

Variación de la altura de *Vismia Macrophylla* y *Jacaranda Copaia* a través de diferentes estados de sucesión de un bosque húmedo tropical de acuerdo con sus hábitos de crecimiento

Camilo Cruz Sanchez^a, Yonatan Moran Ruano^a, Elkin Vanegas Vargas^a, and Cristian Gañan Tapasco^a

^aDepartamento de ciencias forestales, Univeridad Nacional de Colombia, Medellín

Entender el comportamiento de variables como altura y radiación es de vital importancia para analizar las dinámicas de regeneración que un ecosistema ha tenido de acuerdo con las perturbaciones particulares que presenta. En este informe se analizan aspectos como el crecimiento y distribución de dos especies (*Vismia Macrophylla* y *Jacaranda Copaia*), en 4 parcelas con diferentes estados de sucesión; dicho análisis se realiza de acuerdo con los hábitos de crecimiento de cada una de las especies. Se aplica el modelo Michaelis Menten con un RSE de 2.70 y un AIC de 876.90 para explicar el crecimiento de estas especies y la forma como varía su altura relacionado con el cambio en el estado de sucesión del bosque, obteniendo relaciones significativas entre la altura de las especies, el estado de sucesión y categoría de vegetación (brinzales, latizales y fustales). De la misma forma por medio del análisis del porcentaje de radiación realizado mediante el software ImageJ se busca mostrar la disminución de disponibilidad de luz que atraviesa el dosel obteniendo la mayor cantidad de luz (17,38%) en la parcela 4 que presenta un estado de sucesión SS1 y una menor cantidad de luz (8,92%) en la parcela 2 con un estado de sucesión SS3, demostrando así dicha hipótesis.

Vismia Macrophylla | *Jacaranda Copaia* | Sucesión | Radiación | Perturbación

Introducción

Colombia presenta una alta diversidad biológica, amenazada por la intensa presión antrópica que envuelve la deforestación, la fragmentación y los cambios en el uso del suelo, causados principalmente por actividades ganaderas y agrícolas. (Salas Correa *et al.*, 2018) Las áreas que se recuperan de la perturbación, donde se ha practicado principalmente la agricultura de subsistencia de roza y quema, y zonas de pastura para la ganadería, generan un aumento de los bosques secundarios (Hammer *et al.*, 2001) que han venido presentando una regeneración a través del tiempo.

La Regeneración del ecosistema hace parte de un proceso dinámico en el cual nuevos individuos entran a hacer parte de la población reproductora a medida de que otros mueren por medio de un proceso natural (Pulido, 2002), dando así paso a nuevas especies más prósperas en las condiciones que surgen a partir del cambio de vegetación y variables climáticas. La incidencia de las prácticas forestales o agrícolas suele alterar los parámetros de regeneración del bosque ya que esto altera condiciones esenciales para la vida de ciertas especies cambiando así la evolución natural del bosque (Pulido, 2002).

Para el estudio de la regeneración o sucesión ecológica en el bosque húmedo tropical de La Reserva Natural Hacienda San Pedro ubicada en la cuenca media del río Magdalena se definen cuatro estados sucesionales de crecimiento del bosque: SS1: sucesión en edad de 0-5 años, con área de 30 ha, presencia de pastos, escasa vegetación arbórea y donde predominó la actividad ganadera; SS2: sucesión en edad de 10-13 años con vegetación arbórea, con área de 50 ha, con presencia de helechos y dominio de especies heliófilas de rápido crecimiento, con suelo anteriormente usado en actividades agrícolas; SS3: sucesión con edad de 18-20 años, con área de 40ha, con algunos árboles de altura mayor a 30m y un dosel más cubierto, con presencia de epífitas y especies tolerantes a la sombra y con suelo antes usado en actividades ganaderas; SS4: sucesión avanzada con edad mayor a 50 años, con área de 180 ha, con grandes árboles y dosel cubierto, con pocos claros y presencia de epífitas y bromelias y con presencia de bosque anteriormente sometido a tala selectiva (Salas-Correa and Mancera-Rodríguez, 2018).

En esta reserva se realizó un levantamiento de datos por medio de 4 parcelas ubicadas según las condiciones topográficas y logísticas, donde se tuvieron en cuenta dos especies, la primera *Jacaranda Copaia* que es un árbol grande de hasta 35 m de altura que vive mejor a una altura de 0 a 1000 msnm, siendo este de tipo heliófita y una especie pionera en la regeneración de bosques (Tapia and Armas, 2014), de la cual se encontraron muy pocos individuos en todas las parcelas; y la segunda *Vismia Macrophylla*, árbol o arbusto característico de lugares en barbecho, enrastrados o áreas de pastos cercanas a bosques fragmentados, de tipo Heliófita (Lezama Ahumada *et al.*, 2019), puede llegar a medir hasta 12 m de altura, presente más comúnmente entre los 10 a 700 msnm (biovirtual, 2007). Con dichas especies se realizó una comparación entre los estados sucesionales de crecimiento, estados de vegetación y el cambio en la altura de estas dos especies en las diferentes parcelas por medio de los modelos Weibull y Michaelis Menten.

Las radiación que llega a un determinado lugar influye en numerosos procesos fisiológicos, reproductivos de plantas, y afecta de forma muy significativa el funcionamiento general del ecosistema. Los rasgos de la radiación que tienen relevancia ecológica y evolutiva son: la intensidad, la calidad, la direccionalidad, y la distribución en el tiempo y en el espacio. Además, la luz es el factor abiótico más variable en el tiempo y en el espacio, el análisis de esta variabilidad, así como sus causas y consecuencias, supone una de las mejores aproximaciones al estudio de la luz como un factor ecológico y evolutivo muy importante. (Valladares, 2006) Es por lo que mediante un análisis de porcentaje de radiación que pasa a través del dosel realizado con el software ImageJ por medio de fotos tomadas en medio del dosel dentro de las parcelas, se mostró la disminución en la disponibilidad de luz a medida que la regeneración del bosque es más

Table 1. Áreas de parcelas trabajadas

Parcela	Área (m2)	Figura geométrica	Dimensiones (m)	Sucesión
1	500	Circunferencia	$r = 12,62$	SS1
2	324	Cuadrado	18 x 18	SS3
3	450	Rectángulo	30 x 15	SS2
4	800	Rectángulo	40 x 20	SS1

avanzada, con esto se analizó el comportamiento en la cantidad de individuos encontrados en cada parcela de las especies mencionadas anteriormente según sus hábitos de crecimiento y el gremio ecológico a que pertenecen.

Con todo esto se espera responder cómo varía la altura de *Vismia Macrophylla* y *Jacaranda Copaia* a través de los diferentes estados de sucesión y categoría de vegetación en un bosque húmedo tropical de acuerdo con sus hábitos de crecimiento.

Materiales y métodos

Localización y descripción del área de estudio. La Reserva Natural Hacienda San Pedro tiene carácter privado, con una extensión total de 300ha y predominio de áreas con bosque secundario en regeneración natural. Se encuentra ubicada en la cuenca media del río Magdalena, junto al río Nus ($6^{\circ}27'35''N$, $74^{\circ}47'15''W$), en el Municipio de Maceo, Departamento de Antioquia, Colombia **Fig.1**. Tiene una temperatura media de $23,8^{\circ}C$, una humedad relativa del 87% y una precipitación media anual de 2.757mm, para la estación meteorológica Caracolí (2308053 - Red Hidrometeorológica de Empresas Públicas de Medellín ~EE.PPM-). Se encuentra en zona de Bosque Húmedo Premontano (*bh - P*) y Bosque Húmedo Tropical (*bh - T*), en un rango altitudinal de 800 a 1.100m s.n.m.

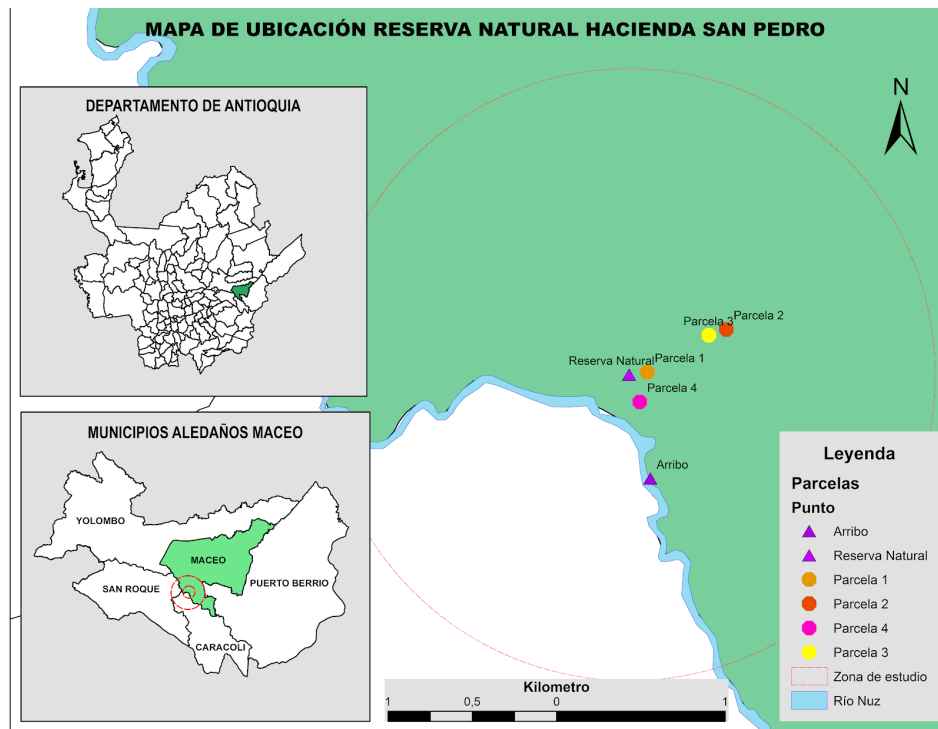


Fig. 1. Reserva Natural Hacienda San Pedro

El desarrollo del presente trabajo se dio en dos etapas las cuales se describen a continuación:

1) Levantamiento de información. Para la recolección de la información se procedió a establecer áreas determinadas para cada parcela estudiada de acuerdo con condiciones como la topografía y logísticas que permitieran el desarrollo del trabajo. Se centró la recolección de la información en especies de plantas comunes en las diferentes parcelas; para el caso del presente análisis se trabajaron las especies *Vismia Macrophylla* y *Jacaranda Copaia*. Las áreas de las parcelas y especificaciones se relacionan en la **Table 1**

Una vez establecidas las parcelas se procedió a recolectar la información de las correspondientes especies, para esto se realizó una categorización de estas en tres tamaños los cuales fueron Brinzales, Latizales y Fustales; dicha descripción se presenta en la **Table 2**

Posterior al montaje de cada una de las parcelas se procedió a medir la altura (*m*) y el diámetro a la altura del pecho *DAP* (*cm*) de las especies que se estudiaron. Para el registro de los datos se utilizó la App *Memento* en la cual se tuvo en cuenta la corrección por pendiente para el caso de la categoría de fustales, en latizales no se hizo corrección por pendiente y para brinzales se realizó la respectiva

Table 2. Categorías de especies

Categoría vegetación	Tamaño DAP (cm)	Altura (m)
Brinzales	<5	1 - 1,5
Latizales	5-10	NA
Fustales	>10	NA

medición con la cinta métrica. En cada una de las parcelas se observaron características bióticas y abióticas como fueron vegetación dominante, cobertura, características del sustrato, topografía y perturbaciones (antrópicas o naturales).

Otro de los aspectos que se tomó en cuenta en la recolección de los datos fue la fotografía bajo el dosel de cada una de las parcelas con el objetivo de realizar la respectiva caracterización de radiación que pasa a través del sotobosque y entender la relación que tiene con el estado de sucesión de las parcelas. También, se tomaron dichas fotografías para observar la relación que guarda la radiación con los hábitos de crecimiento de las especies que se analizaron.

2) Procesamiento de los datos recolectados.

a) Ajuste del modelo Se ajustó un modelo que describiera la altura en función del DAP. El modelo biológicamente correcto presenta comúnmente una forma sigmoidea con un punto de inflexión en la parte inferior de los datos o bien forma cóncava sin punto de inflexión aparente (Huang *et al.*, 1992), esto sugiere modelos no lineales que ajusten el comportamiento esperado; por experiencia se sabe que hay modelos alométricos que describen lo ya mencionado, es el caso del modelo Weibull y Michaelis Menten, estos se escogieron para el ajuste, pues son funciones que siguen la ontogenia natural. Para hacerlos, se tuvo que ordenar los datos, algunos de estos no eran lógicos, se encontró DAP del orden de 2cm o menos con alturas de 96m lo cual no es posible, se halló que todos los datos no superan 50m de altura, excepto algunos con el problema descrito, se hace un filtro de Altura < 50m, con esto, se ajustan los modelos para las dos especies en cuestión.

b) Procesamiento de fotografías del dosel El dosel influye en la cantidad de radiación del bosque dependiendo de la incidencia directa o indirecta que llegue al ecosistema. La penetración de la radiación depende de la localización, del tamaño, la arquitectura y altura del dosel. La radiación lumínica disponible se estimó mediante fotografías realizadas en campo, las imágenes se procesaron con el software imagenJ. Este programa convierte las fotos en imágenes binarias de blancos y negros Fig.2, de esta manera se puede obtener el porcentaje blancos en cada fotografía asumiendo este como el porcentaje de radiación que atraviesa el dosel Table 3.

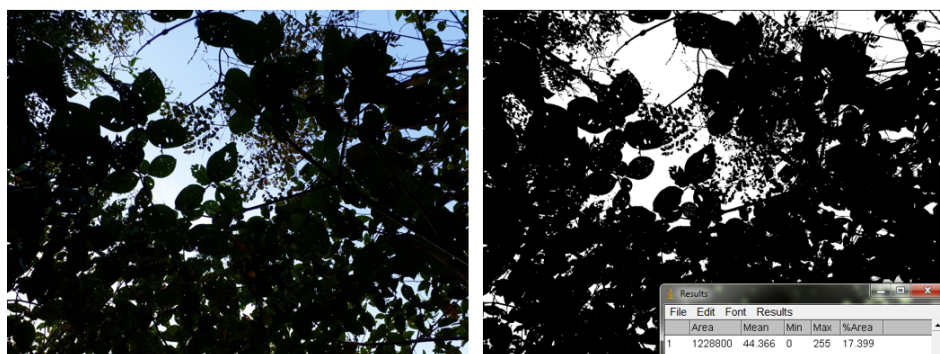


Fig. 2. Conversión de imágenes a blancos y negros

Resultados y Discusión

En la Fig.3 se muestra el modelo escogido (Michaelis Menten), el modelo Weibull a pesar de tener un *RSE* de 2.67 con un *AIC* de 873.76 frente al Michaelis Menten *RSE* de 2.70 con un *AIC* de 876.90, no se puede escoger como el mejor modelo pues gráficamente tiende disminuir la altura a medida que aumenta el DAP > 25cm lo cual no tiene sentido, lo normal sería una tendencia asintótica a medida que aumenta el DAP; por esta razón se elige al modelo de Michaelis Menten como el que ajusta mejor a los datos, pues sigue la tendencia natural para representar la variación de la altura con respecto al estado de sucesión relacionado con cada parcela. El ajuste “predice” de buena manera el comportamiento del sitio, pues muestra cómo las categorías de vegetación (brinzales y latizales) tienen una pendiente de la recta tangente mayor, lo cual se puede interpretar como la tasa de cambio de la altura en función del DAP es de esperarse que el crecimiento en etapas tempranas sea rápido, (Lasky *et al.*, 2014) informaron tendencias de crecimiento-diversidad más fuertes y positivas durante la sucesión temprana, seguidas de tendencias de crecimiento-diversidad débiles y negativas en rodales más antiguos, es decir, que a una edad temprana y por ende una sucesión primaria donde es común encontrar brinzales y algunos latizales, la tasa de cambio de la altura será mayor que en otros estados, esto puede ser causa de que el crecimiento es producto de diversos factores bióticos y abióticos que interactúan sobre un árbol y sobre el bosque (Salas *et al.*, 2016). Hay diversos factores que influyen en el crecimiento de los árboles en este estudio, sólo se esboza someramente el efecto de la luz.

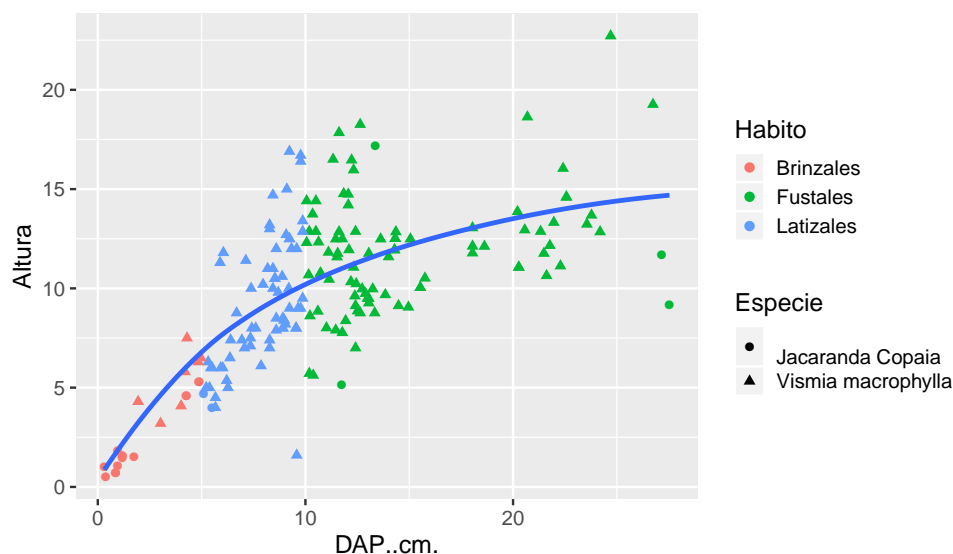


Fig. 3. Modelo Michaelis Menten especie-habito

Table 3. Porcentaje de radiación que atraviesa el dosel

Parcela	Sucesión	%R que atraviesa dosel	%R que No atraviesa dosel
1	SS1	17.4	82.6
2	SS3	8.92	91, 08
3	SS2	17, 15	82, 85
4	SS1	17, 38	82, 62

Los diferentes estados de sucesión del bosque que presenta cada parcela con sus condiciones de sitio (suelo y clima) mostraron que *Jacaranda Copaia* esté presente en mayor cantidad en la parcela 3 con un estado de sucesión SS2 y ausente en la parcela 1 con estado de sucesión SS1 donde por la escasa vegetación arbórea hay mayor disponibilidad de luz y así las especies heliófilas como *Jacaranda Copaia* deberían ser más prósperas, aunque es necesario aclarar que varios individuos de esta especie podrían no ser representados en la toma de datos de la parcela 1, lo que no sucede en la parcela 4 que también tiene un estado de sucesión SS1 y si cuenta con individuos de dicha especie, esto se puede otorgar a que *Jacaranda Copaia* es una especie heliófita y pionera en la regeneración de bosques (Tapia and Armas, 2014), por lo mismo se explica que esté presente en mayor cantidad en la parcela 3 con estado de sucesión SS2 donde dominan la especies heliófitas de rápido crecimiento gracias al gran porcentaje de radiación que atraviesa el dosel (Table 3).

De acuerdo con la Fig.3 se puede evidenciar la poca cantidad de individuos de *Jacaranda Copaia* en comparación con la especie *Vismia Macrophylla* que se encuentra en todas las parcelas y en mayor cantidad. La Reserva Natural Hacienda San Pedro, tiene predominio de áreas con bosque secundario en regeneración natural (Salas-Correa and Mancera-Rodríguez, 2018), esto se demuestra mediante la cantidad de individuos que se encuentran de *Vismia Macrophylla* en la mayoría de sus parcelas. Además, el sitio históricamente ha tenido intervenciones agrícolas de ganadería y café, por lo cual es de esperarse este tipo de vegetación predominante, esto podría explicarse por que el uso de la tierra de alta intensidad puede reducir en gran medida la capacidad de recuperación de los ecosistemas al empobrecer el banco de semillas del suelo, agotar los nutrientes para el ciclado y compactar el suelo, así como al aumentar la distancia de los bosques maduros que son las principales fuentes de diversidad (Grubb, 1977; Hooper et al., 2004; Pickett et al., 1987), así mismo, la tierra sometida a sucesivos sucesos de incendios a menudo engendra bosques secundarios dominados por las especies pioneras del género *Vismia* (Hypericaceae) (Jakovac et al., 2014)

Para mostrar el número de individuos por hectárea de las dos especies estudiadas se presenta Fig.4, en la cual se evidencia que *Vismia Macrophylla* presenta una mayor cantidad de individuos en la categoría de latizales y fustales, es decir, con DAP mayores a 5 cm, para todas las parcelas. Por otro lado, se observa que *Jacaranda Copaia* presenta la mayor cantidad de individuos con un DAP menor a 5 cm (categoría brinzales). Para el caso de la parcela 2, se observa que si bien *Jacaranda Copaia* alcanza una baja cantidad de individuos en la categoría de fustales (DAP mayores a 10 cm), es decir árboles antiguos, con esto es suficiente para dispersar semillas y obtener de esta manera en la categoría de brinzales (DAP menores a 5 cm) árboles jóvenes, un buen número de individuos por hectárea para esta especie, lo que vendría siendo la regeneración del bosque en dicha parcela; lo mismo ocurren en la parcela 3 donde se tiene una menor cantidad de individuos en las categorías latizales y fustales y gran cantidad en la categoría de Brinzales para dicha especie. Otro de los aspectos a considerar es que en la parcela 2 se presenta el mayor estado de sucesión (SS3), en la categoría de latizales no hay presencia de *Jacaranda Copaia*; esto se ve reflejado en los pocos individuos que dominan el dosel de dicha especie y su regeneración, es decir mayor cantidad en la categoría de Brinzales.

Con respecto a *Vismia Macrophylla* se pueden hacer algunas apreciaciones relacionadas con las parcelas 1 y 4. Como se ha mencionado anteriormente, este género es uno de los pioneros en la regeneración de un bosque, esto se ve reflejado en estas dos parcelas las cuales presentan la mayoría de individuos asociados a esta especie (salvo categoría brinzales para parcela 4); una de las posibles razones para

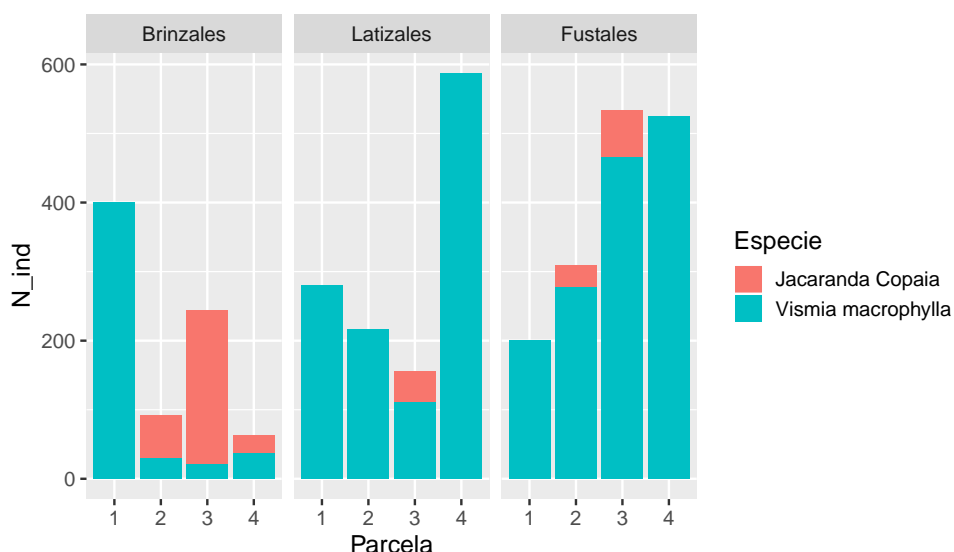


Fig. 4. Relación número de individuos (Ha) y categoría de vegetación por parcela

esta salvedad es que si bien las parcelas 1 y 4 se clasificaron bajo el mismo estado de sucesión(SS1), la parcela 1 tenía un uso para la ganadería un poco más reciente comparado con la parcela 4, lo que puede estar relacionado con que al tener más perturbación en esta parcela no es posible la adaptación inicial de *Jacaranda Copaia*. Además podría estar relacionado con el sitio de muestreo de la parcela 1, debido a que estaba ubicada en una zona en límite con el uso agropecuario, ya que podría imposibilitar la llegada de semillas de *Jacaranda Copaia* para su colonización, esto se puede presentar por un efecto de borde para dicha parcela.

La forma y la disposición del dosel en las diferentes parcelas y sus respectivos estados de sucesión dieron lugar a dos grupos de formaciones significativas sobre la radiación disponible en el bosque. El primero de ellos comprende las parcelas 1,3 y 4 que pertenecen a los estados de sucesión SS1, SS2 Y SS1 respectivamente donde en las parcelas 1 y 4 se puede encontrar presencia de pastos y escasa vegetación arbórea, la parcela 3 cuenta con vegetación arbórea, con presencia de helechos y especies heliófilas de rápido crecimiento. Es por eso que en este primer grupo, la radiación incidente fue en promedio de 17% (Table 3) de radiación disponible, esto puede presentarse por una baja densidad y tamaño en las copas de los árboles(Plateros-Gastélum *et al.*, 2018) lo que permite el paso de una mayor cantidad de luz al sotobosque. Por otro lado en la parcela 2 perteneciente al estado de sucesión SS3 la radiación disponible no superó el 8% (Table 3) debido a que en este estado de regeneración se pueden encontrar algunos árboles de altura mayor a 30m es por esto que el dosel esta mas cerrado y no permite un gran ingreso de radiación al interior del bosque, lo que genera influencia en los procesos fisiológicos, morfológicos y reproductivos de los organismos presentes bajo el dosel, favorecido así a plantas epifitas y especies tolerantes a la sombra (Plateros-Gastélum *et al.*, 2018). Por estos motivos se puede explicar la ausencia de *Jacaranda Copaia* en esta parcela para la categoría de Latizales (Fig.2).

Otra de las características importantes para la parcela 2 es que al presentar unas copas más cerradas en sus árboles se dan procesos de acumulación de materia orgánica en forma de hojarasca lo cual permitirá que en dicho estado de sucesión se mejoren las condiciones de disponibilidad de nutrientes en el suelo, aumente la riqueza del banco de semillas y se mejoren las condiciones de regeneración para la consolidación del bosque. Caso contrario, ocurre con las parcelas 1, 3 y 4, que si bien presentan estados de sucesión diferentes tiene la característica que no alcanzan ese cierre de copas necesario para empezar a acumular materia orgánica por medio de la hojarasca y por este motivo presentan especies que realizan un ciclado de nutrientes muy eficiente para presentar un crecimiento más rápido en comparación con las especies que ya están establecidas en la parcela 2 la cual se explica en el modelo presentado.

Conclusiones

A mayor estado de sucesión del bosque menor es la cantidad de luz disponible bajo el dosel y por ende menor la regeneración de plantas Heliófilas.

El uso y actividades previas del suelo puede llegar a ser limitante en la regeneración de un bosque y colonización de ciertas especies (*Jacaranda Copaia*).

la poca disponibilidad de luz en el sotobosque dificulta el crecimiento de especies Heliófitas.

References

- biovirtual (2007). "COL000259536 - *Vismia macrophylla* Kunth - Hypericaceae." URL <http://www.biovirtual.unal.edu.co/es/colecciones/detail/610578/>.
- Grubb PJ (1977). "The maintenance of species-richness in plant communities: the importance of the regeneration niche." *Biological reviews*, **52**(1), 107–145.
- Hammer Ø, Harper DA, Ryan PD, *et al.* (2001). "PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis." *Palaeontologia electronica*, **4**(1), 9.
- Hooper ER, Legendre P, Condit R (2004). "Factors affecting community composition of forest regeneration in deforested, abandoned land in Panama." *Ecology*, **85**(12), 3313–3326.

- Huang S, Titus SJ, Wiens DP (1992). "Comparison of nonlinear height–diameter functions for major Alberta tree species." *Canadian Journal of Forest Research*, **22**(9), 1297–1304.
- Jakovac AC, Bentos TV, Mesquita RC, Williamson GB (2014). "Age and light effects on seedling growth in two alternative secondary successions in central Amazonia." *Plant Ecology & Diversity*, **7**(1-2), 349–358.
- Lasky JR, Uriarte M, Boukili VK, Erickson DL, John Kress W, Chazdon RL (2014). "The relationship between tree biodiversity and biomass dynamics changes with tropical forest succession." *Ecology letters*, **17**(9), 1158–1167.
- Lezama Ahumada K, *et al.* (2019). "Caracterización de la regeneración de bosques en tres ambientes contrastantes en el retorno, Guaviare-Colombia."
- Pickett S, Collins S, Armesto JJ (1987). "A hierarchical consideration of causes and mechanisms of succession." In *Theory and models in vegetation science*, pp. 109–114. Springer.
- Plateros-Gastélum PA, Reyes-Hernández VJ, Velázquez-Martínez A, Hernández-de la Rosa P, Campos-Ángeles GV (2018). "Disponibilidad de luz bajo dosel en rodales de *Abies religiosa*." *Madera y bosques*, **24**(3).
- Pulido FJ (2002). "Biología reproductiva y conservación: el caso de la regeneración de bosques templados y subtropicales de robles (*Quercus* spp.)." *Revista chilena de historia natural*, **75**(1), 5–15.
- Salas C, Gregoire TG, Craven DJ, Gilbert H (2016). "Forest growth modelling: the state of the art." *Bosque*, **37**(1), 3–12.
- Salas-Correa ÁD, Mancera-Rodríguez NJ (2018). "RELATIONSHIPS BETWEEN BIRD DIVERSITY AND VEGETATION STRUCTURE IN FOUR SECONDARY FOREST SUCCESSIONAL STAGES, ANTIOQUIA, COLOMBIA." *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, **21**(2), 519–529.
- Salas Correa ÁD, Mancera Rodríguez NJ, *et al.* (2018). "Relaciones entre la diversidad de aves y la estructura de vegetación en cuatro etapas sucesionales de bosque secundario, Antioquia, Colombia."
- Tapia W, Armas G (2014). "Estudio de la actividad antibacteriana y tóxica del kuiship (jacaranda copaia)." *La Granja*, **19**(1), 12–20.
- Valladares F (2006). "La disponibilidad de luz bajo el dosel de los bosques y matorrales ibéricos estimada mediante fotografía hemisférica." *Ecología*, **20**, 11–30.