CIENCIA E INTERCULTURALIDAD

Año 18, Vol. 35, No. 2, Julio-Diciembre, 2025
COPYRIGHT © • ISSN 1997-9231 (Print) • ISSN 2223-6260 (Online).
https://doi.org/10.5377/rci.v35i2.23784

Crecimiento de *Cedrella odorata* L. y *Swietenia macrophylla* King en el arboretum departamental Yulûh en el Caribe Norte de Nicaragua

Growth of Cedrella odorata L and Swietenia macrophylla King in the Yulûh departmental arboretum in the North Caribbean of Nicaragua

Efraín de Jesús Peralta Tercero[1]

RESUMEN

Las especies maderables de *Swietenia macrophylla* King (caoba) y *Cedrela odorata* L. (cedro real), son pioneras de alto valor comercial en bosques tropicales húmedos centroamericanos, enfrentan disturbios bióticos (*Hypsipyla grandell*a) y abióticos (como los huracanes) que limitan su establecimiento. El estudio evaluó el crecimiento dendrométrico, la adaptación a diferentes niveles de sombra y la capacidad de recuperación post-disturbios de *Swietenia macrophylla* (caoba) y *Cedrela odorata* (cedro real) en el Arboretum Departamental Yulûh (Siuna, RACCN, Nicaragua), durante el periodo 2009–2024. Se empleó un enfoque cuantitativo retrospectivo basado en un censo longitudinal anual de 1247 árboles, midiendo diámetro (base y DAP), altura total, condiciones de sombra (0–60%) y variables fitosanitarias. Asimismo, se analizó el impacto de los huracanes Eta e Iota (2020) y la respuesta de las especies ante estos eventos. Los resultados evidencian que *S. macrophylla* presentó mayores valores de crecimiento en diámetro y altura respecto a *C. odorata* a los 15 años, particularmente en condiciones de baja sombra (<30%), mientras que el cedro mostró mejor tolerancia a niveles altos de sombra (>60%). Ambas especies alcanzaron la fase de latizal alto a los 10 años, mostrando adecuada adaptación al sitio. Los huracanes provocaron una reducción temporal en el crecimiento, principalmente en árboles de mayor tamaño; sin embargo, la aplicación de prácticas silviculturales (podas, liberación y tutoreo) favoreció una recuperación progresiva, evidenciando alta resiliencia. El análisis estadístico (ANOVA) indicó ausencia de diferencias significativas entre especies ($p<0.05$), lo que sugiere patrones de crecimiento y adaptación similares, pese a la ligera superioridad de la caoba. Se concluye que ambas especies poseen alto potencial para programas de

1 Máster en Docencia Universitaria. Ingeniero Forestal, Especialización en gestión del riesgo y cambio climático, Profesor Titular Área del Conocimiento Agricultura, Universidad de las Regiones Autónomas de la Costa Caribe Nicaragüense (URACCAN) CUR Las Minas. Correo electrónico: efrain.peralta@uraccan.edu.ni Código ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5622-3241

Master in University Teaching, Agroforestry Engineer. University of the Autonomous Regions of the Nicaraguan Caribbean Coast.

Recibido: 25/03/2025 - Aprobado: 25/09/2025

Peralta Tercero, E. de J. (2026). Crecimiento de *Cedrella odorata* L. y *Swietenia macrophylla* King en el arboretum departamental Yulûh en el Caribe Norte de Nicaragua. *Ciencia e Interculturalidad, 35*(2), 113-127. https://doi.org/10.5377/rci.v35i2.23784

Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-NoDerivadas

restauración forestal en ecosistemas tropicales, destacando la importancia del manejo silvicultural oportuno frente a disturbios bióticos y abióticos.

Palabras clave: Crecimiento dendrométrico, caoba, cedro real, sombra, huracanes, resiliencia forestal

ABSTRACT

The timber species *Swietenia macrophylla* King (mahogany) and *Cedrela odorata* L. (royal cedar), are pioneers of high commercial value in Central American tropical rainforests, face biotic (*Hypsipyla grandella*) and abiotic disturbances (such as hurricanes) that limit their establishment. This study evaluated dendrometric growth, adaptation to different shade levels, and post-disturbance recovery capacity of *Swietenia macrophylla* (mahogany) and *Cedrela odorata* (Spanish cedar) in the Yulûh Departmental Arboretum (Siuna, RACCN, Nicaragua) over the period 2009–2024. A retrospective quantitative approach was applied based on an annual longitudinal census of 1,247 trees, measuring diameter (basal and DBH), total height, shade conditions (0–60%), and phytosanitary variables. Additionally, the impact of Hurricanes Eta and Iota (2020) and species response to these events were analyzed. Results show that *S. macrophylla* exhibited greater diameter and height growth compared to *C. odorata* at 15 years, particularly under low shade conditions (<30%), while cedar demonstrated better tolerance to higher shade levels (>60%). Both species reached the advanced sapling stage at 10 years, indicating adequate site adaptation. Hurricanes caused a temporary reduction in growth, especially in larger trees; however, the application of silvicultural practices (pruning, release, and staking) promoted progressive recovery, demonstrating high resilience. Statistical analysis (ANOVA) indicated no significant differences between species ($p<0.05$), suggesting similar growth and adaptation patterns, despite the slight superiority of mahogany. It is concluded that both species have high potential for forest restoration programs in tropical ecosystems, highlighting the importance of timely silvicultural management in response to biotic and abiotic disturbances.

Keywords: Dendrometric growth, mahogany, Spanish cedar, shade, hurricanes, forest resilience.

I. INTRODUCCIÓN

Las especies maderables *Swietenia macrophylla* King (caoba) y *Cedrela odorata* L. (cedro real), pertenecientes a la familia Meliaceae, constituyen recursos estratégicos de alto valor económico, ecológico y social en los bosques tropicales húmedos de Centroamérica. Su importancia radica no solo en la calidad de su madera, ampliamente demandada en mercados nacionales e internacionales, sino también en su papel en procesos de restauración forestal, captura de carbono y recuperación de ecosistemas degradados.

Ambas especies enfrentan amenazas comunes: el barrenador de meliáceas *Hypsipyla grandella* Zeller, que ataca brotes terminales causando bifurcación múltiple y mortalidad temprana (Cibrián Tovar *et al*., 1995), y eventos climáticos extremos como huracanes categoría 4-5, que provocan quebrantamiento masivo de fustes. Lombardi *et al*. (2014) documentaron en Perú la regeneración natural limitada de caoba (1,63 brinzales ha^{-1}) versus cedro (8 brinzales ha^{-1}), destacando su diferente respuesta a perturbaciones antrópicas.

Diversos estudios en América Latina han documentado diferencias en el comportamiento silvicultural de estas especies (Peralta Tercero, 2015 en Nicaragua, Chinchilla Mora *et al*., 2021 en Costa Rica). En términos generales, *S. macrophylla* presenta mayores tasas de crecimiento en condiciones de alta disponibilidad lumínica, mientras que *C. odorata* exhibe mayor tolerancia a ambientes sombreados y condiciones de competencia. Sin embargo, aún persisten vacíos de información en contextos específicos como la Región Autónoma de la Costa Caribe Norte (RACCN) de Nicaragua, particularmente en relación con su desempeño a largo plazo bajo condiciones de sombra variable y su capacidad de recuperación frente a disturbios extremos recientes, como los huracanes Eta e Iota ocurridos en 2020.

El Arboretum Departamental Yulûh, ubicado en el Laboratorio Natural Awawas de la URACCAN (Siuna, RACCN), constituye un escenario privilegiado para el estudio de estas dinámicas. Establecido en 2009 sobre áreas intervenidas por actividad minera artesanal, este sistema forestal enriquecido ha sido objeto de un monitoreo dendrométrico continuo durante más de una década, generando una base de datos longitudinal única en la región. Este contexto permite analizar de manera integral los patrones de crecimiento, adaptación y resiliencia de especies forestales de alto valor en condiciones reales de manejo y restauración.

En este sentido, la presente investigación tiene como propósito evaluar los índices de crecimiento e incremento (ICA e IMA) de *Swietenia macrophylla* y *Cedrela odorata*, así como analizar su respuesta a variables ambientales como el nivel de sombra, la competencia intraespecífica y los daños ocasionados por disturbios bióticos y abióticos. De manera particular, se busca determinar la capacidad de recuperación de ambas especies tras el impacto de los huracanes Eta e Iota, y comparar su desempeño silvicultural en condiciones de bosque enriquecido en la RACCN.

La pregunta que orienta el estudio es: ¿cuáles son los patrones de crecimiento y la resiliencia diferencial de *S. macrophylla* y *C. odorata* en condiciones de bosque tropical intervenido, y cómo influyen los factores ambientales y disturbios recientes en su desempeño productivo?

Los resultados de esta investigación aportan evidencia científica relevante para el diseño de estrategias de manejo forestal sostenible, restauración ecológica y formación académica en contextos interculturales, fortaleciendo la base técnica para la toma de decisiones en sistemas forestales tropicales de Nicaragua.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Crecimiento dendrométrico y factores del sitio

El crecimiento arbóreo se define como el aumento irreversible de tejidos por división, elongación y engrosamiento celular en meristemos primarios y secundarios, expresado en variables como diámetro a la base (DB), diámetro a 1.30 m (DAP), altura total (Ht) y área basal, influido por factores genéticos, climáticos (precipitación >2000 mm/año, temperatura 24-28 °C), edáficos (suelos aluviales bien drenados, pH 5.5-7.0) y bióticos (competencia por luz y nutrientes) (Imaña y Encinas, 2008; Scolforo, 1994). En plantaciones tropicales, *S. macrophylla* y *C. odorata* presentan tasas de crecimiento propias de especies pioneras. Se reportan incrementos medios anuales en diámetro de 1.0 a 1,38 cm/año y alturas de 20 a 30 m a los 15–20 años. En sitios fértiles post-minería, como Yulûh (RACCN, Nicaragua), la caoba tiende a dominar en condiciones de baja sombra (<30%) (Galán Larrea *et al*., 2008; Hernández Máximo *et al*., 2011).

Estos resultados son consistentes con los reportados por Peralta Tercero (2015), quien documentó un mayor crecimiento en *S. macrophylla* en condiciones similares, con valores de IMA para caoba de: Ht= 0.66 m/año (ICA= 0.60 m), diámetro= 0.86 cm (ICA= 0.98 cm) vs. Cedro: Ht=0.40 m (ICA=0.34 m), diámetro= 0.66 cm (ICA 0.87 cm); conjunto: Ht= 0.53 m, diámetro= 0.76 cm, lo que evidencia diferencias en la estrategia ecológica de ambas especies en función de la disponibilidad de luz.

En contraste, estudios en Veracruz, México (Hernández Máximo *et al*., 2011), muestran que bajo sistemas mixtos las diferencias entre especies pueden variar significativamente en etapas tempranas (en primeros 5 años (Ht= 8-9 m, DB= 10-12 cm), con caoba manteniendo homogeneidad bajo manejo mixto). Por su parte, Carvajal-Arroyo *et al*. (2021) en el Caribe costarricense reportó para *C. odorata* DAP de 25-50 cm (IMA= 2.3-2.6 cm/año post-10 años), Ht comercial= 18 m y volumen= 2.07 m^3/árbol a 20 años (CV de 48 %), con Hc/Ht= 41-53% desde 9 años, La Norma Técnica Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense de Manejo Sostenible de los Bosques Naturales Latifoliados y de Coníferas de Nicaragua (NTON 18 001-12) establece explícitamente el valor del Incremento Medio Anual (IMA) en diámetro para bosque tropical húmedo como 0.50 cm/DAP/árbol/año, sirviendo como base para calcular la intensidad de corte y la corta anual permisible (CAP) (Comisión Nacional de Normalización Técnica y Calidad [CNTNC], 2013).

Galán Larrea *et al*. (2008) en Los Tuxtlas (IS 14-26) ajustó modelos Chapman-Richards para Ht dominante (pseudo-R^2 alto, $p>0.05$ entre *C. odorata* y *Tabebuia donnell-smithii*, análoga a caoba), prediciendo Ht de 20-26 m a 10 años y volúmenes maderables de 0.89-2.02 m^3/árbol a 15 años, con subestimación en sitios pobres y sobreestimación en fértiles, pero fase acelerada persistente. Chinchilla Mora *et al*. (2021) en sistemas agroforestales costarricenses registraron a 3 años una Ht de 7.66 m, DAP de 7.55 cm para caoba, decreciendo con altitud, mientras Peralta Tercero (2015) enfatiza en los suelos recuperados de tacotales mineros como óptimos para pioneras meliáceas. En estudios de Prodan *et al*. (1997) estas las especies de esta familia reflejan madurez fisiológica incipiente sin competencia extrema.

En el mismo contexto, estudios desarrollados en sistemas agroforestales también aportan evidencia relevante. El Instituto de Investigación y Servicio Forestal de la Universidad de Costa Rica evaluó rendimientos y costos de cinco sistemas agroforestales con caoba (*Swietenia macrophylla* King). Chinchilla Mora *et al*. (2021) registraron, a los 3 años en dos sistemas, alturas promedio de 7,66 m $árbol^{-1}$ y diámetros de 7,55 cm $árbol^{-1}$. Además, hallaron que el crecimiento en altura, diámetro y volumen disminuye al aumentar la altitud.

Efecto de disturbios (huracanes y plagas)

Los huracanes de categoría 3 a 5 generan impactos severos en las plantaciones forestales, a decir; defoliación, ruptura de ramas y derribo de árboles. No obstante, los bosques tropicales húmedos presentan una alta capacidad de recuperación vía rebrotes adventicios y semillas en 1-5 años, controlados por sobrevivientes locales (42% área basal a 20 años) más que invasoras (García-Méndez *et al*., 2020; Plotkin *et al*., 2013). Después del huracán Gilberto en Quintana Roo se reporta que: *S. macrophylla* y *C. odorata* brotaron vigorosamente en derribos totales y apicalmente en defoliación leve (García Cuevas *et al*., 2021).

García-Méndez *et al*. (2020) destacan que la recuperación post-huracán depende de factores como la disponibilidad hídrica y la severidad del disturbio (en la región de Chamela, Jalisco reportaron hojarasca 2-3 meses, dosel 1-2 años, biomasa foliar limitada por sequías post-evento), congruente con lo reportado por Uriarte *et al*. (2023) quienes destacan legados centenales en Ht (-20%) y dominancia palmas resistentes en Puerto Rico (Hugo/Georges).

Plagas como la *Hypsipyla grandella* afectan brotes líderes de estas especies, pero se superan con podas y manejo constante de los árboles, las infestaciones severas inducen brotes adventicios atacados, y hasta una mortalidad temprana <20% bajo manejo (Cibrián Tovar *et al*., 1995). Lombardi *et al*. (2014) en Perú reportaron regeneración de caoba de 1.63 brinzales/ha (sur semilleros) vs. cedro 8/ha (omnidireccional), escasa >5 años post-pertubación, validando resiliencia vegetativa sobre seminal en arboretum.

Comparación entre especies y aplicaciones silviculturales

Análisis estadísticos realizados por Peralta Tercero (2015) confirman que no existen diferencias significativas en crecimiento/adaptación/recuperación, con *S. macrophylla* ligeramente superior, y ritmos homogéneos pioneros (Bruce y Schumacher, 1950). *S. macrophylla* (luz-demandante) vs. *C. odorata* (tolerante sombra) convergen en latizal alto, compitiendo efectivamente a 15 años (Ht caoba de 12.1 m vs. cedro de 9.9 m máximo), como en Galán Larrea (2008) en modelos volumen/altura indistintos ($p>0.05$). En Costa Rica, *C. odorata* con un ICA, DAP de 2.67 cm/año máximo a 20 años, Ht de 1.81 m/año inicial decreciendo (Carvajal-Arroyo *et al*., 2021).

Los huracanes causan daños severos en los bosques tropicales, como defoliación, rotura de ramas y derribo de árboles, pero estos ecosistemas exhiben alta resiliencia gracias a mecanismos como la regeneración por semillas y rebrotes vegetativos de especies adaptadas (García-Méndez *et al*., 2020). Por ejemplo, en la selva baja de Chamela, México, tras el huracán Jova en el año 2011, la hojarasca se recuperó en 2-3 meses y el dosel en 1-2 años, aunque la biomasa foliar tardó más debido a sequías posteriores que limitan el crecimiento (Williams Linera *et al*., 2021). Estudios destacan que especies pioneras y resistentes al viento, como palmas, dominan la recuperación a largo plazo, controlando el desarrollo forestal por décadas (Uriarte *et al*., 2023).

En regiones como Quintana Roo, México, el huracán Gilberto (1988) afectó sitios con diferente intensidad, promoviendo regeneración natural variable: en áreas de derribo total, especies tropicales como *Swietenia macrophylla* y *Cedrela odorata* mostraron brotes vigorosos, mientras que en defoliación leve predominó el rebrote apical (García Cuevas *et al*., 2021). Similarmente, experimentos simulando huracanes en bosques templados revelan que sobrevivientes locales, no invasoras, determinan la composición futura, con robles residuales capturando el 42% de la superficie basal tras 20 años (Plotkin *et al*., 2013). Estos procesos subrayan la importancia de la diversidad específica y condiciones post-evento para la restauración efectiva de especies forestales (García-Méndez *et al*., 2020; Uriarte *et al*., 2023).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio

El estudio se desarrolló en el Arboretum Departamental Yulûh, ubicado en el Laboratorio Natural Awawas de la Universidad de las Regiones Autónomas de la Costa Caribe Nicaragüense (URACCAN), recinto Las Minas, municipio de Siuna, Región Autónoma de la Costa Caribe Norte (RACCN), Nicaragua. Este arboretum fue establecido en septiembre de 2009 en el marco de la Jornada Nacional de Reforestación, sobre áreas previamente intervenidas por actividades de minería artesanal, con el

propósito de restaurar la cobertura forestal mediante el establecimiento de especies nativas de alto valor maderable.

Tipo y diseño de estudio

Se realizó un estudio cuantitativo de tipo retrospectivo, basado en un diseño longitudinal con mediciones anuales durante el periodo 2009–2024. El enfoque permitió evaluar el crecimiento, la adaptación y la recuperación post-disturbios de las especies *Swietenia macrophylla* King (n=7000 plantas iniciales) y *Cedrela odorata* L. (n=3000 plantas iniciales), a partir del análisis de variables dendrométricas registradas de forma sistemática a lo largo del tiempo.

Población y unidad de análisis

La población estuvo constituida por la totalidad de individuos de *S. macrophylla* y *C. odorata* establecidos en el arboretum en el año 2009. Para el año 2024, se censaron 1247 árboles sobrevivientes, los cuales conformaron la muestra del estudio, bajo un enfoque de censo total (100% de la población disponible).

La unidad de análisis correspondió al árbol individual, considerando para cada uno variables cuantitativas y cualitativas relacionadas con su crecimiento, estado fitosanitario y condiciones del entorno.

Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron en el estudio todos los individuos de *S. macrophylla* y *C. odorata* establecidos en 2009 que presentaban registros completos de medición a lo largo del periodo de estudio. Se excluyeron árboles de otras especies, individuos provenientes de regeneración natural, plantas establecidas con posterioridad al año 2009 y aquellos individuos muertos o ausentes al momento del último censo.

Variables e instrumentos de medición

Se evaluaron variables dendrométricas y ambientales a nivel individual. Las principales variables cuantitativas incluyeron: altura total (m), diámetro a la base (cm) y diámetro a la altura del pecho (DAP, cm). Asimismo, se registraron variables cualitativas como estado fitosanitario, presencia de daños mecánicos, bifurcación, inclinación y calidad del árbol.

La medición de la altura se realizó mediante clinómetro o cinta métrica, con una precisión de 0.1 m. El diámetro se midió utilizando cinta diamétrica con precisión de 0.1 cm, tanto en la base como a 1.30 m del suelo (DAP). El nivel de sombra se estimó mediante un bastón de sombras, clasificándose en tres categorías: baja (<30%), media

(30–60%) y alta (>60%). El estado fitosanitario se evaluó mediante observación directa, utilizando una escala cualitativa de tres niveles: sano, aceptablemente sano y enfermo.

Recolección de datos

Los datos fueron recolectados mediante un monitoreo anual estandarizado, ejecutado por estudiantes de la carrera de Ingeniería Agroforestal de URACCAN, previamente capacitados en técnicas de medición forestal en el marco de la asignatura de Silvicultura. El procedimiento incluyó la identificación y marcaje de cada árbol, seguido de la medición secuencial de las variables dendrométricas y la evaluación de las condiciones cualitativas.

Para garantizar la calidad de la información, se implementaron mecanismos de supervisión y verificación por parte del personal docente, así como la revisión de consistencia de los datos recolectados en campo.

Confiabilidad y validez de los datos

La confiabilidad del estudio se sustentó en la aplicación de un protocolo de medición estandarizado durante 15 años, con entrenamiento homogéneo de los equipos de campo y verificación cruzada de los datos, estimándose un error de medición inferior al 5%. Asimismo, se reporta una consistencia interna alta en los registros longitudinales (α de Cronbach > 0.85).

La validez de las mediciones se garantizó mediante el uso de instrumentos calibrados y la operativización de variables conforme a estándares técnicos internacionales (FAO) y normativas nacionales (INAFOR), asegurando la comparabilidad y precisión de los datos.

Procesamiento y análisis de datos

La información recolectada fue digitalizada en una base de datos longitudinal en Microsoft Excel, correspondiente a 1247 árboles evaluados durante un periodo de 15 años. A partir de estos datos se calcularon indicadores de crecimiento como el Incremento Corriente Anual (ICA) y el Incremento Medio Anual (IMA), utilizando las siguientes expresiones:

- ICA = (Valor final – Valor inicial) / número de años
- IMA = Valor final / número de años

Para evaluar diferencias en el crecimiento entre especies, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía, considerando como variables dependientes el diámetro y la altura, y como factor la especie. El nivel de significancia estadística se estableció en $\alpha = 0.05$.

Consideraciones éticas

El estudio se desarrolló en cumplimiento del código de ética para la investigación de URACCAN. Dado que se trata de un estudio observacional sin intervención experimental, no implicó riesgos para los ecosistemas evaluados. Asimismo, se contó con la autorización institucional correspondiente por parte de la Dirección de Investigación del recinto URACCAN Las Minas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento dendrométrico en relación con el entorno

Los resultados evidencian que tanto *Swietenia macrophylla* como *Cedrela odorata* presentan un crecimiento sostenido en diámetro y altura a lo largo del periodo de evaluación (5, 10 y 15 años), con diferencias asociadas principalmente al nivel de sombra. En general, el mayor porcentaje de individuos de ambas especies se concentró en condiciones de baja sombra (<30%) durante los primeros años de establecimiento, lo que refleja la importancia de la disponibilidad lumínica en las fases iniciales de crecimiento (ver Tabla 1).

En términos comparativos, *S. macrophylla* mostró consistentemente mayores valores de diámetro a la base, diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura total en relación con C. odorata en los tres periodos evaluados. A los 15 años, la caoba alcanzó valores de DAP de hasta 16.3 cm y alturas de 12.1 m, mientras que el cedro presentó valores máximos de 13.2 cm y 9.9 m, respectivamente. Estos resultados confirman el carácter heliófito de *S. macrophylla*, cuyo crecimiento se ve favorecido en condiciones de baja competencia por luz.

Por su parte, *C. odorata* mostró un mejor desempeño relativo en condiciones de mayor sombra (>60%), especialmente en variables diamétricas, lo que evidencia su mayor tolerancia a ambientes con menor disponibilidad lumínica. Esta diferenciación en la respuesta al ambiente coincide con lo señalado por Peralta Tercero (2015) y Chinchilla Mora *et al*. (2021), quienes destacan la influencia de la luz como factor determinante en el crecimiento de estas especies.

A los 10 años, ambas especies superaron el umbral de 5 cm de DAP, lo que indica su transición a la fase de latizal alto, caracterizada por una mayor capacidad competitiva y supervivencia. Este comportamiento es consistente con lo reportado en estudios en sistemas tropicales, donde especies pioneras alcanzan rápidamente esta etapa bajo condiciones favorables (Galán Larrea *et al*., 2008; Hernández Máximo *et al*., 2011).

En conjunto, los resultados sugieren que, si bien ambas especies presentan patrones de crecimiento similares, *S. macrophylla* exhibe una ligera ventaja en términos de crecimiento absoluto, mientras que *C. odorata* muestra mayor plasticidad ecológica frente a condiciones de sombra, lo que puede ser aprovechado en diseños silviculturales mixtos.

Tabla 1

Distribución porcentual de árboles, diámetro y altura, según especie, edad y nivel de sombra, 2009-2024

Especies	Variable	5 años			10 años			15 años		
		1*	2	3	1	2	3	1	2	3
Swietenia macrophylla King	% No árboles	49.0	32.1	18.9	59.6	38.5	1.9	38.3	37.0	24.7
	Diámetro de la base (cm)	5.2	3.6	3.2	11.8	10.7	8.7	18.3	16.0	19.9
	Diámetro a 1.30 m (cm)				9.5	8.5	6.3	15.8	12.8	16.3
	Altura total (m)	3.9	2.9	2.5	8.9	8.4	7.8	12.1	10.4	11.2
Cedrella odorata L.	% No árboles	59.5	28.4	12.1	84.9	13.8	1.3	38.2	55.3	6.6
	Diámetro de la base (cm)	3.6	2.9	2.4	8.3	9.0	13.8	13.8	16.3	15.9
	Diámetro a 1.30 m (cm)				6.1	6.3	10.3	10.0	12.9	13.2
	Altura total (m)	2.1	1.9	1.4	6.5	6.4	8.5	8.5	9.9	8.6

En cada periodo de 5 años se analizan las variables por especies en tres niveles de sombra, donde:

*1. Si la sombra proporcionada por los árboles no deseables es menor a 30%.

2. Si la sombra proporcionada por los árboles no deseables es entre 30 y 60%.

3. Si la sombra proporcionada por los árboles no deseables es mayor al 60%.

Efecto de disturbios bióticos y abióticos en el crecimiento

Durante el periodo de estudio, se identificaron dos tipos principales de disturbios que afectaron el crecimiento de las especies: el ataque del barrenador de las meliáceas (*Hypsipyla grandella*) y el impacto de los huracanes Eta e Iota en el año 2020.

En etapas tempranas (entre los 4 y 8 años), ambas especies presentaron afectaciones asociadas a *H. grandella*, manifestadas en deformaciones del fuste y reducción del crecimiento en altura (Figura 1). No obstante, la implementación de prácticas silviculturales, particularmente podas de formación, permitió mitigar estos efectos y favorecer la recuperación progresiva de los árboles a partir del noveno año. Este comportamiento coincide con lo reportado por Cibrián Tovar *et al*. (1995),

quienes señalan que el manejo adecuado puede reducir significativamente el impacto de esta plaga.

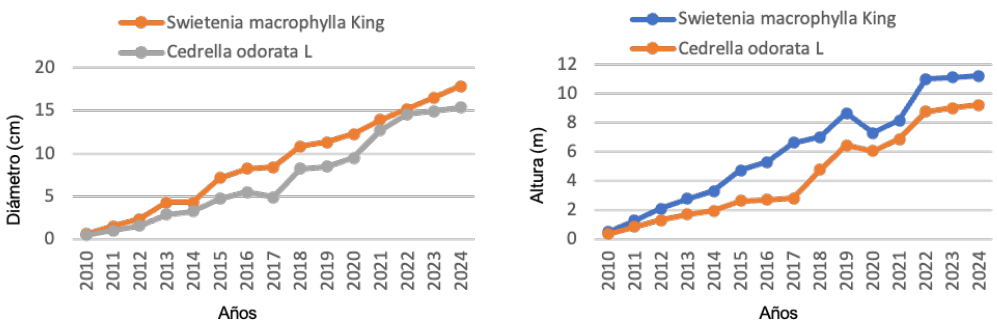
Por otro lado, los huracanes Eta (categoría 3) e Iota (categoría 4-5) provocaron una interrupción significativa en la tendencia de crecimiento de ambas especies, afectando principalmente a los individuos de mayor tamaño, los cuales presentaron inclinación, quiebre o volcamiento. Sin embargo, posterior a la implementación de tratamientos silviculturales como podas, liberación y tutoreo, se observó una recuperación progresiva del crecimiento en diámetro y altura.

Este patrón de afectación y recuperación es consistente con estudios realizados en ecosistemas tropicales, donde se ha documentado que especies como *S. macrophylla* y *C. odorata* presentan una alta capacidad de rebrote tras disturbios severos (García Cuevas *et al*., 2021). Asimismo, García-Méndez *et al*. (2020) y Williams Linera *et al*. (2021) señalan que la recuperación del dosel y la biomasa forestal puede ocurrir en periodos relativamente cortos, dependiendo de las condiciones ambientales posteriores al disturbio.

En este sentido, los resultados evidencian que, a pesar del impacto negativo inicial de los disturbios, ambas especies presentan una notable resiliencia, la cual se ve fortalecida por la aplicación de prácticas de manejo silvicultural oportunas.

Figura 1

Crecimiento en diámetro (cm) y altura (m) de Swietenia macrophylla King y Cedrella odorata L, 2009-2024



Comparación del crecimiento, adaptación y recuperación entre especies

El análisis comparativo entre *Swietenia macrophylla* y *Cedrela odorata* revela que ambas especies presentan patrones de crecimiento, adaptación y recuperación similares a lo largo del periodo de estudio. Aunque *S. macrophylla* muestra valores ligeramente superiores en diámetro y altura (Figura 2), estas diferencias no resultaron estadísticamente significativas según el análisis de varianza (ANOVA) realizado ($\alpha = 0.05$).

Este resultado es consistente con lo reportado en la literatura, donde se ha señalado que, bajo condiciones similares de manejo y sitio, las diferencias en el crecimiento entre ambas especies tienden a ser reducidas (Bruce y Schumacher, 1950; Galán Larrea *et al*., 2008). En este contexto, el desempeño de las especies parece estar más influenciado por factores ambientales, como la disponibilidad de luz y la competencia, que por diferencias intrínsecas.

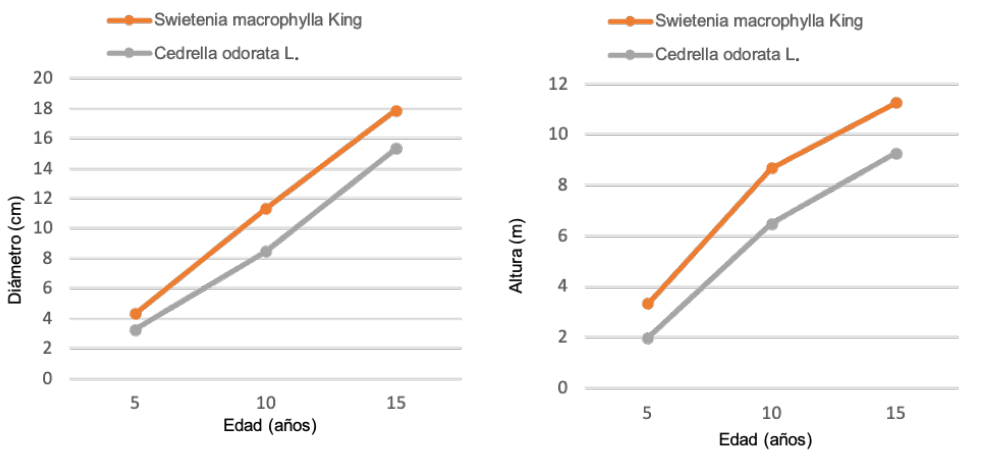
Asimismo, ambas especies mostraron una tendencia de crecimiento continuo hasta los 15 años, sin evidencias de haber alcanzado su máximo potencial en altura, lo que sugiere que aún se encuentran en fases activas de desarrollo. La ausencia de producción de semillas observada en este periodo también indica que no han alcanzado plenamente su madurez reproductiva, lo cual es consistente con su dinámica de crecimiento en ecosistemas tropicales.

En términos de resiliencia, no se observaron diferencias marcadas entre especies en su capacidad de recuperación post-disturbios, lo que refuerza la idea de que ambas poseen estrategias adaptativas efectivas frente a eventos extremos. Este comportamiento coincide con lo señalado por Plotkin *et al*. (2013) y Uriarte *et al*. (2023), quienes destacan que la recuperación de los bosques tropicales depende principalmente de la supervivencia de los individuos y su capacidad de regeneración.

En conjunto, estos hallazgos confirman que tanto *S. macrophylla* como *C. odorata* son especies adecuadas para programas de restauración forestal en ecosistemas tropicales, presentando un equilibrio entre crecimiento, adaptación y resiliencia.

Figura 2

Crecimiento en diametro (cm), altura (m) de Swietenia macrophylla King y Cedrella odorata L, 2009-2024 representado cada 5 años.



V. CONCLUSIONES

- El estudio desarrollado en el Arboretum Departamental Yulûh evidenció que Swietenia macrophylla y Cedrela odorata presentan un crecimiento sostenido en diámetro y altura durante los primeros 15 años de establecimiento, confirmando su alto potencial como especies maderables en ecosistemas tropicales húmedos. Aunque S. macrophylla mostró valores superiores en variables dendrométricas, especialmente bajo condiciones de baja sombra (<30%), estas diferencias no fueron estadísticamente significativas, lo que sugiere patrones de crecimiento comparables entre ambas especies bajo condiciones similares de manejo.

- Se identificó que la disponibilidad de luz constituye un factor determinante en el desempeño de las especies, evidenciando un comportamiento diferencial: S. macrophylla responde favorablemente a condiciones de mayor luminosidad, mientras que C. odorata presenta mayor tolerancia a ambientes sombreados (>60%). Esta complementariedad ecológica resalta el potencial de ambas especies para su integración en sistemas forestales mixtos y estrategias de restauración.

- Los disturbios bióticos y abióticos, particularmente el ataque de Hypsipyla grandella y los huracanes Eta e Iota (2020), generaron afectaciones temporales en el crecimiento, principalmente en etapas tempranas y en individuos de mayor tamaño. No obstante, la implementación de prácticas silviculturales como podas, liberación y tutoreo permitió una recuperación progresiva, evidenciando una alta resiliencia en ambas especies.

- El análisis estadístico confirmó la ausencia de diferencias significativas en crecimiento, adaptación y recuperación entre las especies ($\alpha = 0.05$), lo que indica que su desempeño está más influenciado por factores ambientales que por diferencias intrínsecas. En este sentido, ambas especies muestran una adecuada capacidad de adaptación a condiciones de sitio intervenido, como áreas post-minería, manteniendo tendencias de crecimiento activo sin haber alcanzado aún su madurez fisiológica ni reproductiva.

- En términos aplicados, los resultados respaldan el uso de S. macrophylla y C. odorata en programas de restauración forestal y manejo sostenible en la Región Autónoma de la Costa Caribe Norte de Nicaragua, destacando la importancia de ajustar su manejo en función de la disponibilidad de luz y de implementar intervenciones silviculturales oportunas ante disturbios.

- Finalmente, se recomienda profundizar en estudios de largo plazo que evalúen la fase reproductiva, la producción de semillas, la variabilidad genética y la dinámica de crecimiento en condiciones de mayor densidad y sombra, con el fin de fortalecer la base técnica para la toma de decisiones en sistemas forestales tropicales.

VI. REFERENCIAS

Bruce, D., y Schumacher, F. X. (1950). *Forest mensuration*. McGraw-Hill.

Carvajal-Arroyo, D., Murillo-Cruz, R., González Rojas, M., y Fonseca-González, W. (2021). Evaluación del crecimiento de Cedrela odorata L. en sistemas agroforestales con café en Pérez Zeledón, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales, 55*(1), 230-249. https://dx.doi.org/10.15359/rca.55-1.11

Chinchilla-Mora, O., Corea-Arias, E., Meza-Picado, V., y Ávila-Arias, C. (2020). Crecimiento, rendimiento y costos durante los primeros tres años de la caoba (Swietenia macrophylla King) establecida en sistemas agroforestales. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú, 18*(42), 62–73. https://doi.org/10.18845/rfmk.v16i42.5540

Cibrián Tovar, D., Méndez Montiel, J. T., Campos Bolaños, R., Yates III, H. O., y Flores Lara, J. E. (1995). *Insectos forestales de México*. Universidad Autónoma Chapingo. https://sheppard.ltrr.arizona.edu/paricutin/insectosforestales.pdf

Comisión Nacional de Normalización Técnica y Calidad. (2013). *Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense. Manejo Sostenible de los Bosques Naturales Latifoliados y de Coníferas* (NTON 18 001-12, 2da révision). http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/9e314815a08d4a62062572650005d21f9/e5f72bc32154fb1d06257bdb005a8ee7

García Cuevas, X., Bartola Rodríguez, S., y Javier Chavelas, P. (2021). Regeneración natural en sitios afectados por el huracán Gilberto e incendios forestales en Quintana Roo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 17*(72), 75-99. https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/1066

Galán Larrea, R., Posadas, H. M., y Valdez Hernández, J. I. (2008). Crecimiento y rendimiento de Cedrela odorata L. y Tabebuia donnell-smithii Rose en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. *Madera y Bosques, 14*(2), 65-82. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712008000200006&lng=es&tlng=es

García-Méndez, G., Jaramillo, V. J., Martínez-Yrízar, A., Maass, M., Sarukhán, J., Nava-Mendoza, M., Ahedo, R., y Araiza, S. (2020). ¿Pueden los bosques tropicales resistir o recuperarse del impacto de los huracanes ? *Revista de la Universidad Nacional de México, 21*(5). http://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2020.21.5.5

Hernández Máximo, E., López Ayala, J. L., y Sánchez Monsalvo, V. (2011). Crecimiento en diámetro y altura de una asociación de Cedrela odorata-Cordia alliodora y Tectona grandis-Swietenia macrophylla. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 2*(7), 51-67. https://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v2n7/v2n7a3.pdf

Imaña, E., J., y Encinas, B., O. (2008). *Epidometría Forestal*. Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales. Edikapas C.A.

Lombardi, I., Garnica, C., Carranza, J., Barrena, V., Ortiz, H., Gamarra, J., y Ponce, B. (2014). *Evaluación de la recuperación de las poblaciones naturales de caoba y cedro en el Perú* (1ra ed.). Editores: Consultores Asociados en Naturaleza y Desarrollo S.A.C. https://www.itto.int/files/user/cites/peru/FINAL%20Recuperaci%C3%B3n%20Caoba%20y%20Cedro%20en%20el%20Per%C3%BA.pdf

Peralta Tercero, E. (2015). Crecimiento de Cedro Real y Caoba en el laboratorio natural San Pablo URACCAN-Las Minas 2009-2014. *Ciencia e Interculturalidad, 16*(1), 122-131. https://doi.org/10.5377/rci.v16i1.2357

Plotkin, A. B., Foster, D., Carlson, J., y Magill, A. (2013). Survivors, not invaders, control forest development following simulated hurricane. *Ecology, 94*(2), 414-23. https://doi.org/10.1890/12-0487.1

Prodan, M., Peters, R., Cox, F., y Real, P. (1997). *Mensura forestal.* Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)/Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). https://hdl.handle.net/11324/15038

Scolforo, J. R. (1994). *Modelos para expresar o crecimiento y la producción forestal.* Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL) / Fundação de Apoio à Pesquisa de Lavras (FAPE).

Uriarte, M., Tang, C., Morton, D. C., Zimmerman, J. K., y Zheng, T. (2023). 20th-century hurricanes leave long-lasting legacies on tropical forest height and the abundance of a dominant wind-resistant palm. *Ecology and Evolution, 13*(11). https://doi.org/10.1002/ece3.10776

Williams Linera, G., Álvarez Aquino, C., y Tolome, J. (2021). Árboles dañados, crecimiento y fenología después de un huracán en una selva seca en Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 12*(67), 185-201. https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i67.858