



TENDENCIA DE LOS BOSQUES DEL MUNICIPIO SAN ANTONIO DEL SUR A LA MUERTE REGRESIVA CLIMÁTICA

TREND OF THE FORESTS OF THE MUNICIPALITY OF SAN ANTONIO DEL SUR TOWARDS CLIMATIC DIEBACK

ARLETY AJETE HERNÁNDEZ^{1*}, WILMER TOIRAC ARGUELLE¹, ARNALDO FABIÁN ÁLVAREZ BRITO¹,
CARLOS LUIS ABAD GUERRERO², ARNOLDO BENZANILLA MORLOT³

¹Instituto de Investigaciones Agroforestales, La Habana, Cuba.

²Empresa Agroforestal Puriales, San Antonio del Sur, Guantánamo, Cuba.

³Instituto de Meteorología, La Habana Cuba.

*Autor para la correspondencia: arletyajete@gmail.com

RESUMEN

La evaluación de la vulnerabilidad forestal ante el cambio climático es crucial para la conservación de los ecosistemas. Este trabajo tuvo como objetivo identificar el riesgo de muerte regresiva climática (MRC) en los bosques del municipio San Antonio del Sur, Cuba, mediante la caracterización de la temperatura y las precipitaciones. Se empleó la metodología de peligro, vulnerabilidad y riesgo (PVR), según datos climáticos históricos (1990-2004) y escenarios futuros (2030, 2050, 2075) del Instituto de Meteorología de Cuba. La vulnerabilidad de las especies se determinó en base a la densidad básica de su madera y su ritmo de crecimiento. Los resultados proyectaron un aumento progresivo de la temperatura y un incremento de las precipitaciones que se mantienen por debajo de la media nacional, situando al municipio en un nivel de Peligro Muy Alto. La evaluación de riesgo determinó que las especies con madera blanda o de rápido crecimiento (ej., *Leucaena leucocephala*, *Hibiscus elatus*) enfrentan un riesgo Alto o Muy Alto de MRC desde el presente hasta 2075. Se concluye que los bosques del municipio tienen una alta tendencia a la muerte regresiva, lo que requiere la implementación urgente de medidas de adaptación, como un sistema de alerta temprana y la sustitución de especies vulnerables en los programas de reforestación.

Palabras clave: vulnerabilidad, estrés hídrico, escenarios climáticos, reforestación, alerta temprana

ABSTRACT

Assessing forest vulnerability to climate change is crucial for ecosystem conservation. This study aimed to identify the risk of climate dieback (CDM) in the forests of the municipality of San Antonio del Sur, Cuba, by characterizing temperature and precipitation patterns. The hazard, vulnerability, and risk (HVR) methodology was employed, using historical climate data (1990-2004) and future scenarios (2030, 2050, 2075) from the Cuban Institute of Meteorology. Species vulnerability was determined based on basic wood density and growth rate. The results projected a progressive increase in temperature and an increase in precipitation, which remains below the national average, placing the municipality at a Very High Risk level. The risk assessment determined that species with soft or fast-growing wood (e.g., *Leucaena leucocephala*, *Hibiscus elatus*) face a high or very high risk of dieback from the present until 2075. It is concluded that the municipality's forests have a high tendency toward dieback, requiring the urgent implementation of adaptation measures, such as an early warning system and the replacement of vulnerable species in reforestation programs.

Keywords: vulnerability, water stress, climate scenarios, reforestation, early warning

Recibido: 20/9/2025

Aceptado: 09/11/2025

Conflicto de intereses: los autores declaran no tener conflicto de intereses

Contribución de los autores: Conceptualización, Investigación, Redacción (borrador original), Visualización: Arlety Ajete Hernández. **Supervisión, Redacción (revisión y edición), Metodología:** Arnaldo Fabián Álvarez Brito. **Supervisión, Redacción (revisión y edición), Adquisición de fondos, Administración del proyecto:** Wilmer Toirac Arguelle. **Metodología:** Arnaldo Benzanilla Morlot. **Recursos:** Arnaldo Fabián Álvarez Brito, Wilmer Toirac Arguelle, Carlos Luis Abad Guerrero.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



INTRODUCCIÓN

Las proyecciones del cambio climático son devastadoras, incluso si los países logran mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de los 2 °C sobre los niveles preindustriales, según lo pactado en el Acuerdo de París. En un escenario de aumento de 1,5 °C, que representa solo 0,6 °C más que la temperatura actual, se pronostica un incremento del nivel del mar, una mayor acidificación oceánica y una pérdida significativa de especies terrestres y marinas, con riesgos de extinción (IPCC, 2018). Estas consecuencias se intensifican y resultan aún más catastróficas con un aumento de 2 °C.

En las últimas décadas, los eventos climáticos extremos representan un factor particularmente importante en los procesos de mortalidad de los árboles. Fenómenos como las sequías y las temperaturas más elevadas aumentan el estrés del arbolado y, por lo tanto, elevan el riesgo de mortalidad (McDowell et al., 2008). Este impacto puede ser directo, a través de efectos fisiológicos (Adams et al., 2013), o indirecto, mediante la influencia sobre plagas y patógenos (Weed et al., 2013). Estos procesos provocan episodios graves de defoliación (Carnicer et al., 2011) y pueden desencadenar eventos de mortalidad masiva en los bosques (Hartmann et al., 2022).

Aunque las plantas han desarrollado sistemas de resistencia a la sequía, la crisis hídrica, la contaminación y otros factores abióticos cambiantes sobrepasan sus capacidades de adaptación. Los contaminantes, que no conocen fronteras, dañan a las especies vegetales y las hacen más susceptibles a diversas enfermedades. El aumento del arbolado enfermo y la pérdida de especies vegetales constituyen un fenómeno creciente a escala mundial. La mortalidad de los árboles obedece a múltiples factores y, si bien es complejo determinar una causa única, existe evidencia de que el estrés inducido por los cambios climáticos es un factor preponderante para la aparición de brotes graves de insectos y enfermedades (Desprez-Loustau et al., 2006).

Según Concha & Durán (2024), es imprescindible evidenciar que la falta de agua, la deficiencia de nutrientes y, evidentemente, la sequía pone en grave riesgo a los ecosistemas. Esta situación actúa incluso como una alerta para el surgimiento de plagas y patógenos emergentes, los cuales cuestionan de manera amplia el bienestar y la supervivencia de todos los seres vivos. Resulta claro que cualquier afectación grave a plantas y árboles compromete la calidad del aire y del suelo, además de interrumpir el ciclo del agua. Estas alteraciones acrecientan el efecto invernadero y acentúan el cambio climático.

La incidencia de la muerte regresiva en las plantaciones forestales se ha informado a nivel mundial en diversas regiones. Los estudios abordan aspectos relacionados con la sintomatología, los factores predisponentes

y las consecuencias económicas que conlleva la aparición de esta enfermedad (Visaez, 2023). Este fenómeno es común en muchos ecosistemas forestales del mundo y se considera una respuesta general al estrés ambiental (Barichivich, 2005).

De acuerdo con lo antes expuesto, se realizó una valoración general de las perspectivas para los bosques del municipio San Antonio del Sur. Esta evaluación tuvo como base los escenarios climáticos facilitados por el Instituto de Meteorología (Bezanilla, 2024). El objetivo principal fue identificar el riesgo de muerte regresiva que enfrentan y enfrentarán estos bosques, a partir de la caracterización de la temperatura y las precipitaciones medias anuales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El municipio San Antonio del Sur se ubica en el extremo sureste de Cuba. Limita al norte con el municipio Yateras, al sur con el mar Caribe, al este con los municipios Imías y Baracoa y al oeste con los municipios Manuel Tames y Caimanera. Posee una extensión territorial de 584,94 km², lo que representa el 9,5 % de la superficie de la provincia Guantánamo.

El relieve es muy variado, con predominio de zonas montañosas al norte, localizadas en el sistema montañoso Nipe-Sagua-Baracoa y la sierra del Purial. En la parte central del territorio se encuentra el valle de Caujerí, un valle intramontañoso circular de 72 km². Este valle está rodeado de montañas y presenta una extensa llanura interior de tierras negras, muy fértiles y productivas, con una rica tradición en la historia local. Al sur se ubica una llanura costera bordeada de elevaciones que se extiende desde Acueducto hasta Macambo, con unos 40 km de longitud, y dos llanuras aluviales a lo largo de los cursos de los ríos Sabanalamar y Yateritas (EcuRed, 2024).

Se empleó la metodología de peligro, vulnerabilidad y riesgo (PVR) para valorar el impacto esperable del cambio climático por muerte regresiva en los bosques del municipio. El peligro se definió a partir del acumulado de lluvia. La vulnerabilidad se basó en los requerimientos de agua de cada especie o formación natural, los cuales se definieron según la densidad básica de su madera y sus ritmos de crecimiento. El riesgo corresponde a la combinación del peligro y la vulnerabilidad.

Como complemento, se valoró el comportamiento de la temperatura media anual y la pluviosidad acumulada anual a partir de la evaluación de escenarios climáticos futuros. Se utilizaron los registros contenidos en la base de datos del Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET, 2009a). A partir de estos datos se estimó la temperatura media anual y la precipitación para el período 1990-2004, el cual se identificó como el clima de referencia. También se consideró el endemismo y la clase de peligro de cada especie, según lo informado por González et al. (2016).

Los escenarios del comportamiento futuro de cada variable se agruparon y promediaron por meses para tres periodos de tiempo. Estos periodos son 2030 (denominado "corto plazo": 2015-2045), 2050 ("mediano plazo": 2035-2065) y 2075 ("largo plazo": 2060-2090). El análisis de la variabilidad de las variables se realizó a través del cálculo de los promedios anuales en cada periodo y época del año (lluvioso y poco lluvioso).

Se emplearon los valores medios anuales nacionales de temperatura media y los valores acumulados de las precipitaciones, así como sus valores medios para los periodos lluvioso y poco lluvioso. Estos valores procedían del clima de referencia y de los escenarios climáticos futuros. Con ellos se definió el nivel de peligro del municipio, el cual se consideró mayor si presentaba temperaturas superiores a la media nacional para el periodo 1979-2000, estimada en 25,15 °C (INSMET, 2009b), y una pluviosidad media anual inferior a la media nacional para el periodo 1961-2000, estimada en 1.329,7 mm (INSMET, 2009b). Se establecieron cuatro categorías de peligro en base a la combinación de ambas variables climáticas: Bajo (mucha lluvia y baja temperatura), Medio (mucha lluvia y alta temperatura), Alto (poca lluvia y baja temperatura) y Muy Alto (poca lluvia y alta temperatura).

Se identificaron las especies que componían las plantaciones con más de tres años de establecidas, así como las formaciones naturales existentes. Esta identificación se realizó según el informe de la Dinámica Forestal al término del 2021 (DFFFS, 2022). Los resultados de esta revisión se contrastaron con la lista de Acevedo & Strong (2012) y con García et al. (2024) para verificar los nombres científicos.

La composición de especies más abundante en las formaciones se obtuvo a partir de Bisse (1988). Con la información disponible en las bases de datos sobre densidad básica (DB) elaborada por Álvarez et al. (2019) y sobre crecimiento de especies según Mercadet (2000), y a partir de los criterios de Ibáñez, A.†, Jefe del Laboratorio de Tecnología de la Madera del Instituto de Investigaciones Forestales, se clasificaron las especies según su vulnerabilidad en tres grupos.

El Grupo 1 (Baja vulnerabilidad) incluye especies duras de crecimiento lento ($1,34 \geq DB \geq 0,60$ g*cm-3 y crecimiento anual en altura inferior a 80 cm). El Grupo 2 (Vulnerabilidad media) comprende especies duras de crecimiento rápido ($1,07 \geq DB \geq 0,60$ g*cm-3 y crecimiento anual en altura superior a 80 cm). El Grupo 3 (Alta vulnerabilidad) está formado por especies blandas ($DB < 0,60$ g*cm-3). Estos tres grupos coinciden con la demanda de agua que tienen las especies que los componen.

La combinación del nivel de peligro climático con el de vulnerabilidad de cada especie permitió establecer el nivel de riesgo por especie (Álvarez, 2022), según se detalla en la tabla 1. Este proceso permitió valorar las posibles complicaciones que podrían derivarse de dicha combinación.

Tabla 1. Nivel de riesgo por especie

Peligro	Nivel de Riesgo		
	Vulnerabilidad		
	Baja	Media	Alta
Bajo	1	2	3
Medio	2	3	3
Alto	3	4	4
Muy alto	4	5	5

Leyenda: 1- Sin Riesgo, 2- Riesgo Bajo, 3- Riesgo Medio, 4-Riesgo Alto, 5- Riesgo Muy Alto. Fuente: Álvarez et al., (2022)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados para el periodo de referencia y para los escenarios futuros se presentan en la tabla 2. Esta incluye los valores medios anuales de temperatura y los valores acumulados anuales de precipitación. Además, muestra los valores medios correspondientes a los periodos lluvioso y poco lluvioso en la región de estudio.

Las proyecciones de precipitación para el año 2030, con respecto a la línea de base, muestran un ligero aumento entre enero y marzo, en mayo, junio y de agosto a diciembre. Este aumento puede considerarse de leve a extremo durante los meses de mayo y octubre. Se observa una disminución marcada en los meses de abril y julio. Esta misma tendencia es válida para el periodo 2050.

Para el periodo 2075, las proyecciones indican un ligero aumento de enero a mayo y de noviembre a diciembre. El aumento también puede clasificarse de leve a extremo en mayo y octubre. Se registra una disminución marcada entre junio y octubre, con una mayor magnitud durante el mes de julio (Figura 1).

En términos generales, la relación derivada de los resultados para los plazos evaluados se inclina a favor de un aumento de las lluvias. Esto sugiere una evolución temporal con respecto al periodo de referencia hacia un incremento ligero o moderado de las precipitaciones en todos los periodos evaluados. Dicho incremento se manifiesta fundamentalmente en la época lluviosa, aunque se mantiene por debajo de la media nacional.

La figura 2 muestra que los conjuntos de datos para los tres periodos evaluados presentan una elevada coherencia temporal. Estos evidencian que las diferencias en el calentamiento entre los periodos se incrementan a lo largo del siglo. A medida que la proyección temporal se aleja, la diferencia con respecto al registro histórico aumenta. Las figuras permiten percibir con mayor claridad un progresivo calentamiento en toda la zona de estudio durante el transcurso del siglo.

Tabla 2. Valores medios mensuales de la temperatura (°C) y de las precipitaciones (mm) del municipio San A. del Sur

Época del año	Mes	Temperatura media mensual				Precipitaciones			
		1990-2004	2030	2050	2075	1990-2004	2030	2050	2075
Poco lluviosa	Enero	22.74	23.35	24.24	25.78	19.86	26.93	24.24	22.86
	Febrero	23.10	23.78	24.56	26.19	13.01	21.10	23.29	25.84
	Marzo	23.19	24.08	25.28	26.77	32.94	35.01	35.76	39.63
	Abril	23.63	24.87	25.63	26.91	93.96	78.47	74.31	99.58
Lluviosa	Mayo	24.44	25.54	26.23	27.68	155.49	169.31	180.37	242.97
	Junio	25.61	26.61	27.35	29.04	96.43	118.87	158.16	92.33
	Julio	25.93	27.12	27.76	29.48	86.14	76.44	70.86	51.49
	Agosto	26.05	27.07	27.69	29.52	90.35	103.20	107.46	75.88
Poco Lluviosa	Septiembre	25.96	27.08	27.88	29.57	89.80	102.54	96.97	79.28
	Octubre	24.93	25.89	27.07	28.89	109.06	184.49	133.48	98.86
	Noviembre	23.70	24.64	25.91	27.36	74.50	90.92	88.00	116.23
	Diciembre	22.72	23.83	25.13	26.70	23.46	33.99	25.84	34.89
Promedio	Anual	24.33	25.32	26.23	27.82	884.99	1041.26	1018.75	979.83
	Poco lluviosa	23.18	24.09	25.12	26.62	257.72	286.42	271.44	339.03
	Lluviosa	25.49	26.55	27.33	29.03	627.27	754.84	747.31	640.80

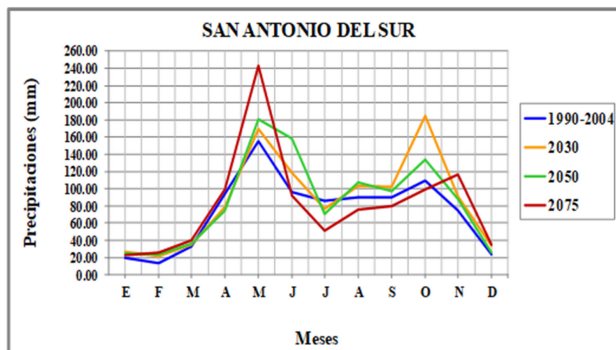


Figura 1. Evolución del cambio de la pluviosidad media mensual obtenida para el municipio San A. del Sur para el corto, mediano y largo plazo con respecto al periodo 1990-2004.

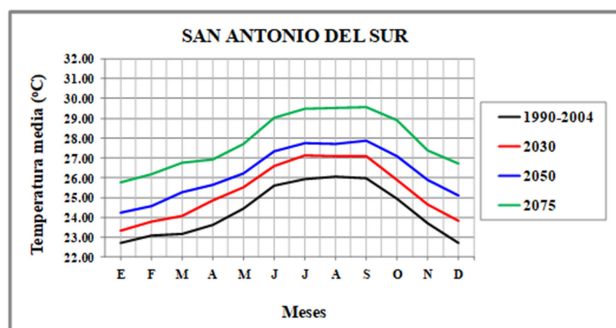


Figura 2. Evolución del cambio de la temperatura media mensual del aire obtenida para el municipio San A. del Sur para el corto, mediano y largo plazo con respecto al periodo 1990-2004.

De forma general, los resultados cualitativos de la variación de la temperatura media presentan una tendencia al aumento. Esta tendencia se identifica a corto, mediano y largo plazo, con independencia del periodo del año valorado (lluvioso o poco lluvioso). Por lo tanto, cabe esperar que el municipio evolucione hacia un clima más cálido que el informado para el periodo 1990-2004. Este resultado coincide con lo informado para el resto del país por Planos et al. (2013).

Los acumulados promedio de lluvia para el municipio San Antonio del Sur, a corto, mediano y largo plazo, son superiores a los del periodo de referencia. Sin embargo, no superan la media nacional para el periodo 1961-2000. En contraste, los valores de la variable temperatura sí superan dicha media nacional. Por esta razón, el municipio clasifica en un nivel de Peligro Muy Alto (Figura 3), ya que sus temperaturas se distribuyen por encima de la media nacional y su acumulado de lluvias es inferior a la media nacional de precipitaciones.

Para el municipio San Antonio del Sur se han informado 30 especies en plantaciones con más de tres años de establecidas (DFFFS, 2022). En ese conjunto se identificaron nueve especies de rápido crecimiento, las cuales se detallan en la tabla 3.

El nivel de vulnerabilidad climática de cada especie se definió con base en su densidad básica y su velocidad de crecimiento, según los valores establecidos en la tabla 3. Este proceso permitió identificar las especies que enfrentarían los mayores riesgos de mortalidad por los efectos combinados del estrés hídrico y el calor. Dichas especies se agruparon posteriormente por categorías de vulnerabilidad, como se presenta en la tabla 4.

Tendencia de los bosques del municipio San Antonio del Sur a la muerte regresiva climática

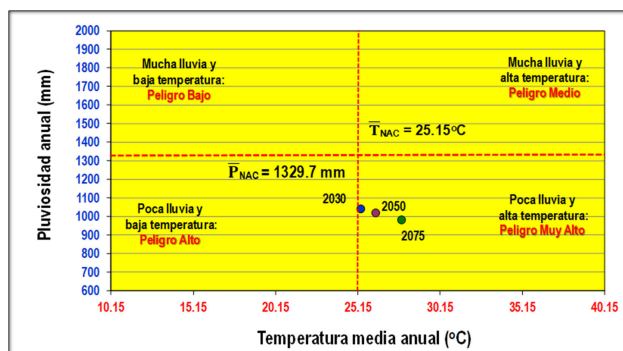


Figura 3. Distribución del municipio San Antonio del Sur (puntos) con respecto a las medias nacionales de pluviosidad acumulada (P) y temperatura (T) (líneas rojas).

Con el apoyo de la [tabla 1](#), se obtuvo el nivel de riesgo que se muestra en la [tabla 5](#). En esta fase quedaron identificadas las especies que enfrentarían los mayores riesgos de muerte regresiva climática.

Bajo las condiciones climáticas consideradas, las especies del Grupo 1 presentan en la actualidad un riesgo Alto de ser afectadas por la MRC, situación que se mantendría hasta el año 2075. Este grupo incluye las siguientes especies: bijáguara, caoba antillana, carbonero, guayacán, jatía, palma real, sabicú, uva caleta, yaba, yamagua y yarúa. Por su parte, las especies del Grupo 2 muestran un riesgo Muy Alto de afectación por la MRC tanto en la actualidad como hasta 2075. Este grupo está conformado por almendro, eucalipto sp., leucaena, mangle rojo, moringa, neem, pino de Mayarí, pino macho y soplillo.

Tabla 3. Principales especies en las plantaciones existentes en el municipio San Antonio del Sur

Crec.	Nombre científico	Nombre común	Área	Estado	Densidad	
					(kg*m ²)	(g*cm ³)
B	<i>Samanea saman</i> (Jacq.) Merr.	algarrobo del país	12.30	Exot.-Nat.	437	0.44
B	<i>Albizia sp.</i>	agarrobo sp	0.30	Exot.-Int.	568	0.57
D-Rc	<i>Prunus occidentalis</i> Sw.	almendro	4.00	Nativ.-NE	830	0.83
B	<i>Bambusa vulgaris</i> Schrad.	bambú	2.40	Exot.-Nat.	565	0.57
D-Lc	<i>Colubrina cubensis</i> (Jacq.) Brongn var. <i>ekmanii</i>	bijáguara	65.90	Nativ.-NE	677	0.68
D-Lc	<i>Swietenia mahagoni</i> (L.) Jacq.	caoba antillana	47.24	Nativ.- LC	653	0.65
B	<i>Swietenia macrophylla</i> King.	caoba de honduras	0.30	Exot.-Nat.	470	0.47
D-Lc	<i>Colubrina elliptica</i> (Sw.) Brizicky	carbonero	8.30	Nativa-NE	843	0.84
B	<i>Cedrela odorata</i> Sw.	cedro	38.60	Nativ.-LC	525	0.53
D-Rc	<i>Eucalyptus spp.</i>	eucalipto	110.10	Exot.-Int.	790	0.79
D- Lc	<i>Guaiacum officinale</i> L.	guayacán	120.20	Nativ.-A	1085	1.09
B	<i>Sapindus saponaria</i> L	jaboncillo	5.00	Nativ.-DD	580	0.58
D-Lc	<i>Ampelocera cubensis</i> Griseb	jatía	1.60	End.-DD	770	0.77
D-Rc	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam) de Wit	leucaena	788.80	Exot.-Introd.	640	0.64
B	<i>Hibiscus elatus</i> Sw.	majagua	1 865.50	End-LC	455	0.46
D- Rc	<i>Rhizophora mangle</i> L	mangle rojo	46.60	Nativ.-NE	840	0.84
D- Rc	<i>Moringa oleifera</i> Lam.	moringa	40.80	Exot.-Nat.	564	0.56
B	<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	najesi	12.80	Nativ.- A	523	0.52
D- Rc	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	neem	70.40	Exot.-Nat.	613	0.61
B	<i>Calophyllum antillanum</i> Britt. Y Wals.	ocuje	1 210.20	Nativ.-LC	610	0.61
D-Lc	<i>Roystonea regia</i> (HBK) O. F. Cook.	palma real	37.60	Nativ.-LC	781	0.78
D-Rc	<i>Pinus cubensis</i> Griseb.	pino de Mayarí	1 170.80	End.-DD	629	0.63
D-Rc	<i>Pinus caribaea</i> Morelet var. <i>caribaea</i>	pino macho	242.10	End-LC	495	0.50
B	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth	piñón florido	301.60	Exot.-Nat.	520	0.52
D-Lc	<i>Lysiloma latisiliquum</i> (L.) Benth.	sabicú	0.30	Nativ.- LC	629	0.63
D-Rc	<i>Lysiloma latisiliqua</i> (L.) Benth.	soplillo	160.70	Exot.-LC	605	0.61
D-Lc	<i>Coccoloba uvifera</i> (L.) L.	uva caleta	14.30	Nativ.-LC	765	0.77
D-Lc	<i>Andira cubensis</i> Benth	yaba	54.10	End.-NE	640	0.64
D-Lc	<i>Guarea guidonia</i> (L.) Sleumer	yamagua	4.20	Nativ.-LC	605	0.61
D-Lc	<i>Couleria cubensis</i> (Greenm.) Sotuyo & G. P. Lewis	yarúa	378.80	Nativ.-LC	749	0.75
Total					6 815.84	

Leyenda: Exot.- exótica; Int.- Introducida; Nat.- naturalizada; Nativ.- nativa; Cult.- cultivada; End. Endémica; Crec.- Crecimiento; D- Lc-Duras de lento crecimiento; D-Rc- Duras de rápido crecimiento; B- Blandas; NE- no evaluada; LC- preocupación menor; A- amenazada; DD- datos insuficientes

Tabla 4. Nivel de vulnerabilidad de cada especie al clima.

Grupo 1 Bajo: duras lento crecimiento ($1.34 \geq db \geq 0.60 \text{ g.cm}^{-3}$)	Grupo 2 Medio: duras rápido crecimiento ($1.07 \geq db \geq 0.60 \text{ g.cm}^{-3}$)	Grupo 3 Alto: blandas ($db < 0.60 \text{ g.cm}^{-3}$)
bijáguara, caoba antillana, carbonero, guayacán, jatía, palma real, sabicú, uva caleta, yaba, yamagua, yarúa	almendro, eucalipto sp., leucaena, mangle rojo, moringa, neem, pino de Mayarí, pino macho, soplillo	algarrobo del país, algarrobo sp., bambú, caoba de honduras, cedro, jaboncillo, majagua, najesí, ocuje, piñón florido

Tabla 5. Riesgo de muerte regresiva que enfrentan los bosques de San Antonio del Sur.

Peligro	Vulnerabilidad	Nivel de Riesgo				
		Sin riesgo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Muy alto	Baja			Grupo 1-2030 Grupo 1-2050 Grupo 1-2075		
	Media				Grupo 2-2030 Grupo 2-2050 Grupo 2-2075	
	Alta				Grupo 3-2030 Grupo 3-2050 Grupo 3-2075	

Las especies del Grupo 3 también enfrentan un riesgo Muy Alto de ser afectadas por la MRC en la actualidad y hasta 2075. Dicho grupo comprende algarrobo del país, algarrobo sp., bambú, caoba de honduras, cedro, jaboncillo, majagua, najesí, ocuje y piñón florido.

En un estudio publicado por [Álvarez & Mercadet \(2011\)](#) se identificó la situación específica de los 55 municipios del país cuyos bosques existentes enfrentan los mayores riesgos de muerte regresiva. Se consideraron de mayor riesgo aquellos municipios con temperaturas superiores a la media nacional y precipitaciones inferiores a ella. Según ese estudio, el municipio San Antonio del Sur presentó un Riesgo Medio.

De forma general, esta evaluación clasifica con un Riesgo Alto a Muy Alto la probabilidad de que los bosques enfrenten la MRC. Los resultados destacan la influencia que tienen en la evaluación los requerimientos hídricos específicos de cada especie. Estos requerimientos se definieron a partir de la densidad básica de su madera y de su ritmo de crecimiento, y su impacto se agrava por efecto de la temperatura ambiental.

Estos resultados concuerdan con lo planteado por [Allen \(2009\)](#). Dicho autor expone que, cuando las especies alcanzan niveles extremos de requerimiento hídrico máximo con acumulados de lluvia mínimos, se produce la muerte de los árboles. Esta mortalidad puede ocurrir por cavitación,

por inanición o por ataques de plagas oportunistas. [Scholes et al. \(2013\)](#) informó los efectos de este tipo de impacto a nivel mundial desde el año 2013.

Las informaciones disponibles con respecto a las plantaciones en el municipio San Antonio del Sur indican que al menos cuatro de las especies principales utilizadas ([Anexo 1](#)), según Dinámica 2021, pueden enfrentar elevados niveles de riesgo climático por muerte regresiva. Este riesgo se asocia a hábitos de rápido crecimiento y/o a densidades de la madera inferiores a $600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ($0.60 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$). Dichas especies comprenden una superficie total de plantaciones de 5 035.30 ha, lo que equivale al 73.88 % del área cubierta en el municipio. Cabe destacar que la concentración de las plantaciones se asienta sobre tres especies (leucaena, majagua, ocuje y pino de Mayarí) de las 30 empleadas, lo que aumenta sustancialmente sus riesgos.

En cuanto a los bosques naturales, el municipio San Antonio del Sur concentra el 38.05 % de sus existencias en la formación Semicaducifolio sobre Suelos Calizos. Esta superficie equivale a 14 250.49 ha del total de sus bosques naturales ([Anexo 2](#)). La formación se caracteriza por constituir la vegetación natural de Cuba hasta una altura aproximada de 600 m snm, con árboles que alcanzan entre 20 y 30 m de altura. Su estructura presenta dos capas arbóreas y una capa arbustiva, donde normalmente falta la capa herbácea.

Es característico en esta formación que los árboles de la capa arbórea más alta pierdan sus hojas durante la época de seca, mientras los de la segunda capa las conservan casi durante todo el año. El crecimiento de los principales árboles es, por lo general, rápido, con bajas densidades de la madera, debido a las abundantes precipitaciones del verano ([Bisse, 1988](#)). Este conjunto de elementos, unido al nivel de vulnerabilidad identificado para las especies de rápido crecimiento, aumentaría el nivel de riesgo de la formación ante la muerte regresiva. A sus peculiaridades climáticas se añade la elevada vulnerabilidad dada por la composición de sus especies, lo que podría visualizarse como un cambio futuro en la composición de la formación.

Los elementos identificados sobre la vulnerabilidad de los bosques del municipio a la Muerte Regresiva de los Bosques (MRC) han permitido formular una propuesta inicial de acciones de adaptación. El objetivo de estas acciones es disminuir las pérdidas en los bosques por este motivo. Las acciones de adaptación propuestas son las siguientes:

1. Establecer un sistema informativo de alerta climática para el Sector Forestal del municipio. Este sistema debe avisar con frecuencia a los tenentes del patrimonio forestal

sobre un probable aumento del riesgo de ocurrencia de la MRC. La finalidad es que se puedan realizar acciones que limiten las pérdidas en los bosques.

2. Evitar el empleo de especies de rápido crecimiento y/o con bajas densidades de la madera en los planes de (re)forestación. La razón es que estas especies pueden enfrentar elevados niveles de riesgo climático por muerte regresiva.
3. Acometer la paulatina sustitución de las 5 035.30 ha de plantaciones que abarcan las especies principales de alto riesgo (leucaena, majagua, ocuje y pino de Mayarí) utilizadas en el municipio.
4. Limitar en las plantaciones, a partir del 2030, el uso de las especies agrupadas en los Grupos 2 y 3. Esta medida debe conducir a una disminución progresiva de su empleo, con la consecuente valoración de otras especies que presenten una baja vulnerabilidad y que actualmente no estén incluidas.
5. Acometer, mediante la tala selectiva y la reconstrucción de bosques, la paulatina sustitución de aquellas especies de alto riesgo existentes en las 14 250.49 ha de la formación Semidecaducifolia sobre suelos calizos.
6. Extremar las medidas de monitoreo a la formación Manglar. Esta acción se justifica debido a que los manglares constituyen la única barrera física terrestre del país ante los impactos negativos derivados del aumento del nivel del mar.

CONCLUSIONES

1. El municipio experimenta un aumento progresivo de la temperatura media a lo largo del siglo XXI, independientemente de la época del año. Paralelamente, se prevé un incremento general de las precipitaciones, aunque estas se mantendrán por debajo de la media nacional, así se consolida un clima más cálido.
2. La combinación de temperaturas por encima y precipitaciones por debajo de la media nacional sitúa al municipio en un nivel de **Peligro Muy Alto**. Esta condición climática aumenta la vulnerabilidad de los ecosistemas forestales frente a fenómenos como la muerte regresiva.
3. Las especies de árboles con madera blanda (baja densidad) o de rápido crecimiento presentan un riesgo **Alto o Muy Alto** de sufrir mortalidad por estrés hídrico y térmico (muerte regresiva climática) desde la actualidad hasta 2075, lo que amenaza la estabilidad de las plantaciones y bosques naturales.
4. Se requieren medidas urgentes de adaptación, como un sistema de alerta temprana, la sustitución paulatina de especies vulnerables en planes de reforestación y la restricción del uso de especies de alto riesgo, para reducir la pérdida de masa forestal ante el cambio climático.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, P., & Strong, M. T. (2012). *Catalogue of Seed Plants of the West Indies*. Smithsonian Institution Scholarly Press.
- Adams, H. D., Germino, M. J., Breshears, D. D., Barron-Gafford, G. A., Guardiola, M., Zou, C. B., & Huxman, T. E. (2013). Nonstructural leaf carbohydrate dynamics of *Pinus edulis* during drought-induced tree mortality reveal role for carbon metabolism in mortality mechanism. *New Phytologist*, 197(4), 1142-1151. <https://doi.org/10.1111/nph.12102>
- Allen, C. D. (2009). Muerte regresiva del bosque inducida por el clima: ¿un fenómeno mundial en aumento? *Unasylva*, 60(231/232), 43-49.
- Álvarez, A. (2022). *Capacitación sobre Impactos y Adaptación al Cambio Climático en el Sector Forestal*.
- Álvarez, A., & Mercadet, A. (2011). El Sector Forestal Cubano y el Cambio Climático. En *El Sector Forestal Cubano y el Cambio Climático* (pp. 140-152). Instituto de Investigaciones Agroforestales, Ministerio de la Agricultura.
- Álvarez, A., Mercadet, A., & Peña, Y. (2019). *Elaboración y puesta a punto de la versión 4.00 del sistema automatizado SUMFOR* (p. 56). Instituto de Investigaciones Agroforestales.
- Barichivich, J. E. (2005). *Muerte apical episódica en bosques de alerce (Fitzroya cupressoides [Mol.] Johnston) de la Cordillera de la Costa de Valdivia* [PhD Thesis]. Universidad Austral de Chile.
- Bezanilla, A. (2024). *Escenarios climáticos RCP 8.5 para la región suroriental de Cuba* (p. 5). Instituto de Meteorología.
- Bisse, J. (1988). *Árboles de Cuba*. Editorial Científico-Técnica.
- Carnicer, J., Coll, M., Ninyerola, M., Pons, X., Sanchez, G., & Peñuelas, J. (2011). Widespread crown condition decline, food web disruption, and amplified tree mortality with increased climate change type drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(4), 1474-1478. <https://doi.org/10.1073/pnas.1010070108>
- Concha, S. I., & Durán, H. V. (2024). Sequía y su relación con la pérdida de especies vegetales. *Revista INGENIUM*, 11-13.
- Desprez-Loustau, M.-L., Marcais, B., Nageleisen, L.-M., Piou, D., & Vannini, A. (2006). Interactive effects of drought and pathogens in forest trees. *Annals of Forest Science*, 63, 597-612.
- DFFFS. (2022). *Dinámica del Patrimonio Forestal: Año 2021* [Base de datos en formato digital]. Dirección Forestal de Flora y Fauna Silvestre. MINAG.
- EcuRed. (2024). *San Antonio del Sur*. https://www.ecured.cu/index.php?title=San_Antonio_del_Sur&oldid=4504898

- García, J. A., Bécquer, E. R., Gómez, J. L., & González, L. R. (Eds.). (2024). *Catálogo de las Plantas de Cuba*. Planta! - Plantlife Conservation Society. <https://doi.org/10.70925/cat>
- González, L. R., Palmarola, A., González Oliva, L., Bécquer, E. R., Testé, E., & Barrios, D. (Eds.). (2016). *Lista roja de la flora de Cuba* (Vol. 10).
- Hartmann, H., Bastos, A., Das, A. J., Esquivel, A., Hammond, W. M., Martínez, J., & Allen, C. D. (2022). Climate change risks to global forest health: Emergence of unexpected events of elevated tree mortality worldwide. *Annual Review of Plant Biology*, 73(1), 673-702. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-102820-012804>
- INSMET. (2009a). *Registros meteorológicos del periodo 1990-2004* [Registro digital. 2009]. Instituto de Meteorología, CITMA.
- INSMET. (2009b). *Temperaturas medias históricas provinciales para el periodo 1979-2000* [Registro digital. 2009]. Instituto de Meteorología, CITMA.
- IPCC. (2018). *Global Warming of 1.5 °C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* (Intergovernmental Panel on Climate Change). World Meteorological Organization. <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- McDowell, N., Pockman, W. T., Allen, C. D., Breshears, D. D., Cobb, N., Kolb, T., Sperry, J., West, A., Williams, D., & Yezzer, E. A. (2008). Mechanisms of plant survival and mortality during drought: Why do some plants survive while others succumb to drought? *New Phytologist*, 178(4), 719-739. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02436.x>
- Mercadet, A. (2000). *Base de datos sobre crecimiento de especies forestales arbóreas existentes en Cuba*. Instituto de Investigaciones Forestales.
- Planos, E., Rivero, R., & Guevara, A. V. (2013). *Impactos del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba*. Instituto de Meteorología, Agencia de Medio Ambiente, Ministerio de Ciencia, Ambiente y Tecnología.
- Scholes, R., Settele, J., Betts, R., Bunn, S., Leadley, P., Nepstad, D., Overpeck, J., & Taboada, M. A. (2013). Ecosistemas Terrestres y de Agua Dulce. En *Contribución del Grupo de Trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del IPCC* (p. 34). IPCC.
- Visaez, F. J. (2023). Vulnerabilidad de las plantaciones forestales de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* al fenómeno el niño/oscilación sur (ENSO) en el sur de los estados Monagas y Anzoátegui, Venezuela. *Revista Naturaleza, Sociedad y Ambiente*, 10(1), 15-27. <https://doi.org/10.37533/cunsurori.v10i1.84>
- Weed, A. S., Ayres, M. P., & Hicke, J. A. (2013). Consequences of climate change for biotic disturbances in North American forests. *Ecological Monographs*, 83(4), 441-470. <https://doi.org/10.1890/13-0160.1>

**ANEXO 1. PRINCIPALES ESPECIES EN LAS PLANTACIONES EXISTENTES
EN EL MUNICIPIO SAN ANTONIO DEL SUR, SEGÚN DINÁMICA 2021**

Crec.	Nombre científico	Nombre vulgar	Área con respecto al área total (%)	Densidad	
				(kg·m ³)	(g·cm ³)
D-Rc	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam) de Wit	leucaena	11.57	640	0.64
B	<i>Hibiscus elatus</i> Sw.	majagua	27.37	455	0.46
B	<i>Calophyllum antillanum</i> Britt. Y Wals.	ocuje	17.76	610	0.61
D-Rc	<i>Pinus cubensis</i> Griseb.	pino de mayarí	17.18	629	0.63
Área total (%)			73.88		
Área comprendida por las especies principales (ha)			5 035.30		
Área total plantaciones (ha)			6 815.84		

Leyenda: Crec.- Crecimiento; D-Rc- Duras de rápido crecimiento; B- Blandas

**ANEXO 2. FORMACIONES REPRESENTATIVAS DEL MUNICIPIO
SAN ANTONIO DEL SUR (%)**

Formación		%
Manglar	Mg	0.07
Manigua costera	Mc	2.92
Charrascal	Ch	0.07
Pluvisilva	Pv	2.57
Pluvisilva de montaña	Pv-M	22.07
Semicaducifolio sobre suelo ácido	Scf-a	10.18
Semicaducifolio sobre suelo calizo	Scf-c	38.05
Uveral	Uv	0.11
Xerófico típico	Xt	23.69
Área total comprendida de la principal formación (ha)		14 250.49
Área total Bosques naturales (ha)		37 451.83