendo un rendimiento estable y cumpliendo con la expectativa de obtener mayores volúmenes de este alimento para la población. Además, esta forma de producción, ha superado al sector especializado desde 1998 y hoy representa el 75% de la producción total del país.

Tabla 8.7. Resultados de la producción de arroz a partir del Programa de Desarrollo Arroceró.

Períodos	Producción Especializada			Producción No Especializada			Total
	Área cosechada (Mha)	Rendimiento Agrícola (t/ha)	Arroz consumo (Mt)	Área cosechada (Mha)	Rendimiento Agrícola (t/ha)	Arroz consumo (Mt)	Arroz consumo (Mt)
1967-70	91	1.9	80	-	-	-	80
1971-75	189	1.9	166	-	-	-	166
1976-80	153	2.9	206	-	-	-	206
1981-85	140	3.6	228	-	-	-	228
1986-90	148	3.3	233	-	-	-	233
1991-95	104	2.3	111	-	-	-	111
1996-00	92	2.7	110	103	2.8	144	254
2001-05	39	2.9	42	117	3.4	199	241
2006-07	38	2.8	68	87	3.5	155	223

El arroz es un cultivo de ciclo fotosintético C3 y clima cálido con hábito de crecimiento determinado (Oldeman y Frere, 1982; Rivero *et al.*, 1999; Rivero, 2008). Tales características condicionan su respuesta a los cambios en las condiciones climáticas, diferenciándolo considerablemente de los cultivos C3 de hábito de crecimiento indeterminado y de aquellos con ciclo fotosintético C4. Al igual que para el cultivo de la papa, los parámetros denominados genéticos que resultan imprescindibles para realizar la modelación de su ciclo de cultivo por cualquiera de los modelos biofísicos disponibles, han sido publicados o se encuentran en los ficheros de datos de entrada de los modelos de simulación de cultivos.

En muchos de los casos considerados en este estudio, el cultivo del arroz fue simulado como genérico, ya que no se dispone de los parámetros genéticos correspondientes a las variedades nacionales. Esto introduce un nivel de incertidumbre en los resultados de la simulación que, sin embargo, no resulta de un impacto tan considerable en la interpretación de los resultados, si se toman en cuenta los factores ya señalados en la discusión de la modelación del cultivo de la papa. Tales circunstancias serían diferentes si a lo largo del siglo, se obtuviesen variedades genéticamente modificadas de arroz con ciclo fotosintético C4.

En el país hay dos épocas definidas para la producción de arroz: la época de frío o seca, que abarca desde noviembre a febrero y la época de primavera o húmeda, desde marzo hasta agosto. En la campaña de frío el ciclo del cultivo de efectúa casi íntegramente dentro de la estación seca más fría, en condiciones de regadío; mientras que en la estación de primavera el ciclo ocurre casi por completo durante la estación lluviosa más cálida, y algunas variedades pueden llegar a ser cultivadas en régimen de secano (Rivero *et al.*, 2005a y b). Los resultados de la investigación y producción demuestran que la mejor época de siembra es la de frío, especialmente durante los meses de diciembre-enero, donde las variedades alcanzan un potencial de rendimiento promedio de 2.0 t/ha más que en la época de primavera, aspecto que ha sido confirmado por modelaciones de cultivo (Figura 8.7). En la producción especializada, los máximos rendimientos agrícolas obtenidos han sido de 5.6 t/ha para la época de frío y de 4.2 t/ha para la época de primavera, lo que demuestra que existe una brecha entre el rendimiento potencial y el rendimiento real. El ciclo de las variedades depende de la época en que se siembren. Las variedades de ciclo medio alcanzan 140-155 días como promedio en la época de frío; 125-140 días en la época de pre-primavera y menos de 125 días en la época de primavera. Las variedades de ciclo corto alcanzan 125-130 días en la época de frío, 110-120 días en pre-primavera y menos de 100 días en primavera.

En el caso del arroz estas son las principales vulnerabilidades:



Figura 8.7. Rendimiento potencial de r egadío (aniego) en Florida según media de 29 campañas sembradas para todas las quincenas del año, según el modelo WOFOST 7.1.2. Según Rivero *et al.* (2005d).

1. La situación económica del país y las dificultades materiales inciden negativamente sobre la velocidad de implementación de varias de las acciones de adaptación propuestas, prolongando temporalmente su ejecución y propiciando la ocurrencia de algunos de los impactos previstos.
2. La marcada insuficiencia de capacidades existentes en el Sector Agrícola en relación con el cambio climático y la visión predominante de que es algo que, de ocurrir, será a muy largo plazo y no urge atenderlo, atentan en el plano subjetivo y gerencial contra la implementación de las acciones de adaptación requeridas dilatando incluso su consideración.
3. Las medidas de adaptación planteadas hasta ahora solo constituyen una estrategia de aplazamiento temporal de los impactos previstos, que ocurrirán antes o después según uno u otro escenario de cambio climático, pero no impedirán que ellos ocurran. Tal cosa sería posible solo a través de enérgicas medidas de mitigación a escala global.
4. Se espera que, en algún momento, partes crecientes de las áreas arroceras existentes en el sur de las provincias de Artemisa y Mayabeque quedarán bajo el mar, situación nociva y reforzada por la ocurrencia de ciclones y huracanes tropicales, que se espera aumenten en frecuencia e intensidad en el futuro.
5. Los rendimientos reales del arroz son también superiores durante el período más fresco del año. Lo que denota que este cultivo es también sensible y responde negativamente a las altas temperaturas existentes durante la estación más cálida del año, con independencia de que las variedades actuales son también sensibles a los episodios de bajas temperaturas invernales.

Los cuatro escenarios de cambios climáticos (*ECHAM4 A2*, *HadCM3 A2*, *ECHAM4 B2* y *HadCM3 B2*) reflejan un aumento progresivo de las temperaturas y un descenso gradual de las precipitaciones a lo largo del siglo. Las diferencias entre ellos resultan muy pequeñas. La familia A2 representan condiciones más extremas, que ocurren antes en tiempo que los de la familia B2. Esto hace innecesario explicitar todas las figuras que ejemplifican los impactos (Rivero *et al.*, 2011a; Rivero, 2011).

El análisis experto indica que el cambio climático descrito en los escenarios utilizados traerá consecuencias nocivas para la producción de arroz ya que:

1. La planta necesita mucha agua para su desarrollo. Las lluvias pueden abastecer una parte de dicha necesidad, de modo que, en algunos casos, el arroz se cultiva recibiendo en forma de lluvias el único aporte de agua disponible para el cultivo (arroz en cultivo de secano). Sin embargo, por lo general, las cantidades de agua necesarias para el cereal son mayores de las que pueden ser suministradas por las lluvias, aún en mayo - junio durante la estación más lluviosa del año.
2. La mayor parte de la producción de arroz en Cuba históricamente ha sido realizada en condiciones de aniego, manteniendo la superficie plantada cubierta con una lámina de agua la mayor parte del ciclo de cultivo. Esta estrategia de manejo es posible, por disponer la planta de conductos que permiten la conducción del oxígeno necesario para los procesos respiratorios en las raíces, desde la parte aérea de la planta que emerge por encima de la lámina de agua. Estas condiciones de cultivo limitan considerablemente la población de malas

hierbas que puedan competir por radiación, agua y nutrientes con el arroz, pero conlleva niveles elevados de evaporación desde la superficie libre de agua.

3. El sistemático aumento ya registrado en el nivel del mar desde mediados del siglo XX, y que los escenarios prevén continuará ocurriendo durante el presente siglo con mayor intensidad, aumentará la erosión de los suelos, inundará progresivamente nuevas zonas costeras e incrementará paulatinamente los tenores salinos en los suelos arroceros.
4. La elevada frecuencia de ciclones tropicales que transitan por el sur de La Habana, y que se espera aumente, continuará siendo una importante causa de afectación al cultivo del arroz.

Las simulaciones efectuadas con el Modelo Biofísico de Cultivo *WOFOST 7.1.2* en escenarios climáticos futuros indica que en el caso del arroz los rendimientos potenciales se verían afectados para todas las fechas de siembra, pero la posibilidad de ser cultivado exitosamente para una u otra de estas fechas a lo largo del año, dependería en gran medida de la variedad utilizada y del manejo del cultivo (Figuras 8.8 y 8.9).

Bajo las mismas consideraciones expresadas para las simulaciones del cultivo de la papa con el Sistema *DSSAT*, los experimentos de los rendimientos potenciales de arroz, utilizando el Modelo *CSM* resultaron todavía más complejos, dada la necesidad de incluir en el estudio el total de variedades (52) para el cual se contaba con los parámetros genéticos imprescindibles (Rivero, 2011). El resultado final de la extensa serie de experimentos de simulación realizados puede resumirse en la Tabla 8.8. Puede observarse que la generalidad de las variedades simuladas expresan un decrecimiento progresivo de sus rendimientos potenciales a lo largo del presente siglo.

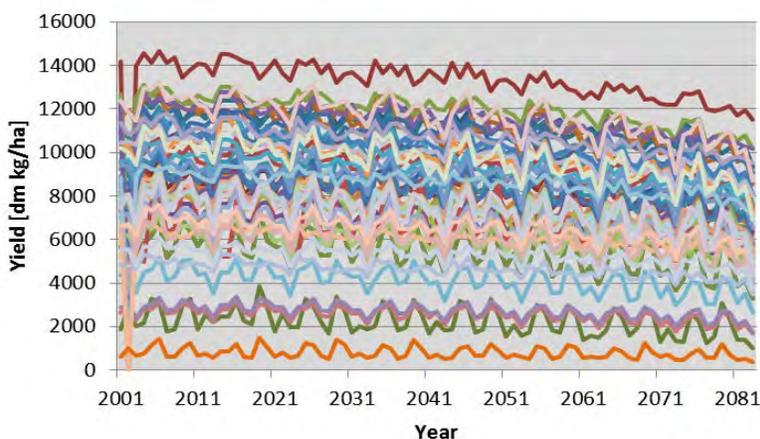


Figura 8.8. Evolución de los rendimientos potenciales de 52 variedades de arroz durante el siglo actual en Batabanó, según el modelo de cultivo *CSM* en el escenario de cambios climáticos *ECHAM4 A2*.

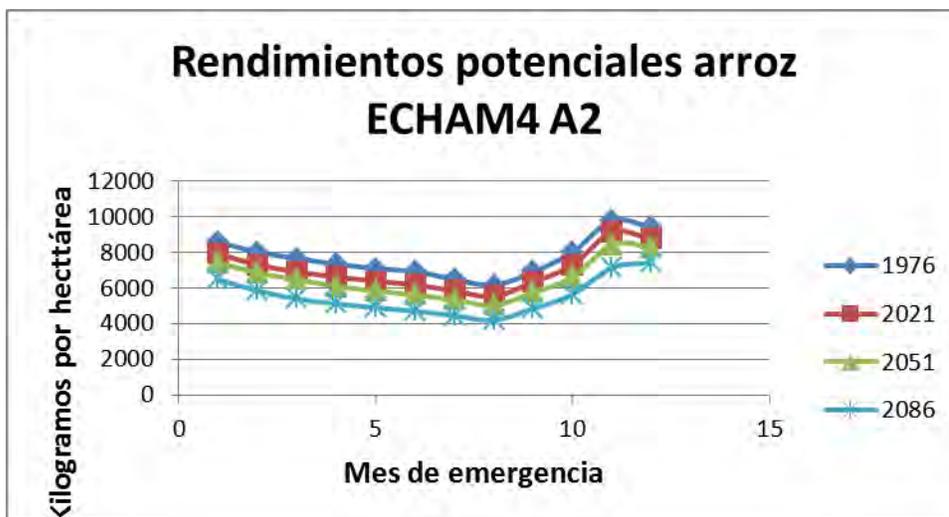


Figura 8.9. Comportamiento estacional de los rendimientos potenciales del arroz a lo largo del presente siglo, obtenidos con el modelo WOFOST 7.1.2, según los escenarios creados con el modelo de clima global ECHAM4 A2

Tabla 8.8. Desviaciones estándar (kg / ha) y coeficientes de variación (%) de los rendimientos potenciales del arroz, obtenidos con el modelo WOFOST 7.1.2, con fecha de emergencia en diciembre para diferentes escenarios climáticos durante el siglo actual en Batabanó. Los valores del 2001 corresponden a la serie modelada 1994 – 2008.

	2001		2021		2051		2086	
	DS	CV	DS	CV	DS	CV	DS	CV
Clima actual	793.2	8.43	-	-	-	-	-	-
ECHAM 4 A2	-	-	687.4	7.9	711.9	8.6	632.3	8.5
HadCM3 A2	-	-	-	-	-	-	513.6	6.9
ECHAM4 B2	-	-	712.7	8.3	463.1	5.7	591.2	7.51
HadCM3 B2	-	-	-	-	-	-	556.3	7.1

De manera general, los impactos del cambio climático sobre el cultivo del arroz pueden resumirse de la manera siguiente:

1. La duración de la fase fenológica del arroz se verá modificada con el tiempo y este proceso continuará durante la segunda mitad del siglo cuando la temperatura media mensual de los meses más cálidos del verano sobrepasará los 30 grados.
2. Siendo el arroz un cultivo C3 de clima cálido con hábito de crecimiento determinado, el incremento de las temperaturas acortará la duración de la fase vegetativa (hasta la floración) y generativa (desde la floración hasta la madurez del grano). La floración podría producirse antes de que la planta hubiese desarrollado una estructura radical y foliar óptima al tiempo que las plantas dispondrían de menos tiempo para la fase de llenado del grano. Este comportamiento se traduciría en un decremento del rendimiento potencial del arroz. El incremento de la temperatura superficial del aire, especialmente de la temperatura mínima, acompañada de la disminución de su oscilación diurna que ya han sido registrados

desde mediados del siglo XX y que los escenarios prevén continuarán ocurriendo durante el presente siglo XXI, aceleran los procesos biológicos de las plantas de arroz. Las temperaturas superiores al intervalo óptimo entre 23° C y 34° C son perjudiciales al crecimiento y a veces, a la propia vida de la planta. Los llamados episodios de maduración temprana del cultivo pudieran hacerse más frecuentes.

Las variedades con menor rendimiento potencial experimentan una tendencia nula o muy débil al decrecimiento de sus rendimientos a medida que el cambio climático progresa. Esto puede deberse a varias causas, entre ellas:

1. Tales variedades no están de inicio aclimatadas a climas tropicales como el nuestro, por lo que otros factores limitantes les impiden expresar su potencial genético en las condiciones típicas de Cuba.
2. Las variedades de alto rendimiento han sido introducidas en la práctica agrícola después de haber sacrificado su resistencia a las condiciones ambientales adversas (nutrientes, abastecimiento de agua, habilidades competitivas, plagas, enfermedades y otros factores). Los rendimientos excesivamente altos que se observan en algunas variedades no podrán realizarse nunca en las condiciones reales de manejo presentes en los campos de cultivo.