

Artigo

Ronald Rangel<sup>ID</sup> · Juan López<sup>ID</sup> · Alicia Gómez<sup>ID</sup> · Leyda Perdomo<sup>ID</sup> · Marherir Pino<sup>ID</sup> · Yeritsa Rojas<sup>ID</sup> · Sinthya Osorio<sup>ID</sup> · Jonathan Lugo<sup>ID</sup> · Yonathan Torres · Pedro Salcedo<sup>ID</sup>

# Efecto de dos sistemas silviculturales sobre variables de estructura del dosel y de luz dentro del bosque universitario El Caimital, Barinas – Venezuela

Recibido: 10 outubro 2021 / Aceptado: 24 maio 2022  
© IBADER- Universidade de Santiago de Compostela 2022

**Resumen** Las fajas de enriquecimiento (FE) y el tropical shelterwood modificado (TS) son sistemas silviculturales que buscan aumentar la productividad en un bosque natural. Este estudio evaluó la incidencia de ambos sistemas sobre el índice de área foliar (IAF) dentro del bosque natural. Las evaluaciones se realizaron en el 2018

en cuatro áreas: a) la primera, 4 ha (fajas de enriquecimiento); b) la segunda, 4 ha (tropical shelterwood modificado); c) la tercera, 3 ha (bosque no intervenido - primario – testigo – sector (A)); d) la cuarta, 3 ha (bosque intervenido – secundario – sector (BSI)). El índice de área foliar (IAF) fue estimado mediante fotografías hemisféricas (FH), en parcelas con tratamientos (sistemas silviculturales) y testigos. Por un lado, el tratamiento silvicultural con menor promedio de IAF fue el tropical shelterwood modificado (TSM, con un IAF = 1,27) siendo el caso contrario para el bosque primario no intervenido (BPNI, con un IAF = 2,75). Por otro lado, los valores para el sistema fajas de enriquecimiento (FE) y bosque secundario intervenido (BSI) fueron (IAF = 1,49 y IAF = 2,23) respectivamente.

Ronald Rangel  
Profesor Agregado, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Escuela de Ingeniería Forestal. Universidad de Los Andes (ULA), Instituto Nacional para el Desarrollo Forestal (INDEFOR), Mérida, Venezuela.  
Tel: (+58) 416-4743854,  
Email: rangelronald794@gmail.com; limej23@gmail.com

Juan López  
PhD. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Escuela de Ingeniería Forestal. Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela

Alicia Gómez  
MSc. En Manejo de Cuencas. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Escuela de Ingeniería Forestal. Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela

Leyda Perdomo · Marherir Pino · Yeritsa Rojas · Sinthya Osorio · Jonathan Lugo · Yonathan Torres  
Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Escuela de Ingeniería Forestal. Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela

Pedro Salcedo  
Perito Forestal. Escuela Superior de Peritos Forestales. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Escuela de Ingeniería Forestal. Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela

**Palabras clave** Índice de área foliar, fajas de enriquecimiento (FE), tropical shelterwood modificado (TSM), El Caimital, Barinas – Venezuela.

**Effect of two silvicultural systems on variables of canopy structure and light within the university forest El Caimital, Barinas - Venezuela**

**Abstract** The enrichment strips and tropical shelterwood silvicultural modified systems that seek to increase the productivity of the forest. This study evaluated the effect of enrichment strips and tropical shelterwood modified on the leaf area index (LAI) in the forest. We evaluated 2018, in four areas: a) first, in 4 hectares (enrichment strips); b) second, in 4 hectares (tropical shelterwood modified); c) third, 3 hectares (non-intervened primary forest – witness in sector (A)); d) fourth, 3 hectares (secondary intervened forest in sector). LAI was estimated using digital hemispherical photography in treated and control plots. On the one hand, the silvicultural treatment with the lowest LAI average was tropical shelterwood modified (LAI = 1,27), being the opposite case on non-intervened primary forest (LAI = 2,75). On the other hand, the values for enrichment strips and secondary intervened forest were (LAI = 1,49 and LAI = 2,23) respectively.

**Key words** leaf area index, enrichment strips, tropical shelterwood modified, El Caimital, Barinas – Venezuela.

<https://doi.org/10.15304/rr.id8523>



## Introducción

Venezuela cuenta con 91.2 millones ha de bosques naturales de los cuales 13 millones han sido dedicados al aprovechamiento forestal (FAO, 1997; Lozada *et al.*, 2003). Gran parte de este aprovechamiento se desarrolló en los Llanos Occidentales del país, lo que aunado al desconocimiento de las especies aprovechadas como: la distribución diamétrica, la regeneración natural y eliminación de posibles árboles porta granos causo casi la extinción de algunas especies forestales (Veillon 1971; Corredor, 2001).

Para abordar esta problemática se desarrollaron una serie de ensayos con diferentes sistemas silviculturales en el Bosque Universitario El Caimital (BUEC), buscando así recuperar o mantener la superficie forestal y su valor económico, reduciendo a su vez las perturbaciones inherentes a otras técnicas y resguardando la diversidad biológica, minimizando los espacios sometidos a explotación intensiva (Pino *et al.*, 2021).

Las fajas de enriquecimiento (FE) y el tropical shelterwood modificado (TSM) forman parte de una serie de sistemas silviculturales que buscan aumentar la productividad de los bosques. Estudios realizados por (Lozada *et al.*, 2003; Osorio *et al.*, 2019; Pino *et al.*, 2021), reflejan que estos sistemas generan cambios en la estructura, dinámica, composición y cobertura del bosque donde son implementados. Como consecuencia de estos cambios, el Índice de Área Foliar (IAF) se ve a su vez modificado.

Pino *et al.*, 2021, reportan dentro de un sector del bosque universitario El Caimital (BUEC), Barinas-Venezuela, donde se estableció el sistema fajas de enriquecimiento una disminución en el número de especies (45), y los promedios en: riqueza (31) y abundancia de individuos arbóreos/ha (219) en el bosque intervenido (fajas de enriquecimiento) contra (49) especies, riqueza (33) y (238) individuos arbóreos/ha en el bosque no intervenido (testigo).

Osorio *et al.*, 2019, dentro del mismo bosque y evaluando el sistema tropical shelterwood modificado de igual forma encontró una disminución en el número de especies (38) para el bosque intervenido (tropical shelterwood modificado), siendo el caso contrario para los promedios de: riqueza (34) y abundancia de individuos arbóreos/ha (279), contra (47) especies, una riqueza (31) y (210) individuos arbóreos/ha en el bosque no intervenido (testigo).

Las fajas de enriquecimiento, consisten en un sistema donde son plantados árboles de especies comerciales dentro del bosque, eliminando otras especies de bajo interés comercial buscando así minimizar la competencia (Lamprecht, 1990; Corredor, 2001) y evitando el efecto túnel que es creado por las especies adyacentes a dichas fajas (Lozada *et al.*, 2003). Este sistema es adecuado para bosques sobre-explotados y con baja regeneración natural de las especies comerciales (Korpelainen *et al.*, 1995; Montagnini *et al.*, 1997).

El sistema tropical shelterwood modificado, busca estimular el establecimiento de la regeneración natural y el desarrollo de los brinzales ya establecidos de las especies valiosas

(Finol, 1963). La intervención de un bosque natural con diferentes sistemas silviculturales influye en las características del mismo (estructura composición) las cuales se ven modificadas. Para describir y estimar estos cambios uno de los métodos no destructivos más utilizados es el IAF. El cual se define como las unidades de superficie de hoja verde por unidad de superficie del terreno, se puede reportar como total o proyectada (Myneni *et al.*, 2002), funciona como un indicador de la producción de un bosque (Papamija-Muñoz & García-Solórzano, 2012). Este índice está relacionado con múltiples variables fisiológicas y de crecimiento de especies arbóreas (Valverde & Arias, 2020), siendo a su vez usado para describir la respuesta de los árboles a la aplicación de prácticas silvícolas (Hernández *et al.*, 2021). Las medidas directas del IAF son técnicas destructivas (tala de árboles) que requieren la destrucción completa de la muestra objeto de estudio y se desarrollan en laboratorios como el planímetro (mediciones de las hojas) y gravimétrico (peso de las hojas) (Jonckheere *et al.*, 2004), muy difíciles de realizar y por lo general no permiten realizar un muestreo exhaustivo del dosel, por ende se han creado fotografías hemisféricas digitales (FH, medida indirecta) para estimaciones del IAF (Zhang *et al.*, 2005), que surge como una alternativa eficiente para la medición de dicho índice (Chen *et al.*, 2018).

Los métodos indirectos utilizan correlaciones entre transmitancia (proporción de luz que alcanza el interior del bosque en un punto respecto a aquella medida al mismo tiempo exterior) y la cobertura del dosel, el área basal, la fracción de claros en el dosel y otros parámetros de rodal. Estos permiten hacer un muestreo simple en múltiples puntos y estimar con bastante precisión el ambiente lumínico en el interior del bosque (Promis & Cruz, 2009).

Las técnicas de estimación indirecta del IAF, se fundamenta en que el follaje del bosque se supone esta distribuido al azar y el dosel es homogéneo, aunque el follaje en las direcciones horizontal y vertical no está distribuido al azar, debido a que su distribución responde a las condiciones de luz ofrecidas en el bosque (Chazdon, 1988). De los métodos indirectos que estiman el IAF, se encuentran las fotografías hemisféricas (FH) tomadas con lentes tipos "ojos de pescado" (Velasco *et al.*, 2010). Esta técnica con el apoyo del software Gap Light Analyzer (GLA) permite obtener dicho índice sin eliminar el árbol (Jonckheere *et al.*, 2004). El procesamiento y análisis de las FH a través del software especializado, comprende la transformación de la posición de cada pixel en coordenadas angulares, la discriminación entre pixeles sin obstrucción (cielo) y obstruidos (vegetación) y el computo de la distribución de brillo del cielo (Plateros-Gastélum *et al.*, 2018). La FH, es una propuesta que permite la estimación del IAF, para estudios tanto de arquitectura de la canopia como de la transmisión de la radiación solar en las cubiertas forestales (Zhang *et al.*, 2005).

Mediante la evaluación de los diferentes sistemas silviculturales a través del análisis exploratorio y estimación de variables de estructura del dosel y de luz se aspira encontrar características similares al Bosque Primario No Intervenido (BPNI). Lo que implicaría favorecer la supervivencia de árboles en su estado juvenil a través de su

aclimatación y aprovechamiento de la disponibilidad de luz directa y difusa en el sotobosque.

Se analizó la incidencia de cuatro tratamientos: a) fajas de enriquecimiento (FE); b) tropical shelterwood modificado (TSM); c) bosque primario no intervenido (BPNI); d) bosque secundario intervenido (BSI), sobre el cambio variables de estructura del dosel y de luz como: a) índice de área foliar (IAF); b) porcentaje de dosel abierto (% DA); c) porcentaje de luz directa transmitida (% TDIR): proporción de luz directa transmitida través del dosel con respecto a la radiación directa recibida por encima del dosel; d) porcentaje de luz difusa transmitida (% TDIF): proporción de luz difusa transmitida través del dosel con respecto a la radiación difusa recibida por encima del dosel, en un bosque natural mediante el método indirecto (no destructivo) basado en la técnica de las FH.

## Materiales y Métodos

### Área de estudio

El área de estudio está ubicada al Noreste del estado Barinas (Figura 1), municipio Obispos, Venezuela (8°11'00" y los 8°11'59" latitud norte; Montilla & Rivas, 1987). Según la clasificación climática de Pittier el bosque corresponde a un "Bosque Tropófito Macrotérmico" y según Holdridge "Bosque Seco Tropical de Transición a Húmedo" (Ewel *et al.*, 1969), presenta un clima tropical (Awui). Con un promedio en precipitación y temperatura de 1317 mm y 18° C respectivamente (González, 2011; Ramírez *et al.*, 1997). El área está ubicada a 200 msnm con pendientes que no exceden el 3% (Montilla & Rivas, 1987). Los suelos son de origen aluvial caracterizados por un pH (5,5-7,1) (Moncada *et al.*, 1987). El bosque presente tres estratos bien marcados (5-15 m, 15-25 m y 25-35 m; Veillon 1997). Dentro de sus especies características se encuentran *Attalea butyraceae*, *Calycophyllum candidissimum*, *Fissicalyx fendleri*, *Guazuma ulmifolia*, *Inga* sp., *Luehea cymulosa*, *Piper* sp., *Pochota fendleri*, *Piratinera* sp., *Trophis racemosa*, *Triplaris caracasana* (Rangel *et al.*, 2021; Osorio *et al.*, 2019; Moret *et al.*, 2010; Lamprecht, 1964).

### Caracterización dasométrica de los tratamientos evaluados

En la Tabla 1, se observan los valores promedios para las diferentes UM levantadas por tratamientos, siendo para: a) las FE, se levantaron 3 UM de 1 ha c/u con densidades entre 187-261 arb/ha, una altura entre 15,25-16,48 m, un área basal entre 17,09-21,73 m<sup>2</sup> y un diámetro medio entre 28,11-30,78 cm (Pino *et al.* 2021) b) el TSM, se levantaron 3 UM de 1 ha c/u con densidades entre 235-310 arb/ha, una altura entre 12,37-14,64 m, un área basal entre 17,66-26,45 m<sup>2</sup> y un diámetro medio entre 23,99-28,01 cm (Osorio *et al.*, 2019) c) en BPNI, se levantaron 3 UM de 1 ha c/u con densidades entre 217-226 arb/ha, una altura entre 9,91-15,04 m, un área basal entre 16,31-18,63 m<sup>2</sup> y un diámetro

medio entre 21,4-27,88 cm (Rangel *et al.*, 2021) d) en BSI, se levantaron 4 UM de 0,75 ha c/u con densidades entre 368-615 arb/ha, una altura entre 11,16-12,60 m, un área basal entre 13,62-30,40 m<sup>2</sup> y un diámetro medio entre 18,28-22,62 cm (Torres, 2018).

### Diseño y levantamiento de las parcelas

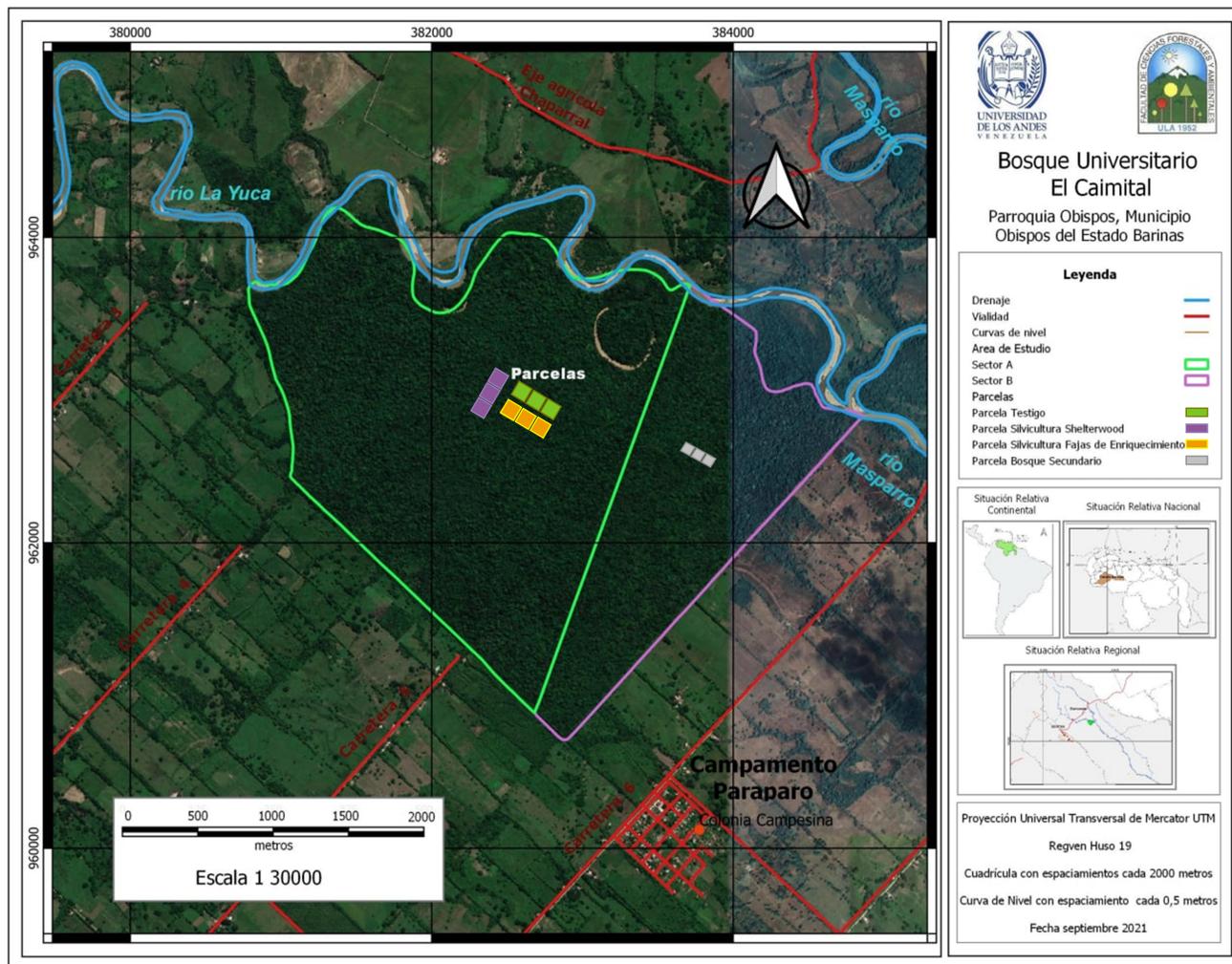
Para estudiar el efecto de los sistemas silviculturales sobre las diferentes variables de estructura del dosel y de luz (IAF, %DA, %TDIR y %TDIF), se establecieron parcelas en diferentes sitios del bosque (bosque primario no intervenido, bosque secundario intervenido, fajas de enriquecimiento y sistema silvicultural shelterwood modificado, Tabla 1). Para todos los sitios seleccionados del bosque se estableció un muestreo sistemático donde: a) en las fajas de enriquecimiento (FE) y tropical shelterwood modificado (TSM), cada uno establecido sobre un área de (4 ha) se trazaron tres (3) unidades muestréales (UM, por sistema) de 1 ha (con dimensiones de 100 x 130 m, estas a su vez divididas en 12 subparcelas con dimensiones de 33 x 33 m) y una zona buffer entre UM de 25 metros; b) para el bosque primario no intervenido (BPNI) se establecieron 3 UM de 1 ha (con dimensiones de 100 x 100 m, estas a su vez divididas en 16 subparcelas con dimensiones de 25 x 25 m) escogidas al azar y con un distanciamiento o zona buffer entre parcelas de 150 m; c) para el bosque secundario intervenido (BSI) se establecieron 4 UM de 0,75 ha (con dimensiones, 50 x 150 m, estas a su vez divididas en 3 subparcelas de 50 x 50 m) escogidas al azar y con una zona buffer entre UM de 150 m.

### Fotografías hemisféricas

Para la validación de las FH, se obtuvo de manera sistemática (tres fotografías por puntos de muestreo ubicadas en las balizas de orientación los cuales corresponden al número de subdivisiones realizadas en cada UM) de forma perpendicular al suelo a 1,50 m con la lente apuntando hacia las copas de los árboles (Quevedo *et al.*, 2016) siendo para: a) FE y TSM, 32 puntos de muestreo/ha a una equidistancia de 33 m; b) en BPNI, 41 puntos de muestreo/ha a una equidistancia de 25 m; c) en BSI, 20 puntos de muestreo/ha a una equidistancia de 25 m. Se utilizó una cámara Nikon COOLPIX P5000 de 10 megapíxeles provista de una lente hemisférica "Fisheye Converter" Nikon FC-E8. Las tomas de las FH, se realizaron al amanecer (5-6 am) y atardecer (4-6 pm) a fin de optimizar el contraste entre el follaje y el cielo, evitando así la hora cercana al cenit.

### Procesamiento y análisis digital de las fotografías hemisféricas

El procesamiento de las fotografías consistió: a) crear la base de datos; b) editar las fotografías con el programa GIMP (programa general para manipulación de imágenes) 2.8; c) obtener las estimaciones de variables de estructura



**Figura 1.-** Ubicación Relativa Nacional, Regional y Local, El Caimital, Barinas – Venezuela. Fuente: Elaboración propia  
**Figure 1.-** Relative National, Regional and Local Location, El Caimital, Barinas – Venezuela. Source: self made

Variables	FE1	FE2	FE3	TSM1	TSM2	TSM3	BPNI1	BPNI2	BPNI3	BSI1	BSI2	BSI3	BSI4	Fuentes
Área (ha)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,75	0,75	0,75	0,75	FE = Pino et al., 2021
Densidad (árbs/ha)	261	214	187	310	293	235	220	217	226	495	368	405	615	TSM = Osorio et al., 2019
Altura media (m)	16,48	15,25	15,74	13,48	12,37	14,64	15,04	9,91	11,75	11,51	11,16	11,76	12,60	BPNI = Rangel et al., 2021
Área basal (m2)	21,73	17,09	17,41	26,45	17,66	19,04	17,96	18,63	16,31	25,20	13,62	21,12	30,40	BSI = Torres, 2018
Dímetro medio (cm)	29,36	28,11	30,78	28,01	23,99	27,72	27,88	21,40	26,48	21,99	18,28	22,52	22,62	
IAF	1,55	1,56	<b>1,34*</b>	1,42	<b>1,60*</b>	1,27	<b>1,45*</b>	<b>2,75*</b>	<b>2,28*</b>	2,12	<b>2,29*</b>	2,06	2,16	
%DA	29,16	28,16	<b>32,72*</b>	31,33	<b>28,66*</b>	33,64	<b>30,30*</b>	12,95	15,38	19,61	<b>16,37*</b>	20,12	19,07	
%DIR	33,55	<b>27,91*</b>	<b>37,91*</b>	33,51	27,08	34,26	<b>39,47*</b>	15,31	17,16	23,92	22,90	27,26	27,19	
%DIF	<b>35,87*</b>	30,70	32,79	31,10	31,1	<b>36,13*</b>	<b>32,91*</b>	<b>11,90*</b>	<b>27,63*</b>	21,70	<b>18,08*</b>	23,12	21,26	

**Tabla 1.-** Caracterización dasométrica de los tratamientos evaluados (Fajas de enriquecimiento (FE); Tropical shelterwood modificado (TSM); Bosque primario no intervenido (BPNI); Bosque secundario intervenido (BSI)); y variables obtenidas (índice de área foliar (IAF), porcentaje de dosel abierto (%DA), porcentaje transmitido de luz directa (%DIR), porcentaje de luz difusa %DIF)), para el levantamiento de las fotografías hemisféricas (FH), El Caimital, Barinas – Venezuela. Nota: 1: Unidad de muestreo 1; 2: Unidad de muestreo 2; 3: Unidad de muestreo 3; 4: Unidad de muestreo 4; Diámetro medio o normal: diámetro del árbol medido a la altura de 1,30 m; \*Diferencias significativas

**Table 1.-** Dasometric characterization of the treatments evaluated (Enrichment strips (FE); Modified tropical shelterwood (TSM); Non-intervened primary forest (BPNI); Intervened secondary forest (BSI)); and variables obtained (leaf area index (LAI), percentage of open canopy (%DA), percentage of direct light transmitted (%DIR), percentage of diffuse light %DIF)). for the survey of hemispherical photographs (FH), El Caimital, Barinas – Venezuela. Note: 1: Sampling unit 1; 2: Sampling unit 2; 3: Sampling unit 3; 4: Sampling unit 4; Average or normal diameter: diameter of the tree measured at a height of 1.30 m; \*Significant differences

del dosel y de luz mediante el software Gap Light Analyzer 2.0 (GLA, Nobis & Hunziker, 2005) el cual se automatizo para analizar cada una de las fotografías hemisféricas que separa el área específica de la formación de la copa de los árboles; d) analizar las variables obtenidas: índice de área foliar (IAF), porcentaje de dosel abierto (%DA), porcentaje de luz directa transmitida (%TDIR) y porcentaje de luz difusa transmitida (%TDIF); e) determinar si existían diferencias entre las variables entre FE, TSM, BPNI, BSI; f) realizar análisis exploratorios de regresiones lineales con el programa R para las diferentes variables obtenidas: índice de área foliar (IAF), porcentaje de dosel abierto (%DA), porcentaje de luz directa transmitida (%TDIR) y porcentaje de luz difusa transmitida (%TDIF).

### Análisis estadísticos

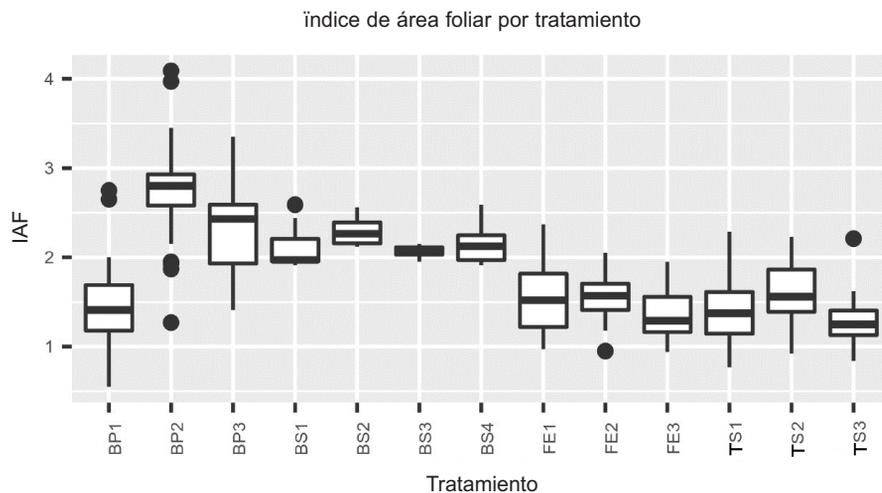
Se realizaron los siguientes análisis: a) mínimos, máximos, media, desviación estándar y valores perdidos de las variables cuantitativas por el método Box-Plot; b) análisis de varianza (ANOVA) y prueba Tukey a las variables: índice de área foliar (IAF), porcentaje de dosel abierto (%DA), porcentaje de luz directa transmitida (%TDIR), porcentaje de luz difusa transmitida (%TDIF); c) análisis exploratorio entre modelos (lineales y no lineales) para las diferentes variables; d) análisis de correlación (Pearson) de los promedios por tratamiento para valorar los grados de relación entre los índices estudiados.

## Resultados

Los valores del IAF (Figura 2) para los diferentes tratamientos evaluados, presentaron notorias variaciones. Los máximos y mínimos valores se encontraron en las UM del BPNI, siendo los máximos para las UM (BPNI2= 4,09 valor atípico y BPNI3= 3,35) y el caso contrario para la UM (BPNI1= 0,55). Se observó para las UM en: a) FE un rango de valores de 0,94-2,37; b) TSM en un rango de 0,77 - 2,29 ambos en la UM-TSM1; c) BSI en un rango de 1,91 - 2,59 ambos en la UM-BSI1.

En la interacción (Densidad arb/ha x IAF promedio) (Tabla 1), se evidencia que no son directamente proporcionales, con cierta semejanza en los resultados: a) la FE1 con 261 árboles presentó un IAF promedio (-0,01) comparada con la FE2 con 47 árboles menos y con valores de área basal, atura media, diámetro medio menores; b) la TSM1 con 310 árboles y presentó un IAF (-0,18) con respecto a la TSM2 con (-17 árboles) y valores de área basal, atura media, diámetro medio menores; c) para BPNI3 con (226 árboles) su IAF promedio (-0,47) con respecto a la BPNI2 que con 9 árboles con valores menores en altura y diámetro medio; d) en el BSI4 con 615 árboles presentó un IAF promedio (-0,13) con respecto a la BSI2 que con 247 árboles menos y con valores de área basal, atura media, diámetro medio menores.

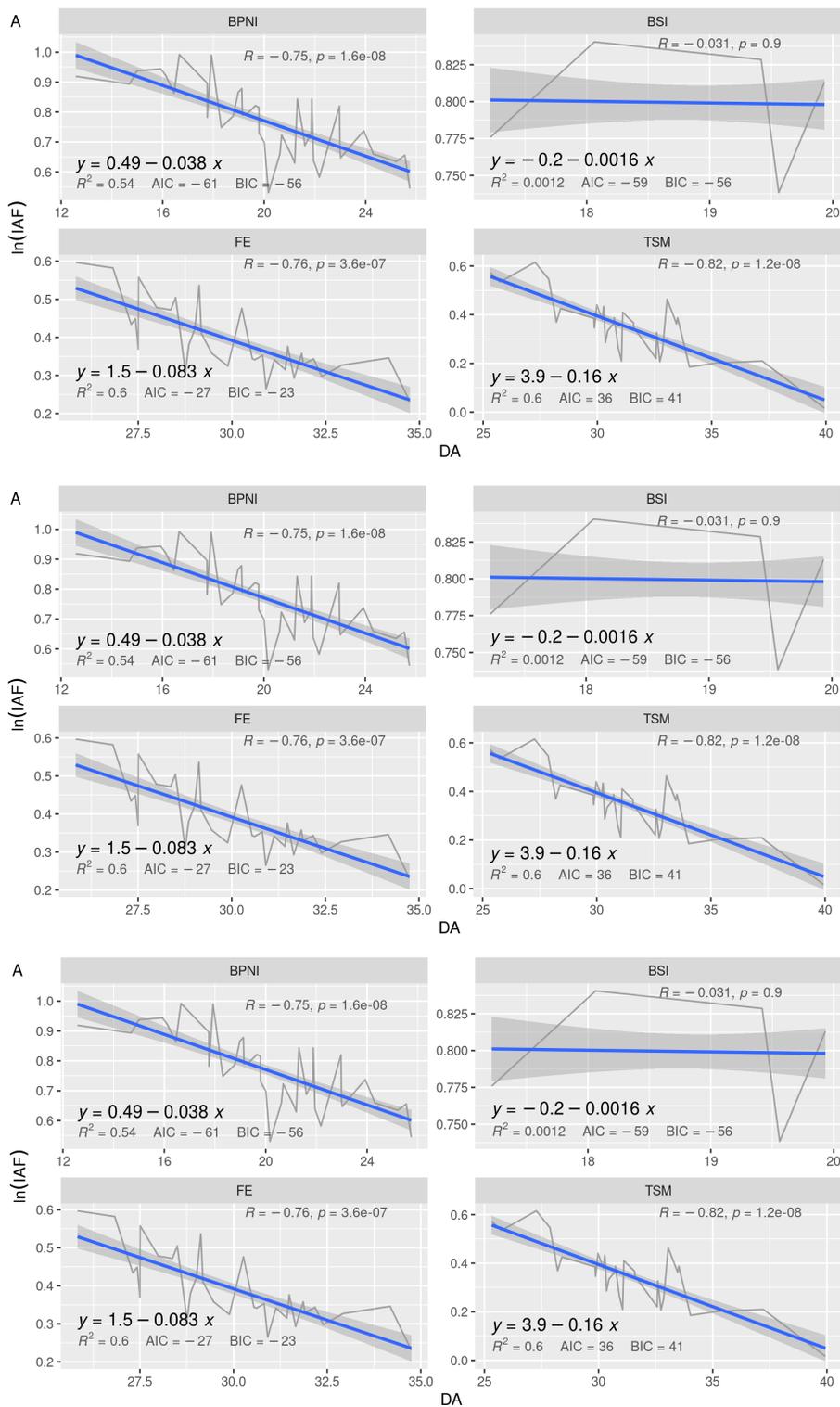
Las Figuras 3a-f, se presenta los modelos matemáticos utilizados para evaluar las correlaciones de las variables



**Figura 2.-** Variaciones del índice de área foliar (IAF), generado para los diferentes tratamientos: Fajas de enriquecimiento (FE), Tropical shelterwood modificado (TSM), Bosque primario no intervenido (BPNI), Bosque secundario intervenido (BSI). 1: Unidad de muestreo 1; 2: Unidad de muestreo 2; 3: Unidad de muestreo 3; 4: Unidad de muestreo 4  
**Figure 2.-** Variations of the leaf area index (LAI), generated for the different treatments: Enrichment strips (FE), modified Tropical shelterwood (TSM), non-intervened primary forest (BPNI), intervened secondary forest (BSI). 1: Sampling unit 1; 2: Sampling unit 2; 3: Sampling unit 3; 4: Sampling unit 4

obtenidas (IAF/%DA, IAF%/DIR y IAF%/DIF) respectivamente en donde se aprecian las correlaciones y la existencia de relaciones inversas entre las diferentes variables de estructura del dosel y de luz para todos los tratamientos evaluados (FE, TSM, BPNI y BSI), siendo: a)

en la correlación IAF/%DA (Figuras 3a-b) se observan valores de  $R^2$  (0,021-0,82). Se aprecia que las correlaciones tienen tendencia decreciente que aumenta el %DA en todos los tratamientos. El tratamiento que deja mayor similitud al comportamiento del BPNI ( $R^2 = 0,75$ -0,76) es el de FE ( $R^2 = 0,75$ -0,76) es el de FE ( $R^2 = 0,75$ -0,76)



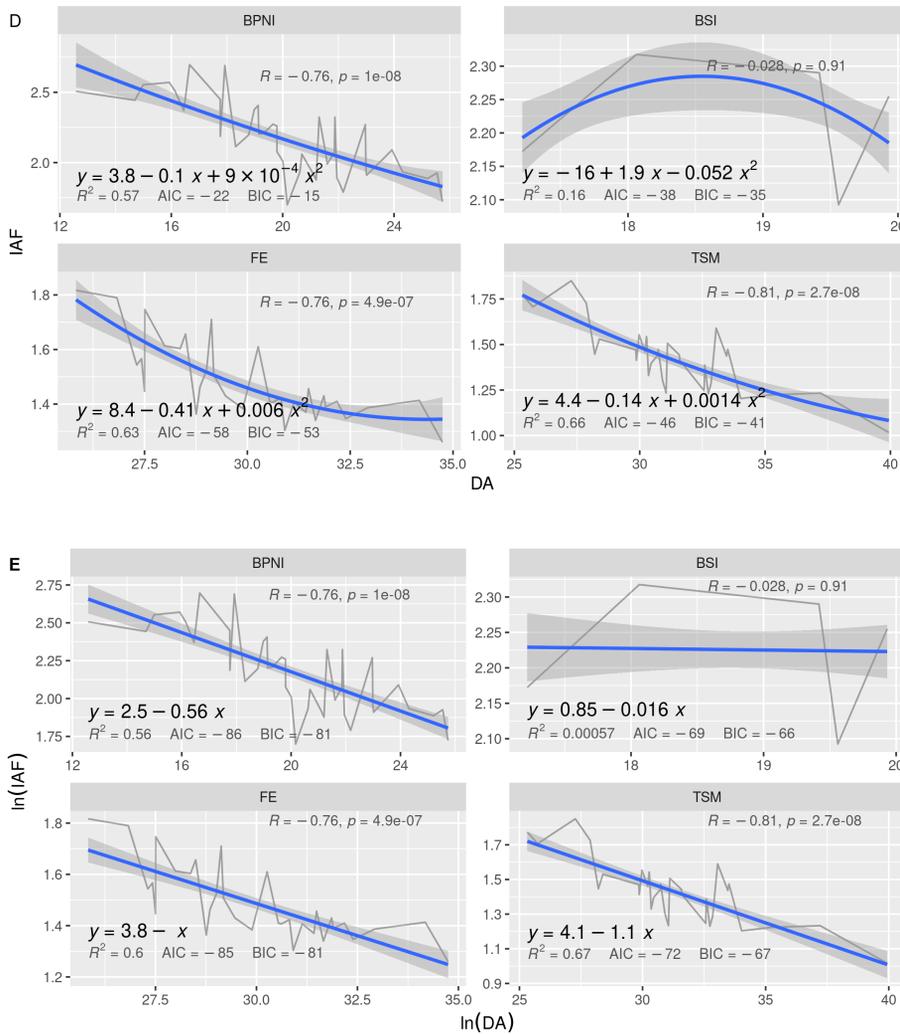
**Figura 3a.-** Efecto de los tratamientos (Fajas de enriquecimiento (FE); Tropical shelterwood modificado (TSM); Bosque primario no intervenido (BPNI); Bosque secundario intervenido (BSI)), sobre las variables de estructura del dosel y de luz (índice de área foliar (IAF), porcentaje de dosel abierto (%DA), (A) Exponencial, (B) Lineal y (C) Logarítmica dentro del bosque universitario El Caimital, Barinas-Venezuela

**Figure 3a.-** Effect of the treatments (Enrichment strips (FE); Modified tropical shelterwood (TSM); Non-intervened primary forest (BPNI); Intervened secondary forest (BSI)), on the variables of canopy structure and light (leaf area index (IAF), percentage of open canopy (%DA), (A) Exponential, (B) Linear and (C) Logarithmic within the El Caimital university forest, Barinas-Venezuela

= 0,76). Por un lado, el tratamiento TSM ( $R^2 = 0,81$ ) el que modifica en mayor proporción la respuesta del IAF a un patrón muy similar al lineal. Por otro lado, para el BSI ( $R^2 = 0,031$ ) con una correlación muy baja que indica la poca respuesta del IAF. b) en la correlación IAF/%DIF (Figuras 3c-d) se observan valores de  $R^2$  (0,012-0,92). Se aprecia que las correlaciones tienen tendencia decreciente que aumenta el %DIF en todos los tratamientos. Por un lado, los tratamientos TSM ( $R^2 = 0,92$ ) y FE ( $R^2 = 0,86$ -0,87) son los que modifican en mayor proporción la respuesta del IAF a un patrón muy similar al lineal. Por otro lado, para el BSI ( $R^2 = 0,012$ ) con una correlación muy baja que indica la poca respuesta del IAF. c) en la correlación IAF/%DIR (Figuras 3e-f) se observan valores de  $R^2$  (0,13-0,74). Se aprecia que las correlaciones tienen tendencia decreciente que aumenta el %DIR en todos los tratamientos. El tratamiento que deja mayor similitud al comportamiento del BPNI ( $R^2 = 0,29$ -

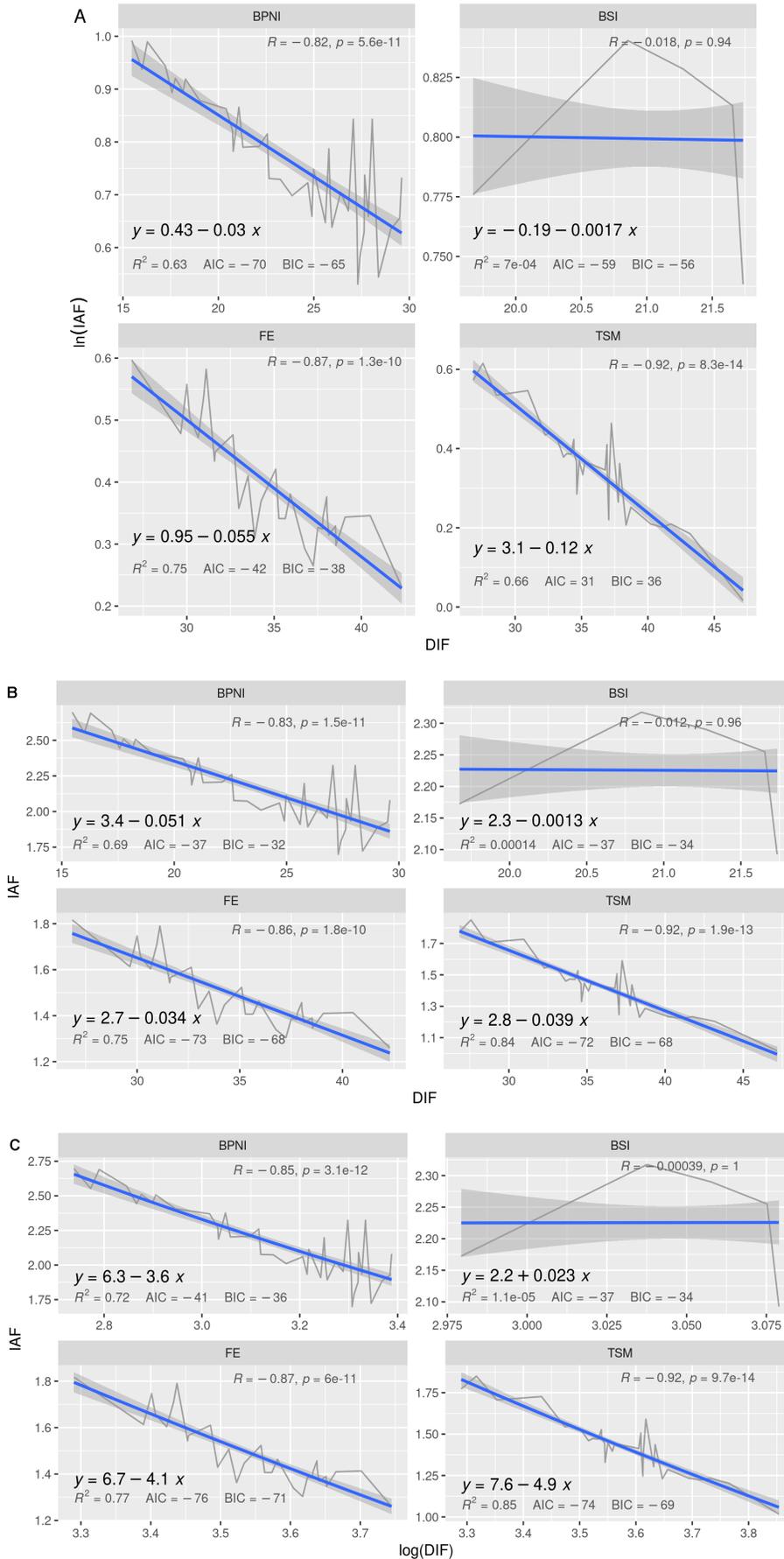
0,32). Por un lado, el tratamiento TSM ( $R^2 = 0,69$ -0,74) es el que modifica en mayor proporción la respuesta del IAF a un patrón muy similar al lineal. Por otro lado, para el BSI ( $R^2 = 0,00039$ ) con una correlación muy baja que indica la poca respuesta del IAF.

La Tabla 2, muestra los resultados obtenidos para el coeficiente de correlación de Pearson, los valores más bajos se presentan para BSI llegando incluso a ser muy cercanos a 0. Caso contrario ocurre para los valores obtenidos en FE y TSM donde todos sus valores son  $> 0,60$ , llegando en algunos casos a ser muy cercanos a 1 como lo son: -0,91 (IAF/%DIF) en TS y el mayor de los valores de toda la tabla 0,99 (%DA/%DIR) en FE. La mayor variabilidad entre sus valores se presenta en BPNI con un rango de -0,29 a 0,85.



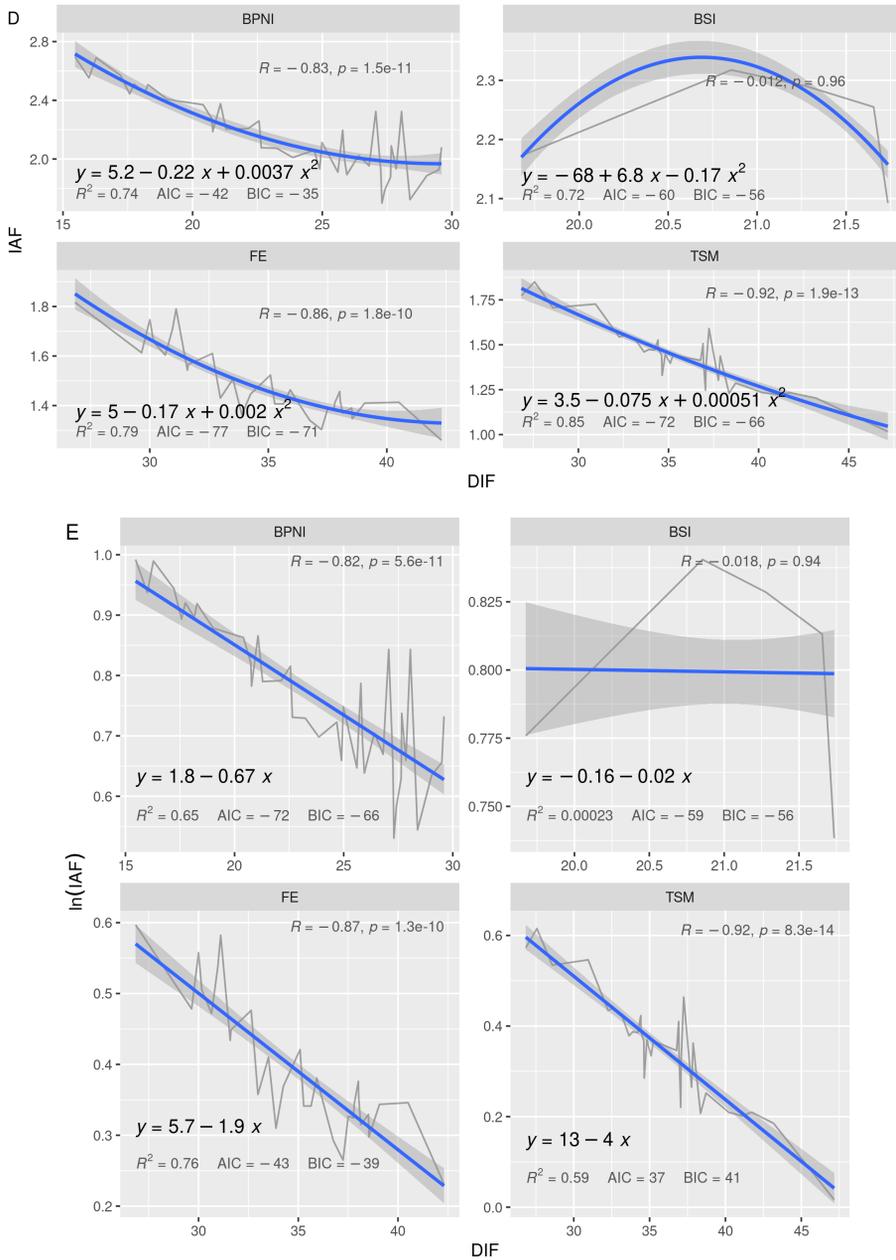
**Figura 3b.-** Efecto de los tratamientos (Fajas de enriquecimiento (FE); Tropical shelterwood modificado (TSM); Bosque primario no intervenido (BPNI); Bosque secundario intervenido (BSI)), sobre las variables de estructura del dosel y de luz (índice de área foliar (IAF), porcentaje de dosel abierto (%DA), (D) Polinomial y (E) Potencial dentro del bosque universitario El Caimital, Barinas-Venezuela

**Figure 3b.-** Effect of the treatments (Enrichment strips (FE); Modified tropical shelterwood (TSM); Non-intervened primary forest (BPNI); Intervened secondary forest (BSI)), on the variables of canopy structure and light (leaf area index (IAF), percentage of open canopy (%DA), (D) Polynomial and (E) Potential within the El Caimital university forest, Barinas-Venezuela



**Figura 3c.-** Efecto de los tratamientos (Fajas de enriquecimiento (FE); Tropical shelterwood modificado (TSM); Bosque primario no intervenido (BPNI); Bosque secundario intervenido (BSI)), sobre las variables de estructura del dosel y de luz (índice de área foliar (IAF), porcentaje de luz difusa %DIF), (A) Exponencial, (B) Lineal y (C) Logarítmica dentro del bosque universitario El Caimital, Barinas-Venezuela

**Figure 3c.-** Effect of the treatments (Enrichment strips (FE); Modified tropical shelterwood (TSM); Non-intervened primary forest (BPNI); Intervened secondary forest (BSI)), on the variables of canopy structure and light (leaf area index (IAF), percentage of diffuse light %DIF), (A) Exponential, (B) Linear and (C) Logarithmic within the university forest El Caimital, Barinas-Venezuela



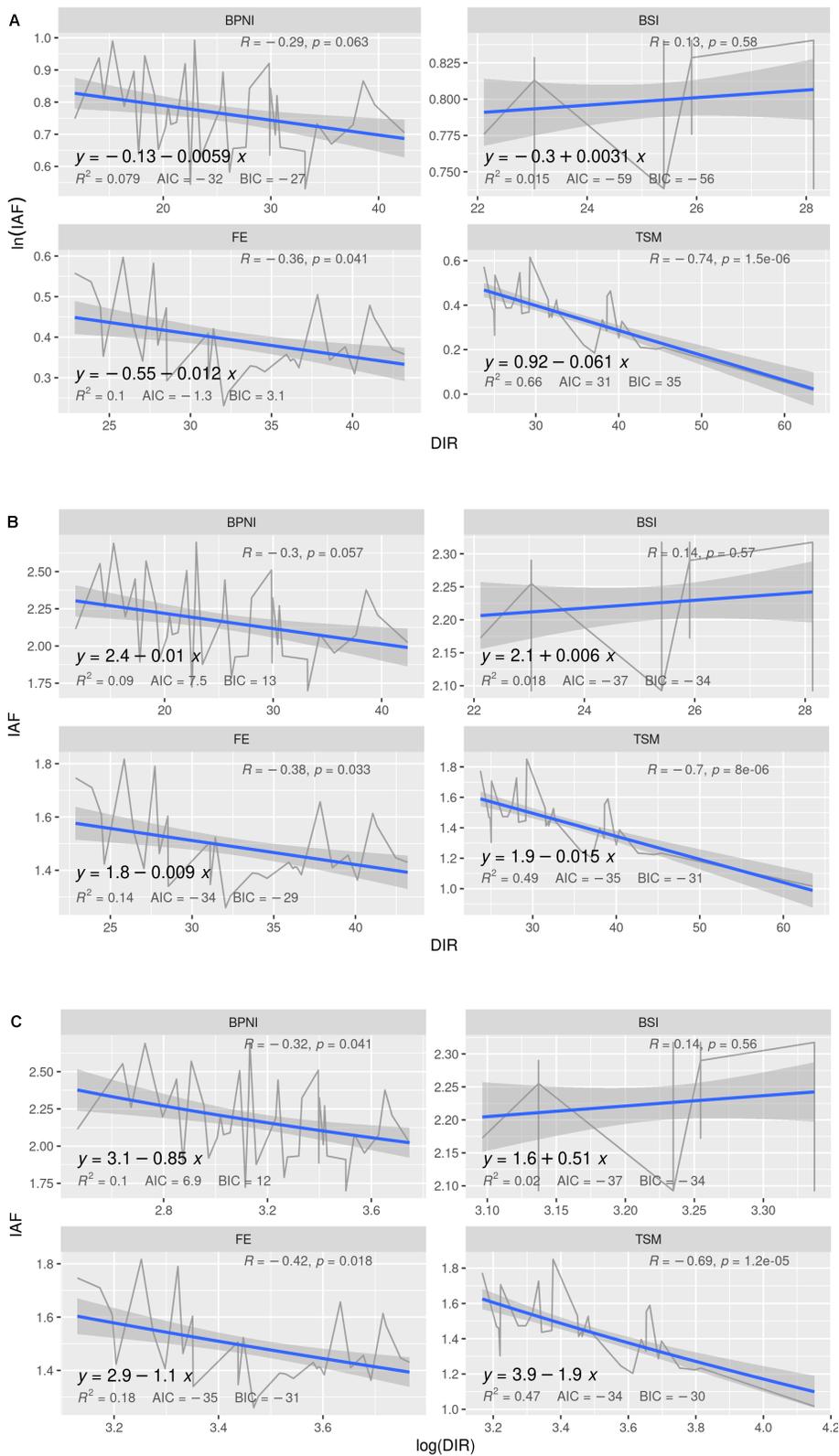
**Figura 3d.-** Efecto de los tratamientos (Fajas de enriquecimiento (FE); Tropical shelterwood modificado (TSM); Bosque primario no intervenido (BPNI); Bosque secundario intervenido (BSI)), sobre las variables de estructura del dosel y de luz (índice de área foliar (IAF), porcentaje de luz difusa %DIF), (D) Polinomial y (E) Potencial dentro del bosque universitario El Caimital, Barinas-Venezuela

**Figure 3d.-** Effect of the treatments (Enrichment strips (FE); Modified tropical shelterwood (TSM); Non-intervened primary forest (BPNI); Intervened secondary forest (BSI)), on the variables of canopy structure and light (leaf area index (IAF), percentage of diffuse light %DIF), (D) Polynomial and (E) Potential within the university forest El Caimital, Barinas-Venezuela

	FE				TSM				BPNI				BSI			
	IAF	%DA	%DIR	%DIF	IAF	%DA	%DIR	%DIF	IAF	%DA	%DIR	%DIF	IAF	%DA	%DIR	%DIF
IAF	1				1				1				1			
%DA	-0,75	1			-0,80	1			-0,75	1			-0,02	1		
%DIR	-0,73	0,99	1		-0,70	0,75	1		-0,29	0,35	1		0,13	-0,15	1	
%DIF	-0,86	0,88	0,87	1	-0,91	0,89	0,75	1	-0,83	0,85	0,34	1	-0,01	0,95	-0,01	1

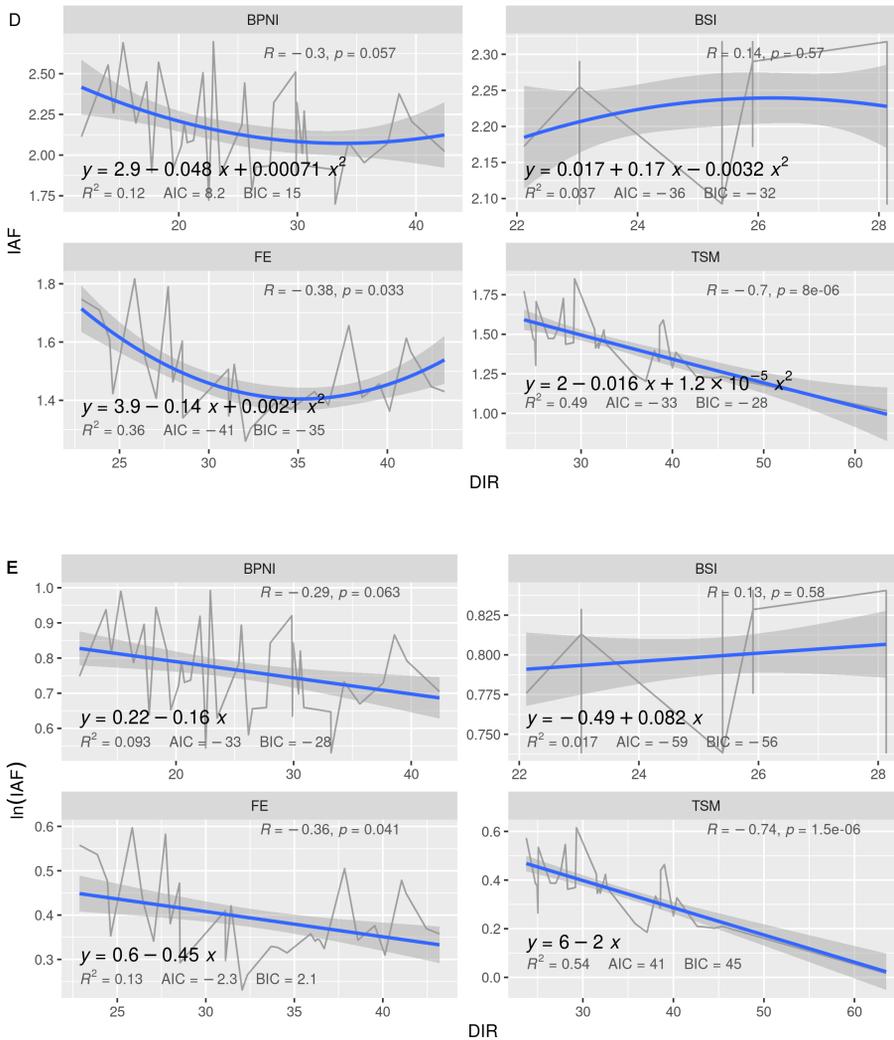
**Tabla 2.-** Coeficiente de correlación de Pearson obtenidos en los diferentes tratamientos (fajas de enriquecimiento (FE), tropical shelterwood modificado (TSM), bosque primario no intervenido (BPNI), bosque secundario intervenido (BSI)), para los indicadores (índice de área foliar (IAF), porcentaje de dosel abierto (%DA), porcentaje transmitido de luz directa (%DIR), porcentaje de luz difusa (%DIF)) de estructura del dosel, El Caimital, Barinas-Venezuela

**Table 2.-** Pearson's correlation coefficient obtained in the different treatments (enrichment strips (FE), modified tropical shelterwood (TSM), non-intervened primary forest (BPNI), intervened secondary forest (BSI)), for the indicators (leaf area index ( IAF), percentage of open canopy (%DA), percentage of transmitted direct light (%DIR), percentage of diffuse light (%DIF)) of canopy structure, El Caimital, Barinas-Venezuela



**Figura 3e.-** Efecto de los tratamientos (Fajas de enriquecimiento (FE); Tropical shelterwood modificado (TSM); Bosque primario no intervenido (BPNI); Bosque secundario intervenido (BSI)), sobre las variables de estructura del dosel y de luz (índice de área foliar (IAF), porcentaje de luz directa %DIR), (A) Exponencial, (B) Lineal y (C) Logarítmica dentro del bosque universitario El Caimital, Barinas-Venezuela

**Figure 3e.-** Effect of the treatments (Enrichment strips (FE); Modified tropical shelterwood (TSM); Non-intervened primary forest (BPNI); Intervened secondary forest (BSI)), on the variables of canopy structure and light (leaf area index (IAF), percentage of direct light %DIR), (A) Exponential, (B) Linear and (C) Logarithmic within the university forest El Caimital, Barinas-Venezuela



**Figura 3f.-** Efecto de los tratamientos (Fajas de enriquecimiento (FE); Tropical shelterwood modificado (TSM); Bosque primario no intervenido (BPNI); Bosque secundario intervenido (BSI)), sobre las variables de estructura del dosel y de luz (índice de área foliar (IAF), porcentaje de luz directa %DIR), (D) Polinomial y (E) Potencial dentro del bosque universitario El Caimital, Barinas-Venezuela

**Figure 3f.-** Effect of the treatments (Enrichment strips (FE); Modified tropical shelterwood (TSM); Non-intervened primary forest (BPNI); Intervened secondary forest (BSI)), on the variables of canopy structure and light (leaf area index (IAF), percentage of direct light %DIR), (D) Polynomial and (E) Potential within the university forest El Caimital, Barinas-Venezuela

Para las pruebas no paramétricas:  $R^2$  con un valor significativo de (V de Cramer = 0,72), y la con la prueba (U de Mann-Witney), todas las interacciones entre tratamientos (FE, TSM, BPNI, BSI) resultaron con diferencias significativas.

## Discusión

Se evidencio los cambios sobre variables de estructura del dosel y de luz (IAF, %DA, %DIR, %DIF) dentro de las áreas seleccionadas bajo los tratamientos (FE, TSM, BPNI, BSI) cuyas características dasométricas (densidades) reflejan relaciones existentes entre tales variables siendo estas interacciones corroboradas por autores como Suqui *et al.*, 2021.

Las variables de estructura del dosel y de luz difirieron claramente en los sistemas silviculturales FE y TSM. Siendo para FE los valores más cercamos al BPNI (bosque original sin intervenciones) y los valores con mayor diferencia se

encontraron en BSI. Con las diferencias de la estructura del dosel entre tratamientos (Tabla 1), los resultados indican que las diferencias estructurales producen diferencias estacionales en IAF, %DA, %DIF y %DIR.

Los valores en promedio del IAF se encontraron entre rangos de (0,94 - 2,37 para FE y de 0,77 - 2,29 para TSM). Resultados que están muy por debajo de los encontrados por Quevedo *et al.* (2016) para un bosque de selva nublada en Mérida-Venezuela, donde reportan un IAF = 5,2 y 4,0 para (bosques no perturbados y claros, respectivamente).

Luego de más de años 50 años de haber sido establecidos (FE y TSM, Pino *et al.*, 2021; Osorio *et al.*, 2019), ambos sistemas presentaron menores valores que las parcelas testigos en (BPNI y BSI). Resultados superiores (IAF = 6,29) se encontraron en la (micro-cuenca Llano de Altar, México) donde las ausencias de factores de perturbación favorecen la cobertura vegetal; siendo encontrados valores menores (IAF = 0,15) que en la presente investigación en la micro-cuenca Varita, que ha sido impactada por la agricultura migratoria (Vásquez-Agustín *et al.*, 2014). Este tipo de

respuestas también fueron descritas por Velasco *et al.*, 2010; quienes reportaron en la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca-México, valores de IAF = 0 y 4,5 (para bosques con zonas planas y pendientes suaves) y valores muy por debajo de IAF < 1 en terrenos con actividad agrícola.

Los autores Suqui *et al.*, 2021; encontraron variaciones del IAF entre 2,05 y 2,79 con un promedio de  $2,43 \pm 0,25$  para bosques de *Polylepis reticulata*, en ecosistemas de Páramo – Ecuador. En nuestro trabajo los máximos valores alcanzados de 2,75 para BPNI. Valores similares fueron obtenidos por los autores Nafarrete-Hecht *et al.*, 2018 con un rango de IAF de 3,37 (temporada de lluvias) y 2,49 (estiaje), mediante imágenes de satélites con alta resolución en un bosque tropical seco, Yucatán-México.

Se considera importante para una segunda fase evaluar los resultados obtenidos a través de modelos no-lineales de efectos mixtos.

---

## Conclusiones

Se observaron cambios sobre variables de estructura del dosel y de luz dentro de los diferentes sistemas silviculturales con regresiones lineales con correlaciones  $R^2 = 0.76$ . Encontrándose que en el tratamiento FE se encontraron los valores más cercanos al BPNI (bosque original sin intervenciones) y los valores con mayor diferencia fueron los encontrados en BSI reflejando así mayores cambios en la estructura del bosque.

---

## Referencias bibliográficas

- Chazdon, R. (1988). Sun flecks and their importance to forest understory plants. *Advances in Ecological Research*, 18:1-63.
- Chen, Y., Zhan, W., Hu, R., Qi, J., Shao, J., Li, D., Wan, P., Qiao, C., Shen, A. & Yan, G. (2018). Estimation of forest leaf area index using terrestrial laser scanning data and path length distribution model in open-canopy forests. *Agricultural and Forest Meteorology* 263: 323-333. DOI: [10.1016/j.agrformet.2018.09.006](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.09.006).
- Corredor, J. (2001). *Silvicultura Tropical*. Consejo de Publicaciones. Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 373 p.
- Ewel, J.J., Madriz, A. & Tosi Jr, J.A. (1969). Zonas de vida de Venezuela: memoria explicativa sobre el mapa ecológico. Ministerio de Agricultura y Cria, Dirección de Investigación.
- FAO. 1997. *State of the World's forests*. FAO, Rome.
- Finol, U.H. (1963). Ensayos preliminares para lograr el establecimiento de la regeneración natural de unas especies comerciales en el Caimital. Universidad de Los Andes, Mérida – Venezuela.
- GLA. <http://www.ecostudies.org/gla>
- González, J. (2011). Distribución espacial de *Pachira quinata* (saqui-saqui) y muestreo de la vegetación Sector “B” del bosque universitario “el caimital”. Estado Barinas, Venezuela. Universidad de Los Andes, Mérida – Venezuela.
- Hernández, A., Valdez, J., Pérez, G., De los Santos, H., Hernández J., Peduzzi, A. & Carreo, O. (2021). Medición del índice de área foliar y su dinámica estacional en plantaciones de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(63): 115-137. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i63.808>.
- Jonckheere, I., Fleck, S., Nackaerts, K., Muys, B., Coppin, P., Weiss, M. & Baret, F. (2004). Methods for leaf area index determination. Part I: Theories, techniques and instruments. *Agric. For. Meteorol.*, 121:19-35.
- Korpelainen, H., Adjers, G., Kuusipalo, J., Nuryanto, K. & Otsamo, A. (1995). Profitability of rehabilitation of overlogged dipterocarp forest: a case study from South Kalimantan, Indonesia. *Forest Ecol. Manag.*, 79:207-215.
- Lamprecht, H. (1990). *Silvicultura en los trópicos*. GTZ, Eschborn, Alemania. 335 p.
- Lozada, J., Moreno, J. & Suescun, R. (2003). Plantaciones en fajas de enriquecimiento. Experiencias en 4 unidades de manejo forestal de la Guayana venezolana. *Interciencia*, 28(10): 568-575. Código: 0378-1844/03/10/568-08.
- Myneni, R., Hoffman, S., Knyazikhin, Y., Privette, J.L., Glassy, J., Tian, Y., Wang, V., Song, X., Zhang, V., Smith, G., Lotsch, A., Friedl, M., Morisette, J.T., Votava, P., Nemani, R., & Running, S.W. (2002). Global products of vegetation leaf area and fraction absorbed PAR from year one of MODIS data. *Remote Sens. Environ*, 83:214-231.
- Moncada, G., Paez, L. & Silva, D. (1987). Estudios silviculturales en un área del bosque el Caimital sometido hace 23 años a tratamiento de tumba y quema del sotobosque. Trabajo especial de grado para optar al título de Ingeniero Forestal, Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela.
- Montagnini, F., Eibl, B., Grance, L., Maiocco, D. & Nozzi, D. (1997). Enrichment planting in overexploited subtropical forest of the paranaense region of Misiones, Argentina. *Forest Ecol. Manag.*, 99: 237-246.
- Montilla, M. & Rivas, M. (1987). Estudio sobre la regeneración natural del bosque secundario Tropófito Macrotérmico (Caimital Edo. Barinas). Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela.
- Moret, A. Y., Plonczak, M., Jerez, M., Garay, V., Valera, L., Ramírez, N., Hernández, D. & Mora, A. (2010). Variaciones en la composición florística de tipos de bosques asociados con *Pachira quinata* (Jacq.) WS Alverson en el bosque universitario el Caimital, Barinas-Venezuela. *Rev. For. Venez.*, 54:51-63.

- Nafarrate-Hecht, A., Dupuy-Rada, J., George-Chacon, S. & Hernández-Stefanoni, J. (2018). Modelización y mapeo estacional del índice de área foliar en un bosque tropical seco usando imágenes de satélite de alta resolución. *Madera y Bosques*; 24(3): 1-17. DOI: [10.21829/myb.2018.2431666](https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431666)
- Nobis, M. & Hunziker, U. (2005). Automatic thresholding for hemispherical canopy-photographs based on edge detection. *Agricultural and Forest Meteorology*, 128(3-4): 243-250. DOI: [10.1016/j.agrformet.2004.10.002](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2004.10.002)
- Osorio, S., Lugo, J., Rangel, R. & Salcedo, P. (2019). Efecto del sistema silvicultural tropical shelterwood modificado sobre la estructura y composición del bosque, el caimital, Barinas – Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, 63(1): 9-21. <http://www.saber.ula.ve/hnadle/123456789/47169>. ISSN 0556-6606.
- Papamija-Muñoz, D. & García-Solórzano, C. (2012). Estimación del índice de área foliar en plantaciones de *Eucalyptus grandis* W. Hill. *Colombia Forestal*, 15(2): 261-271.
- Pino, M., Rojas, Y., Salcedo, P., Rangel, R. & Gómez, A. (2021). Dinámica sucesional del bosque luego de establecer fajas de enriquecimiento, El Caimital, Barinas – Venezuela. *Revista Investigaciones Geográficas*, (61): 99-115. DOI: <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2021.61075>
- Plateros-Gastélum, P.A., Reyes-Hernández, V.J., Velázquez-Martínez, A., Hernández de la Rosa, P. & Campos-Ángeles, G. V. (2018). Disponibilidad de luz bajo dosel en rodales de *Abies religiosa*. *Madera y Bosques*, 24(3): 1-21. DOI: [10.21829/myb.2018.2431711](https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431711).
- Promis, A. & Cruz, G. (2009). Fotografía hemisférica: un método para estimar estructuras del dosel arbóreo e iluminación en el interior del bosque. *Bosque Nativo*, 44:12-15.
- Quevedo, A., Schwarzkopf, T., García, C. & Jerez, M. (2016). Ambiente de luz del sotobosque de una selva nublada andina: estructura del dosel y estacionalidad climática. *Rev. Biol. Trop.* 64(4):1699-1707. ISSN-0034-7744
- Ramírez, H., Torres-Lezama, A. & Acevedo, M.F. (1997). Simulación de la dinámica de grupos de especies vegetales en un bosque de los llanos occidentales venezolanos. *Ecotrópicos*, 10:101-109.
- Rangel, R., Salcedo, P. & Gómez, A. (2021). Caracterización florística y estructural de los tipos de bosques por unidades fisiográficas en El Caimital, Barinas-Venezuela. *Recursos Rurais*, 17:55-63. DOI: <https://doi.org/10.15304/rr.id7491>
- Suqui, A., Célleri, R., Crespo, P. & Carrillo-Rojas, G. (2021). Interacciones entre índice de área foliar, densidad del dosel y precipitación efectiva de un bosque de *Polylepis reticulata* ubicado en un ecosistema de Páramo. *La Granja: Revista de Ciencias de la vida*; 34(2): 63-79. <http://doi.org/10.17163/lgr.n34.2021.04>
- Torres, J. (2018). Establecimiento de un en sayo con fines de restauración de la diversidad arbórea en el sector "B" del bosque universitario El Caimital, estado Barinas-Venezuela. Trabajo especial de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Escuela de Ingeniería Forestal. Mérida-Venezuela
- Valverde, J. & Arias, D. (2020). Evaluación del índice de área foliar con método indirecto y directo en distintas condiciones ambientales en plantaciones dendroenergéticas de *Eucalyptus tereticornis* Sm. *Madera y Bosques*, 26(2): 1-12. DOI: [10.21829/myb.2020.2621953](https://doi.org/10.21829/myb.2020.2621953).
- Vásquez-Agustín, C., Rodríguez-Ortiz, G., Enríquez-del Valle, J., Velasco-Velasco, V. & Campos-Ángeles, G. (2014). Índice de área foliar y factores de perturbación en una cuenca hidrográfica del río Tehuantepec. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 1(1): 52-59.
- Veillon, J.P. (1997). Los bosques naturales de Venezuela. Parte III. Los bosques Tropófitos o veraneros de la zona de vida de Bosque Tropical. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes, IFLA, Mérida-Venezuela. 127 p.
- Veillon, J.P. (1971). Importancia económico social de los bosques del estado portuguesa, Venezuela. Universidad de Los Andes, Mérida.
- Velasco, S., Champo, O., España, M. & Baret, F. (2010). Estimación del índice de área foliar en la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca. *Rev. Fitotec. Mex.*, 33(2): 169-174.
- Zhan, Y., Chen, J. & Miller, J. (2005). Determining digital hemispherical photograph exposure for leaf area index estimation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 133(1-4):166-181. DOI: [10.1016/j.agrformet.2005.09.009](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2005.09.009).