**Reporte Técnico: Tasa de Crecimiento de Carbono en Bosques Maduros Tropicales (>100 años)**

**Objetivo:** Determinar la tasa de crecimiento de carbono en bosques maduros tropicales, utilizando el paper de Hall et al. (2022) y fuentes bibliográficas complementarias.

**1. Introducción**

Los bosques maduros tropicales desempeñan un papel fundamental en el ciclo global del carbono al actuar como grandes reservorios. Aunque su tasa de crecimiento neta de carbono es menor que la de los bosques secundarios, entender su contribución es crucial para evaluar su relevancia en la mitigación del cambio climático. Este reporte analiza la tasa de crecimiento en estos ecosistemas, integrando el modelo de Hall et al. y datos empíricos de Barro Colorado Island (BCI) y otras referencias.

**2. Análisis del Paper de Hall et al. (2022)**

Hall et al. utilizan un modelo de acumulación de carbono basado en datos empíricos de Agua Salud, Panamá. Para bosques maduros (>100 años), el estudio sugiere que:

* Las tasas de crecimiento neto se estabilizan en **0.5 Mg C/ha/año (con un rango de 0.4- 0.6 Mg C/ha/año)**.
* **Tasa neta de acumulación en bosques maduros (>100 años):**  
  Hall et al. indican que las tasas netas de crecimiento en bosques maduros se estabilizan en **~0.5 Mg C/ha/año** (rango: 0.4–0.6 Mg C/ha/año). Este valor se considera neto porque:
* Incluye las pérdidas por mortalidad de árboles grandes.
* Considera las contribuciones de crecimiento de árboles jóvenes.
* **Concepto de equilibrio dinámico:**  
  El valor de **0.5 Mg C/ha/año** no significa que el balance sea cero. El término "equilibrio dinámico" implica que, aunque hay compensación, aún queda un **incremento neto positivo** (modesto, pero positivo), lo que permite que los bosques maduros sigan acumulando carbono lentamente.
* **Soporte en datos de campo y modelos:**
* Hall et al. usan datos empíricos de Agua Salud, calibrados con parcelas de campo y modelos de acumulación, lo que garantiza que los valores reportados reflejen el balance neto real.

**Métodos:** El estudio se llevó a cabo en el centro de Panamá utilizando un mapa de carbono derivado de LiDAR con una resolución de 1 ha, acoplado a un modelo de acumulación de carbono en bosques secundarios desarrollado localmente. El modelo Dinamica EGO simuló la pérdida de bosque de manera espacial, utilizando tasas recientes de deforestación, mientras que los flujos de carbono del ecosistema se estimaron mediante estudios locales de carbono subterráneo, madera muerta y lianas.

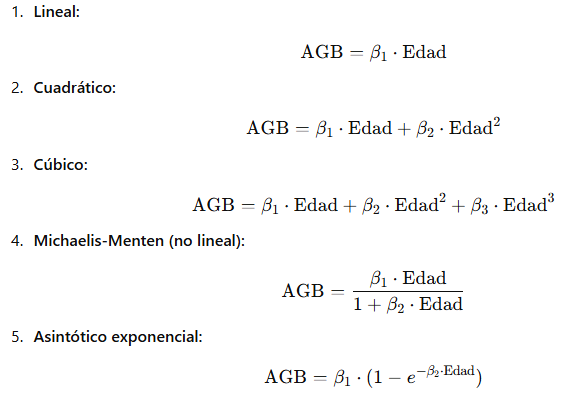
El modelo usado por Hall et al. (2022) para estimar la biomasa en bosques secundarios y maduros combina datos empíricos locales con ecuaciones alométricas y análisis estadístico. A continuación, desgloso los pasos principales:

Datos Iniciales y Fuente de Información

* Base de datos local:   
  Se utilizaron datos de 108 parcelas del proyecto Secondary Forest Dynamics (SFD) en el área de Agua Salud, Panamá. Estas parcelas incluyen mediciones a lo largo de 10 años, cubriendo bosques secundarios y maduros.
* Ecuaciones alométricas:  
  Las ecuaciones fueron desarrolladas localmente por van Breugel et al. (2011) y utilizadas para estimar la densidad de carbono aérea (AGB) en cada parcela.
* Modelo LiDAR:  
  Los datos de las parcelas se combinaron con información de un modelo basado en LiDAR de alta resolución, desarrollado previamente por Asner et al. (2013) para todo Panamá .

2. Modelos Matemáticos para AGB

Hall et al. probaron cinco tipos de modelos matemáticos para estimar la relación entre la biomasa aérea (AGB) y la edad del bosque. Los modelos evaluados fueron:



### ****Selección del Mejor Modelo****

* **Criterios:**  
  La selección se basó en medidas de ajuste estadístico, como el **Criterio de Información de Akaike corregido (AICc)**, la **Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE)** y el coeficiente de determinación (R2).
* **Resultados:**  
  El modelo **Michaelis-Menten** tuvo el mejor rendimiento, con el AICc más bajo y el R2 más alto. Este modelo captura la naturaleza no lineal del crecimiento forestal, donde la tasa de acumulación disminuye a medida que el bosque madura.

**3. Datos Complementarios de Barro Colorado Island (BCI)**

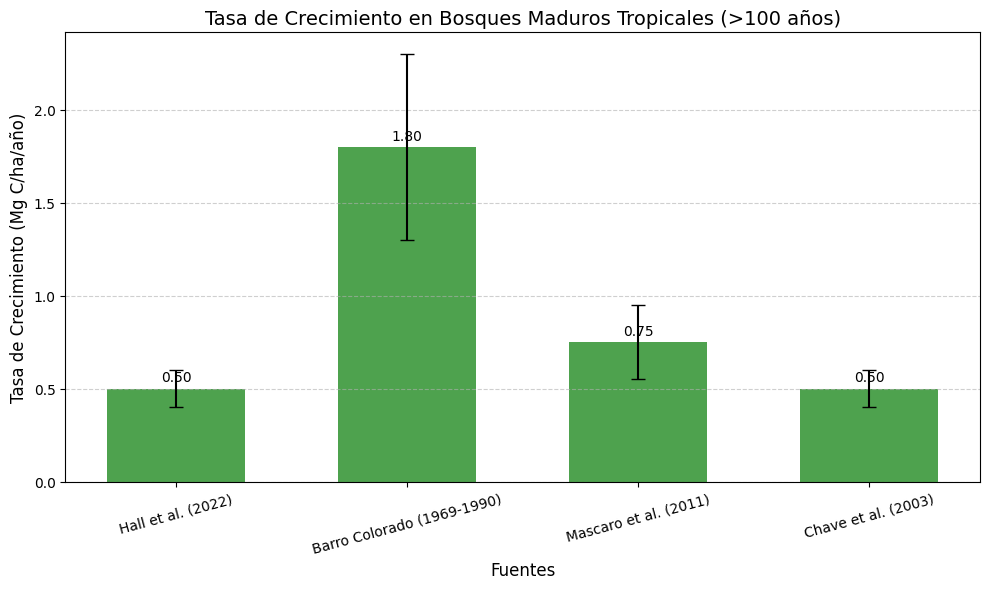
1. **Biomasa aérea y productividad primaria neta (NPP)**:
   * Biomasa aérea promedio: 27,425 g/m² (~274 Mg/ha).
   * NPP bruto: 1,800 g/m²/año (~18 Mg C/ha/año), incluyendo hojarasca, ramas y producción neta de madera.
2. **Factores que afectan el crecimiento en bosques maduros**:
   * Mortalidad de árboles grandes: Se reporta una tasa del 2–3% anual, lo que reduce la acumulación net.
   * Contribución de la madera muerta y hojarasca: Una proporción significativa del NPP bruto no contribuye a la biomasa aérea permanente.
3. **Variabilidad por topografía**:

Estudios de Mascaro et al. (2011) destacan que la biomasa aérea varía según pendientes y tipo de suelo, con una desviación estándar de 17 Mg C/ha para zonas similares.

**4. Referencias Comparativas de la Literatura**

1. **Mascaro et al. (2011)**:
   * Tasa de crecimiento neto estimada entre **0.5 y 1.0 Mg C/ha/año**, dependiendo de las condiciones locales.
2. **Chave et al. (2003)**:
   * Aplican ecuaciones alométricas y consideran densidad de madera, estimando una tasa similar a **0.5 Mg C/ha/año** para bosques maduros.

**5. Análisis.**



En esta grafica poder observar los valores disponibles para tasas de crecimientos de bosques maduros en Panamá, según estudios locales como el de Hall et al., Barro Colorado

A continuación, la tabla que compara los valores reportados o estimados por las diferentes fuentes sobre la **tasa de crecimiento de carbono en bosques maduros (>100 años)**:

| **Fuente** | **Tasa de Crecimiento Neta[[1]](#footnote-1) (Mg C/ha/año)** | **Incertidumbre (± Mg C/ha/año)** | **Observaciones** |
| --- | --- | --- | --- |
| **Hall et al. (2022)** | 0.5 | 0.1 | Basado en modelos de estabilización; considera el equilibrio dinámico en bosques maduros. |
| **Barro Colorado (1969-1990)** | 1.8 (NPP bruto) | 0.5 | NPP incluye componentes no permanentes (hojarasca, ramas); el crecimiento neto de biomasa aérea es menor. |
| **Mascaro et al. (2011)** | 0.75 | 0.2 | Considera la variación en carbono aéreo por topografía y suelos en BCI; destaca el efecto de pendientes en la acumulación de carbono. |
| **Chave et al. (2003)** | 0.5 | 0.1 | Usa ecuaciones alométricas para calcular biomasa aérea; destaca la contribución de la densidad de madera y mortalidad neta en bosques tropicales maduros. |

**Interpretación de los datos**

 **Hall et al. (2022)**:

* La tasa de **0.5 Mg C/ha/año** proviene de un modelo calibrado en Panamá, que refleja el equilibrio dinámico en bosques maduros, donde las ganancias por crecimiento son compensadas por las pérdidas por mortalidad y descomposición. Este valor esta dado en toneladas de carbono por hectáreas al año. Para los cálculos se utilizará **1 tonelada de materia seca por hectarea al año** para poder utilizarlos en las formulas.

 **Barro Colorado (1969-1990)**:

* El valor bruto de **1.8 Mg C/ha/año** incluye la producción de biomasa no permanente (hojarasca y ramas), lo que incementa la estimación respecto a la acumulación neta de biomasa aérea. Si se excluyen estos componentes, el valor se reduce y se acerca a las estimaciones de Hall et al.

 **Mascaro et al. (2011)**:

* El rango de **0.75 Mg C/ha/año** incorpora variaciones espaciales, como la influencia de la pendiente y los tipos de suelo, que pueden aumentar o disminuir la tasa de acumulación de carbono. Este valor destaca la importancia de las condiciones locales en la dinámica del carbono.

 **Chave et al. (2003)**:

* Proporciona un valor de referencia de **0.5 Mg C/ha/año**, basado en ecuaciones alométricas específicas para bosques tropicales. Estas ecuaciones incluyen factores como diámetro, altura de los árboles y densidad de la madera, lo que hace que el cálculo sea altamente preciso.
* Este estudio refuerza la validez de las estimaciones de Hall et al. al coincidir en el mismo rango para bosques maduros.

**Referencias Bibliográficas**

1. Hall, J. S., Arneth, A., del Valle, J. I., et al. *Deforestation scenarios show the importance of secondary forest for meeting Panama’s carbon goals*. Landscape Ecology, 2022.
2. Condit, R., Windsor, D. M., & Hubbell, S. P. *NPP Tropical Forest: Barro Colorado, Panama, 1969-1990*. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA. <https://doi.org/10.3334/ORNLDAAC/157>
3. Mascaro, J., Asner, G. P., Muller-Landau, H. C., van Breugel, M., Hall, J., & Dahlin, K. *Controls over aboveground forest carbon density on Barro Colorado Island, Panama*. Biogeosciences, 8(6), 1615–1629. <https://doi.org/10.5194/bg-8-1615-2011>
4. Chave, J., Andalo, C., Brown, S., et al. *Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests*. Oecologia, 145(1), 87–99.

1. El valor neto incluye las pérdidas de carbono por mortalidad, a menos que se indique lo contrario. [↑](#footnote-ref-1)