



Efecto del huracán Dean en la dinámica estructural de selvas bajo manejo forestal en Quintana Roo, México

Effect of hurricane Dean on the structural dynamics of rain forest under forest management in Quintana Roo, Mexico

Ismael Pat-Aké^{1,2}, Luisa del Carmen Cámara-Cabrales^{2*}, Sheyla Ward³, Pablo Martínez-Zurimendi^{4,5},
José Luis Martínez-Sánchez², Patricia Negreros-Castillo⁶ y NaDine Sorensen⁷

¹ Instituto Tecnológico de la Zona Maya. Programa de Maestría en Agroecosistemas Sostenibles. Chetumal, Quintana Roo, México.

² Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Biológicas. Tabasco, México.

³ Mahogany for the Future, Inc., San Juan, Puerto Rico, EUA.

⁴ El Colegio de la Frontera Sur. Agricultura Sociedad y Medio Ambiente. Villahermosa, Tabasco, México.

⁵ Universidad de Valladolid. Instituto Universitario de Gestión Forestal Sostenible. Palencia, España.

⁶ Universidad Veracruzana. Centro de Investigaciones Tropicales. Xalapa, Veracruz, México.

⁷ Consultoría Independiente en Ecología Forestal. Chetumal, Quintana Roo, México.

* Autor de correspondencia. lcama27@hotmail.com

RESUMEN

La tendencia creciente de impactos humanos y de huracanes sobre las selvas de la Península de Yucatán, se ha constituido en una amenaza para su sobrevivencia. Esto es de gran relevancia, considerando que el manejo de la selva, es una actividad primordial para su conservación y generación de ingresos para las poblaciones locales. Este escenario fundamentó el presente estudio realizado en la selva de Noh-Bec, Quintana Roo, impactada por el huracán "Dean" (2007). El propósito fue identificar los factores que tuvieron influencia sobre la magnitud de daños ocasionados en la comunidad arbórea, así como los cambios en su estructura y composición en el periodo 1998 - 2014. Para esto se realizaron mediciones en parcelas permanentes de muestreo, dirigidas a obtener información sobre los principales caracteres estructurales, los atributos de especies y los daños del huracán (1998, 2010 y 2014). Los resultados obtenidos confirmaron que los daños sobre 56.3% de los árboles de diferentes tamaños de la comunidad fueron efecto de la asociación múltiple entre los vientos del huracán, los factores de densidad (individuos/ha), los atributos de especies y los disturbios de los aprovechamientos. Los resultados también revelaron cambios en la estructura, importancia de las especies y en la diversidad estructural de la selva, variaciones que se manifestaron en una disminución inicial de las alturas totales, diámetros y volúmenes de la comunidad arbórea (1998-2010), para posteriormente emprender procesos de regeneración (2010-2014). Las variables densidad (número de individuos por hectárea) y área basimétrica tuvieron un comportamiento inverso: aumentaron en el primer periodo (1998-2010), para posteriormente disminuir en el segundo periodo (2010-2014).

PALABRAS CLAVE: cambios, comunidad, diversidad, estructura, huracán, selva.

ABSTRACT

The growing tendency of human impacts and hurricanes on the rain forest of the Yucatan Peninsula has constituted a threat to their survival. This is of great relevance, considering that the management of the rain forest is a fundamental activity for its conservation and generation of income for the local populations. This scenario was the basis for the present study carried out in the rain forest of Noh-Bec, Quintana Roo, impacted by the hurricane "Dean" (2007). The purpose was to identify the factors that had influence on the magnitude of damages caused in the arboreal community, as well as the changes in its structure and composition in the period 1998-2014. For this, measurements were made in permanent sampling plots aimed at obtaining information on the main structural characteristics, species attributes and hurricane damage (1998, 2010 and 2014). The results obtained confirmed that the damage of 56.3% of the trees of different sizes of the community was the effect of the multiple association between hurricane winds, density (trees/ha) factors, species attributes and exploitation disturbances. The results also revealed changes in the structure, importance of the species and in the structural diversity of the rain forest, variations that were manifested in an initial decrease in the heights, diameters and volumes of the arboreal community (1998-2010), to subsequently undertake regeneration processes (2010-2014). The variables density (number of trees per hectare) and basimetric area, had an inverse behavior: they first increased in the first period (1998-2010), to subsequently decrease in the second period (2010-2014).

KEYWORDS: changes, community, diversity, structure, hurricane, rain forest.

INTRODUCCIÓN

En las últimas cuatro décadas las selvas tropicales como las de la Península de Yucatán (PY) han recobrado importancia mundial por su reconocida diversidad biológica y la variedad de servicios ecosistémicos que proveen (Koleff, Urquiza-Hass y Contreras, 2012). En esta subregión que colinda con el Caribe, se conservan importantes fragmentos de selva que se estiman en 10.6 millones de hectáreas (Chapela, 2009). De los cuales, un aproximado de 2.3 millones de hectáreas, distribuidas en Campeche y Quintana Roo, han sido ordenadas y manejadas por comunidades locales, a partir de la aplicación de sistemas silvícolas de bajo impacto (Bray, Durán, Merino, Torres y Velázquez, 2007).

Sin embargo, también persiste una tendencia creciente de desafíos sobre la sobrevivencia de estas selvas, provocados por el impacto humano y un aumento en la frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos (huracanes) (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2013). Para la PY, se han registrado tasas de deterioro y deforestación anual de 50 000 ha a 70 000 ha (Céspedes-Flores y Moreno-Sánchez, 2010). Entre los años 1871 y 2016, un total de 62 huracanes azotaron la PY, originando paulatinamente perturbaciones de mayor magnitud, como consecuencia del incremento de las intensidades de los huracanes en las últimas décadas (Salazar-Vallejo, 2002; National Oceanic and Atmospheric Administration [NOAA], 2016). Estos escenarios han ocasionado preocupación entre las comunidades que viven del manejo de las selvas y han atraído la atención de la comunidad científica de la región.

Por esta razón se han multiplicado los estudios que abordan los efectos de los huracanes sobre las selvas a partir de la década de los noventa del siglo pasado (Brokaw y Walker, 1991; Lugo, 2008). Varias investigaciones han descrito los daños que ocasionan los vientos sobre la estructura y composición de las comunidades vegetales (Whigham, Olmsted, Cabrera y Harmon, 1991; Sánchez e Islebe, 1999; Whigham, Olmsted, Cabrera y Curtis, 2003; Islebe, Torrescano-Valle, Valdez-Hernández, Tuz-Novelo y Weissenberger, 2009; Ramírez-Barajas, Islebe y Torrescano, 2012). Ecólogos como Vandermeer, Mallona, Boucher, Yih y Perfecto (1995, 2001), Burslem, Whitmore y Brown (2000), Vandermeer y Granzow de la Cerda (2004) han realizado contribuciones muy importantes para el conocimiento de los procesos de regeneración posthuracán. La información

generada, contribuye al conocimiento de la dinámica de las selvas medianas subperennifolias (SMS) impactadas en la PY, que son generalmente las que tienen manejo forestal.

Pero es necesario incursionar en el estudio de otros aspectos que pueden tener relación con los efectos de los huracanes sobre este tipo de selvas, como son los atributos, los caracteres estructurales y los impactos de los aprovechamientos forestales. Algunos de los cuales han sido evidenciados como factores que pueden influir en la magnificación y diferenciación de daños (Ferrando, Louman, Finegan y Guariguata 2001; Navarro-Martínez, Durán-García y Méndez-González, 2012). Así mismo, se requiere realizar estudios de largo plazo para conocer la dinámica estructural en el tiempo de las selvas afectadas, retomando las parcelas permanentes de muestreo (PPM), citadas como herramienta de investigación de gran utilidad (Weaver, 2002; Corral-Rivas, Vargas-Larreta, Wehenkel, Aguirre-Calderón y Crecente-Campo, 2013). Entre las incógnitas a responder están ¿Qué factores influyen en la generación de magnitudes elevadas de daños sobre la comunidad arbórea? ¿Qué cambios se han originado en el tiempo en la estructura, diversidad estructural e importancia de las especies de la comunidad? Para responder a estas preguntas, se realizó un estudio de 16 años (1998-2014), dirigido a precisar los efectos del huracán “Dean” sobre la selva bajo manejo forestal de Noh-Bec Quintana Roo, que fue afectada en categoría V (escala Saffir-Simpson) el 21 de agosto de 2007. Se espera que los resultados contribuyan al diseño de prácticas de manejo que permitan minimizar los impactos de los huracanes.

OBJETIVOS

Predecir los niveles de influencia múltiple de los factores de densidad, atributos de especies y de los disturbios de los aprovechamientos sobre la magnitud de daños ocasionados por el huracán “Dean” en la comunidad arbórea de la selva de Noh-Bec Quintana Roo, así como los cambios temporales en su estructura y composición en el periodo 1998-2014. Las hipótesis presumen que: (1) Los factores de densidad (composición e individuos por hectárea), los atributos de especies (diámetros, alturas, densidad de maderas) y los disturbios de los aprovechamientos (año de los aprovechamientos en las áreas de corta), tuvieron influencia sobre las magnitudes de daño. (2) Los valores dasométricos estructurales y diversidad estructural de la



selva que resultaron afectados se restauran paulatinamente a ritmos diferenciados entre los árboles en diferentes estados de desarrollo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El ejido Noh-Bec, se ubica en el municipio de Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo, entre las coordenadas 19°02'30" y 19°12'30" latitud norte y 88°13'30" y 88°27'30" longitud oeste. Cuenta con una superficie total de 24 010 ha, de las cuales 18 000 ha de selva mediana subperennifolia (SMS) corresponden a su área forestal permanente (AFP), que se distribuye en toda la superficie ejidal (Ramírez, 1999; Registro Agrario Nacional [RAN] 2016) (Fig. 1).

El área forma parte de una microrregión, con clima cálido subhúmedo tropical con lluvias en verano (Aw¹), temperaturas superiores a 26 °C y precipitación anual de 1200 mm. Su

plataforma geológica está compuesta por rocas sedimentarias, correspondientes a la formación “Carrillo Puerto”, sobre el que se forman superficies onduladas, que corresponden a las “Planicies del Caribe y del Noreste” (Chiappy y Gama, 2004). En estas superficies se originan suelos poco profundos (30 cm), entre los que sobresalen, luvisoles vérticos (Y'aax-hom) y gleysoles (Aak'alche) (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]-Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [Unesco], 1998; Bautista y Palacio, 2005). La vegetación predominante en el área es la selva mediana subperennifolia (SMS) y la selva baja subperennifolia (SBS), con abundancia de especies como *P. reticulata*, *A. yucatanensis*, *M. zapota*, *B. simaruba*, *D. arboreus*, *S. glauca*, *S. salvadorensis*, *Metopiun brownei*, *S. cubensis*, *P. piscipula*, *B. alicastrum*, *S. macrophylla*, *L. latisiliquum* y *V. gaumeri* (Miranda y Hernández-X., 1963; Pennington y Sarukhan, 1968).

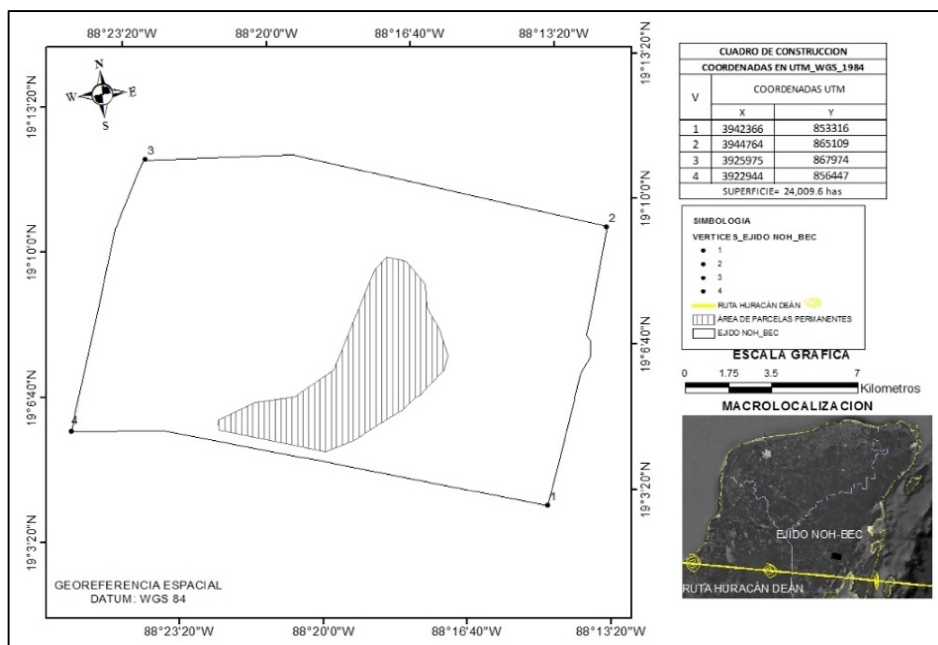


FIGURA 1. Mapa de localización del área de parcelas permanentes de muestreo dentro del ejido de Noh-Bec, que hace referencia a la ruta del huracán “Dean”.

El área Forestal Permanente se encuentra distribuida en toda el área ejidal.

El AFP cuenta con un programa de manejo desde el año de 1984, para cubrir los requisitos normativos para la autorización de aprovechamientos por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). En este programa se realiza el ordenamiento de su AFP en áreas de corta anual (ACA) (antes eran 25, actualmente son 15). Orientado al mejoramiento del manejo, la Dirección Técnica Forestal del ejido seleccionó en 1998 una muestra de 3500 ha del AFP, que correspondió a las ACA de los años 1992 a 1996 (Fig. 1). En esta superficie se ubicaron y midieron 150 PPM de 500 m², cada una, a partir de un diseño de muestreo sistemático (Ramírez, 1999). De los cuales se seleccionó una muestra aleatoria estratificada de 25 PPM para ser medidos nuevamente en los años 2010 y 2014 (cinco PPM por ACA). Las PPM tuvieron forma circular y fueron subdivididas en tres subparcelas concéntricas de tamaño sucesivamente menor, reproduciendo el modelo de Cancino y Gadow (2002): A = 500 m², B = 200.9 m² y C = 102 m². En cada subparcela se registraron los árboles, aplicando la propuesta de etapas de desarrollo de Fredericksen, Contreras y Pariona (2001): A para fustales con diámetro (*d*) mayor a 10 cm, B para latizales con *d* entre 5 cm y 9.9 cm, y C para brinzales con altura (*h*) mínima de 50 cm hasta 4.9 cm de *d*. Para los fustales y latizales, se registraron: la especie (*sp*), el diámetro normal en centímetros (*d*), la altura total (*h*) y el fuste limpio en metros (*h/l*); a partir de estas mediciones se realizó la predicción del área basal por árbol en metros cuadrados (*g*), el área basimétrica en metros cuadrados por hectárea (suma de *g* de todos los árboles) (*G*) y volumen en metros cúbicos por hectárea (*v*), aplicando las ecuaciones de Prodan, Peters, Cox y Real (1997) y las de Semarnat (2012); asimismo se definió el gremio ecológico de cada especie con base en la propuesta de Finegan (1993) (*GE*) y la densidad de la madera (*DM*) sustentado en el listado de Ordóñez-Díaz, Galicia, Venegas, Hernández, Ordóñez y Dávalos-Sotelo (2015). En la medición 2010, se evaluaron los daños del huracán, considerando siete tipos de árboles en función a la magnitud de daños exhibidos (adaptada de Pohlman, Goosem y Turton, 2008): C1 (árbol sin daños), C2 (árbol decapitado con fuste > 4 m), C3 (árbol decapitado con fuste < 4 m), C4 (árbol vivo caído), C5 (árbol muerto por efecto del huracán), C6 (árbol muerto por explotación forestal), C7 (árbol no encontrado).

Con los datos obtenidos se construyeron bases de datos para dos periodos de tiempo (1998-2010 y 2010-2014) y matrices que facilitaron los análisis estadísticos. Para el análisis de variabilidad en la distribución de árboles y daños originados por etapa de desarrollo se utilizó un análisis de varianza, ANOVA, de una vía. La predicción de la influencia de los factores de densidad, atributos de especies y de los aprovechamientos sobre la magnitud de daños se realizó a partir de la estimación y ajuste de seis modelos de regresión lineal múltiple jerárquica de seis bloques; que consistió en un análisis de correlación Pearson entre todas las variables independientes (explicativas) y la variable dependiente (respuesta) (Tabla 1).

TABLA 1. Descripción de variables utilizadas para el análisis de regresión lineal múltiple (RLM).

<i>Variables</i>	<i>Descripción</i>	<i>F</i>	<i>Fuente</i>
Dependiente (respuesta)			
1. ICD	Individuos con daños (#)	A	1
Independientes (explicativas)			
1. NI	Individuos por hectárea (NI ha ⁻¹)	A	1
2. SPP	Composición de especies	A	1
3. D	Diámetros medios (cm)	B	1
4. H	Alturas medias (m)	B	1
5. DM	Densidad de la madera (kg/m ³)	B	2
6. EA	Edad de aprovechamientos (antigüedad).	C	1

Factores: A = Densidad, B = Atributo de especie, C = Disturbios de aprovechamientos. Fuente: 1 mediciones, 2 = Datos consulta a Ordóñez-Díaz *et al.* (2015).

La robustez del modelo fue validada con la verificación de la ausencia de multicolinealidad (factor de inflación de la varianza FIV) y la prueba de Durbin-Watson, para evitar problemas de autocorrelación (Bocco, Mendoza y Masera, 2001). Para determinar diferencias en los cambios estructurales en el tiempo, se utilizó el ANOVA para medidas repetidas y el índice de valoración estructural, índice de valor de importancia (IVI), de Curtis y McIntosh (1951). Este índice sintético compara el peso ecológico de las especies de la comunidad, tomando en cuenta su dominancia, densidad y frecuencia (Anexo 1). Los cambios en la estructura vertical y horizontal de la comunidad, a partir del



enfoque de diversidad estructural basado en Shannon-Wiener (1949) citado por Magurran (2004), Staudhammer y LeMay (2001) y Lei, Wang y Peng (2009), fueron definidos utilizando los valores de diámetros (*d*), alturas (*h*) y especies (*sp*). Con estas variables se calcularon los siguientes índices de diversidad estructural: índice de diversidad de especies (Hs), índice de diversidad del tamaño de los árboles (Hd), índice de diversidad de la altura de los árboles (Hh), y el índice promedio de la diversidad estructural (Hsdh) (Anexo 2). Finalmente, los índices de diversidad Hs, Hd y Hh se compararon estadísticamente entre los dos periodos de tiempo (1998-2010 y 2010-2014), mediante la prueba de t de Hutchenson (Magurran, 2004) y el ANOVA para medidas repetidas.

RESULTADOS

Magnitud de daños y factores causales

Se registró una densidad promedio de 16 822 árboles por hectárea de todas las especies, distribuidos en las etapas de

desarrollo: a) fustales (4.2%), b) latizales (4.2%) y c) brinzales (91.6%) (Tabla 2).

Al estratificarlos en clases diamétricas (CD), se confirmó el patrón de distribución típico de selvas tropicales, caracterizado por mayores densidades en las CD menores (J-invertida en el ámbito silvícola). Pero con gran variabilidad en el número árboles entre CD respecto a la media presentada por la comunidad. La variabilidad observada, también se presenta en la magnitud de daños. De la densidad registrada por hectárea (NI ha⁻¹), 56.3% de los fustales y latizales tuvo daños de diferentes magnitudes (C2 a C7), de los cuales 50% fueron daños por descopado y derribados (C2, C3 y C4). Los árboles restantes (50%) se encontraron muertos o en proceso de muerte, por efecto del huracán. La mayor cantidad de árboles afectados se registró entre las CD de 5 cm a 20 cm (latizales y fustales), que resultaron con más de 50% de individuos dañados del total (Tabla 2).

TABLA 2. Distribución y número de árboles dañados por etapa de desarrollo y categorías diamétricas, en la selva de Noh-Bec Quintana Roo, por efectos del huracán “Dean”.

CD (cm)	NI ha ⁻¹	Categoría de árboles por tipos de daños							TICD	TISD
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7		
Brinzales										
≤ 5	15412	La regeneración inicial y de avanzada encontrada no evidenció daños debido a que la evaluación se realizó tres años después del impacto.								
Subtotal	15412									
Latizales										
5-10	709	324	115	106	108	56	0	0	385	324
Subtotal	709	324	115	106	108	56	0	0	385	324
Fustales										
10-20	446 ^a	174 ^a	103 ^a	43 ^a	76 ^a	50 ^a	0 ^a	0 ^a	272 ^a	174 ^a
20-30	136 ^b	59 ^b	33 ^b	7 ^a	18 ^a	18 ^a	1 ^a	0 ^a	77 ^b	59 ^b
30-40	67 ^c	38 ^c	10 ^b	0 ^a	8 ^a	11 ^a	0 ^a	0 ^a	29 ^b	38 ^b
40-50	21 ^c	8 ^c	2 ^b	1 ^a	3 ^a	4 ^a	0 ^a	3 ^a	13 ^b	8 ^b
50-60	11 ^c	5 ^c	1 ^b	1 ^a	1 ^a	2 ^a	0 ^a	1 ^a	6 ^b	5 ^b
60-70	5 ^c	3 ^c	0 ^b	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	2 ^a	2 ^b	3 ^b
70-80	6 ^c	2 ^c	0 ^b	0 ^a	1 ^a	2 ^a	0 ^a	1 ^a	4 ^b	2 ^b
80-90	9 ^c	2 ^c	0 ^b	0 ^a	1 ^a	2 ^a	0 ^a	4 ^a	7 ^b	2 ^b
Subtotal	701	291	149	52	108	89	1	11	410	291
Total	16 822	brinzales, latizales y fustales.								

CD = Clases diamétricas (y etapas de desarrollo), NI ha⁻¹ = Número de individuos por hectárea, C1 = árbol sin daños, C2 = Árbol decapitado con fuste > 4 m de altura, C3 = Árbol decapitado con fuste < 4 m de altura, C4 = Árbol vivo caído, C5 = Árbol muerto por efecto del huracán, C6 = Árbol muerto por explotación forestal, C7 = Árbol no encontrado. TICD = Total de individuos con daños, TISD = Total de individuos sin daños. Valores con diferentes letras en la misma columna son estadísticamente diferentes. ANOVA (Tukey (P ≤ 0.05).

Al analizar la densidad y los daños entre PPM, se detectaron variaciones que oscilan entre 600 a 1600 árboles latizales y fustales, con porcentajes de daños entre 33% y 75%. Las medias correspondientes resultaron con diferencias estadísticamente significativas (t de Student $p < 0.05$) (Fig. 2). La variabilidad también se observó en las densidades registradas a nivel de ACA (1992-1996), cuyas medias resultaron con diferencias significativas (t de Student $p < 0.05$). Mientras que en el promedio de individuos con daños (CD), que osciló entre 456 a 624 ($> 50\%$

del total), no resultó con diferencias significativas (t de Student). Aunque se detectó una ligera tendencia de más árboles dañados en las ACA 1992-1993 (Fig. 3). La distribución de árboles fustales y latizales por gremios ecológicos registró las siguientes densidades medias por ha: 535 (HD), 520 (EP) y 351 (ET). De los cuales resultaron afectados 59 (HD) y 57% (EP, ET), para una media de 57.6%; porcentajes que no resultaron significativos (t de Student $p < 0.05$) (Fig. 4).

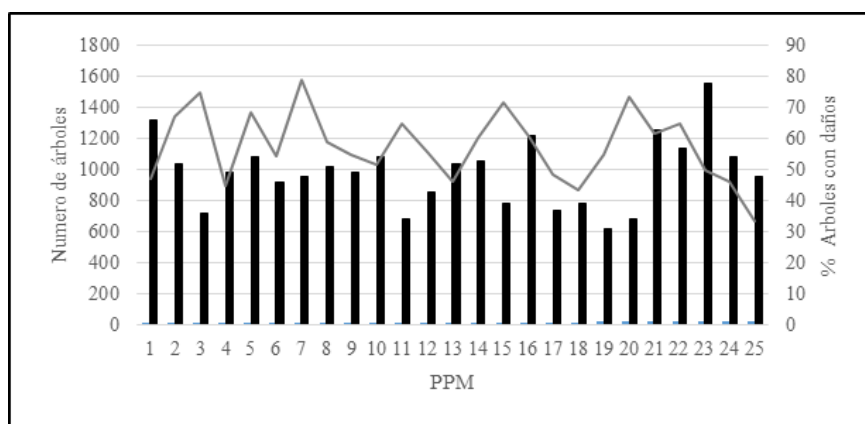


FIGURA 2. Densidad y porcentaje de árboles dañados por parcela permanente de muestreo (PPM) en Noh-Bec Quintana Roo, por efectos del huracán “Dean”.
Con diferencias significativas en densidades y daños entre PPM (t de Student $p < 0.05$).

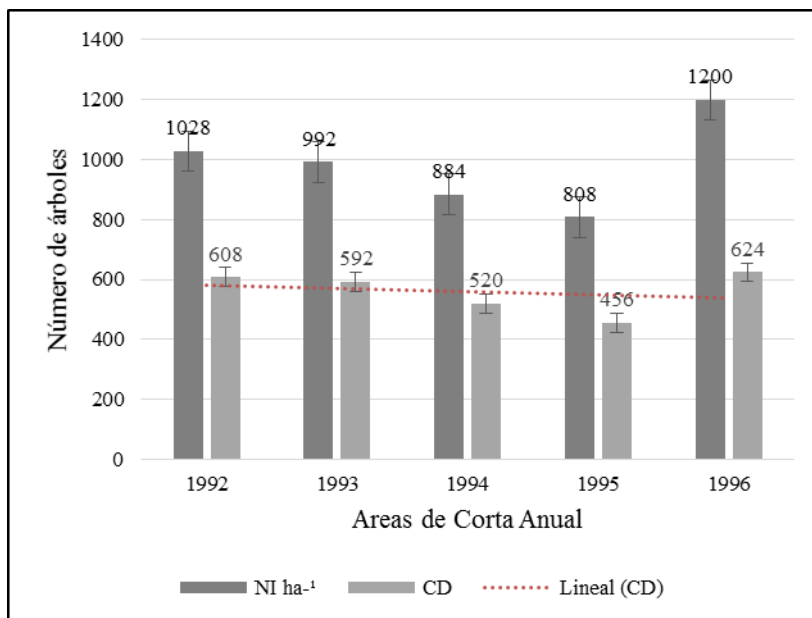


FIGURA 3. Individuos con daños (CD), de la densidad total (NI ha⁻¹), en las ACA 1992-1996 de las selvas de Noh-Bec Quintana Roo, por los efectos del huracán “Dean”.
Con diferencias significativas en densidades, no así en daños entre ACA (t de Student $p < 0.05$).

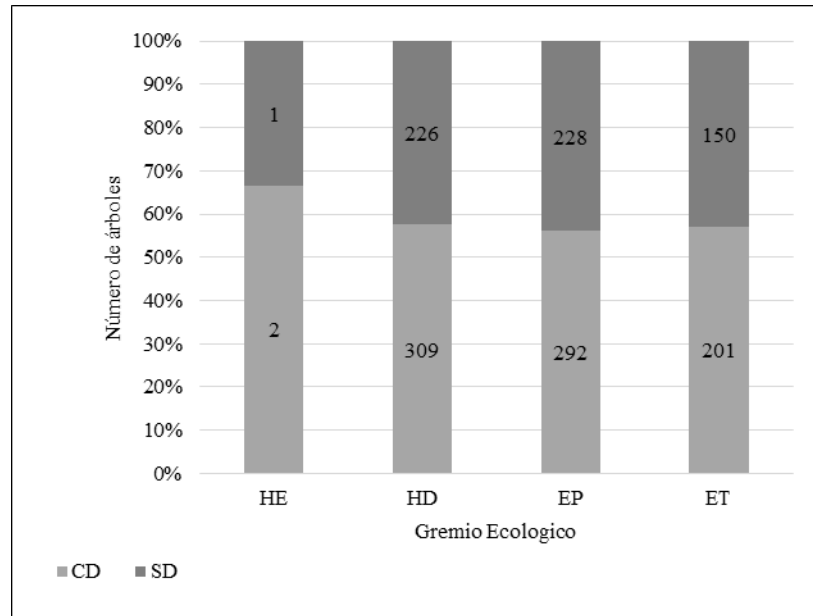


FIGURA 4. Distribución por gremios ecológicos de los árboles de la selva de Noh-Bec, con sus porcentajes de individuos con daños (CD) y sin daños (SD) por efectos del huracán Dean.

Con diferencias significativas en densidades, no así entre gremios (t de Student $p < 0.05$). HE = Heliófito Efímera, HD = Heliófito durable, EP = Esciófito parcial y ET = Esciófito total.

Los resultados de los modelos de regresión lineal múltiple probados para determinar los niveles de influencia de los factores de densidad, los atributos de especie y los disturbios de los aprovechamientos sobre las magnitudes de daños indican que los seis modelos estimados y ajustados demuestran una asociación múltiple entre las seis variables independientes de estos tres factores y explican 68.5% de la varianza de la variable dependiente (ICD). Las variables de mayor influencia fueron densidad de la madera (-380.12), diámetros (2.32) y la edad de los aprovechamientos (1.98) (una variable tiene tanto más peso en la ecuación de regresión cuanto mayor es su coeficiente Beta) (Tabla 3).

El ANOVA del modelo indica mejora significativa de la predicción de la variable dependiente ($F: 6.513; p < .001$). La prueba de Durbin-Watson reflejó una independencia de errores (residuos) (2.047) (un valor ideal es cercano a 2, el rango de aceptación del supuesto es entre 1 y 3). El factor de varianza inflada (FIV) indica que se cumple el supuesto de no multicolinealidad (valores entre 1.415 y 2.652) (ningún valor > 10 y en conjunto valores cercanos a 1) (Tabla 3).

Cambios originados sobre la selva (entre 1998 y 2014)

Cambios estructurales. Las principales variables de la estructura del arbolado, como son la densidad ($NI\ ha^{-1}$), diámetro, altura, área basimétrica y volumen, exhibieron cambios sustanciales y procesos reversibles a mediano plazo. Los valores medios de b y d , así como el v , registraron una disminución entre los años 1998 y 2010 (primer periodo), que resultó estadísticamente significativa, redujeron 3 m, 1 cm y $39\ m^3\ ha^{-1}$, respectivamente (ANOVA para medidas repetidas), para reiniciar su recuperación entre los años 2010-2014 (segundo periodo). Este patrón de comportamiento de las tres variables se observa en la mayoría de las CD de la comunidad, notándose más magnitud de cambios en las CD menores (Tabla 4).

Para las variables $NI\ ha^{-1}$ y G , se observa un patrón inverso: los valores medios presentados entre 1998-2014 resultaron con diferencias estadísticamente significativas (ANOVA para medidas repetidas). Para el primer caso, se registra un aumento de la densidad ($NI\ ha^{-1}$) durante el primer periodo (1998-2010), para disminuir en el segundo periodo (2010 a 2014). En el caso de G , se distingue una extensión en $11.8\ m^2$ en el primer periodo,

TABLA 3. Factores influyentes sobre la magnitud de árboles dañados (ICD) en las selvas de Noh-Bec Quintana Roo, de acuerdo con el modelo de regresión lineal múltiple (RLM).

Factores Variables/Modelos	β	R^2	Durbin- Watson	ANOVA		Estadísticos de colinealidad	
				F	Sig.	Tolerancia	FIV
Densidad							
1. Densidad ha ⁻¹	0.477	0.494		22.460	0.000	0.399	2.507
2. Composición de SPP	-0.230	0.494		10.757	0.001	0.377	2.652
Atributos de especie							
3. Diámetro medio	2.32	0.511	2.047	7.320	0.002	0.689	1.452
4. Altura media	0.401	0.517		5.350	0.004	0.707	1.415
5. Densidad de la madera	-380.12	0.609		5.916	0.002	0.624	1.604
Aprovechamientos							
6. Edad área de corta anual	1.98	0.685		6.513	0.001	0.492	2.033

* El modelo de regresión jerárquica de seis bloques, engloba los valores de los seis modelos. β = coeficiente beta. R^2 = coeficiente de determinación. FIV = factor de varianza inflada

TABLA 4. Cambios estructurales en las selvas bajo manejo forestal de Noh-Bec Quintana Roo en el periodo 1998-2014, por efectos del huracán “Dean”.

Variables / años	Categorías diamétricas										total
	< 5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	
NI ha⁻¹											
1998	6165 ^c	425 ^c	510 ^a	128 ^a	61 ^a	19 ^b	9 ^a	4 ^a	5 ^a	8 ^a	6875 ^c
2010	15412 ^a	709 ^b	446 ^a	136 ^a	67 ^a	21 ^b	11 ^a	5 ^a	6 ^a	9 ^a	16822 ^a
2014	9212 ^b	958 ^a	256 ^b	144 ^a	60 ^a	31 ^a	10 ^a	3 ^a	7 ^a	2 ^a	10683 ^b
d (cm)											
1998	1.4 ^a	6.9 ^a	14.5 ^a	24.3 ^a	34.4 ^a	44.3 ^a	53.6 ^a	64.4 ^a	75.4 ^a	84.9 ^b	40.4 ^a
2010	1.3 ^a	6.8 ^a	14.2 ^a	23.9 ^a	34.2 ^a	43.3 ^b	53.4 ^a	63.8 ^a	73.1 ^b	84.2 ^b	39.8 ^a
2014	1.6 ^a	6.8 ^a	15.4 ^a	23.8 ^a	34.5 ^a	43.9 ^b	53.6 ^a	64.1 ^a	72.9 ^c	86.0 ^a	40.3 ^a
h (m)											
1998	0.5 ^a	4.9 ^b	12.7 ^a	15.3 ^a	16.6 ^a	16.0 ^a	16.4 ^a	17.5 ^a	16.8 ^a	17.3 ^c	13.4 ^a
2010	0.7 ^a	5.8 ^a	9.1 ^c	11.3 ^c	13.1 ^c	12.0 ^b	13.1 ^c	14.3 ^b	12.5 ^c	19.0 ^b	11.1 ^c
2014	0.7 ^a	5.9 ^a	10.0 ^b	12.1 ^b	14.0 ^b	15.6 ^a	14.6 ^b	14.2 ^b	15.9 ^b	20.1 ^a	12.3 ^b
G (m² ha⁻¹)											
1998	2.8 ^a	1.7 ^b	6.7 ^b	5.6 ^b	4.2 ^b	2.0 ^b	2.0 ^a	1.3 ^a	1.0 ^b	0.9 ^a	28.2 ^c
2010	7.1 ^a	2.8 ^a	7.4 ^a	6.2 ^a	6.2 ^a	2.6 ^b	2.5 ^a	1.0 ^a	2.7 ^a	1.4 ^a	40.0 ^a
2014	4.7 ^b	2.8 ^a	4.9 ^c	6.6 ^a	5.7 ^a	4.8 ^a	2.2 ^a	1.0 ^a	3.0 ^a	1.4 ^a	36.9 ^b
v (m³ ha⁻¹)											
1998	1.0 ^b	1.4 ^c	26.6 ^a	45.0 ^a	38.6 ^b	15.8 ^b	71.0 ^a	9.0 ^b	6.9 ^c	5.9 ^c	221.2 ^a
2010	2.7 ^a	2.4 ^b	14.6 ^b	28.6 ^b	43.0 ^a	10.3 ^c	40.2 ^b	14.2 ^a	14.6 ^b	11.0 ^b	181.8 ^b
2014	2.0 ^a	3.6 ^a	11.1 ^c	25.7 ^c	35.3 ^c	47.1 ^a	24.4 ^c	5.8 ^c	29.8 ^a	12.5 ^a	197.1 ^b

NI ha⁻¹ = Número de individuos por hectárea, d = diámetro promedio en centímetros, h = altura promedio en m, G = área basimétrica en m², v = volumen en m³. Valores con diferentes letras entre filas por variable son estadísticamente diferentes. ANOVA para medidas repetidas (Tukey (P ≤ 0.5)).



para disminuir 3.1 m² ha⁻¹ en el segundo periodo. Este comportamiento se presentó principalmente entre las CD menores (< 5 cm - 30 cm), mientras que las CD mayores se comportaron en forma moderada (Tabla 4).

Cambios en la importancia de las especies. Los cambios ocurridos también se manifestaron sobre la dominancia, densidad y frecuencia de las *spp* de la comunidad, cuyos valores se resumen en el IVI (Curtis y McIntosh, 1951). La composición arbórea propia de selvas de la región se mantiene, pero se observan cambios en los valores de IVI entre 1998 y 2014, que resultaron significativos para la mayoría de las *spp*.

Las 10 especies que se mantuvieron con los valores más altos de IVI en estos 16 años, fueron *A. yucatanensis* (Ay), *B. cupanoides* (Bc), *B. alicastrum* (Ba), *B. simaruba* (Bs), *D. arboreus* (Da), *M. zapota* (Mz), *P. reticulata* (Pr), *Sabal mauritiiformis* (Sm), *S.*

salvadorensis (Ss) y *Vitex gaumeri* (Vg) (Fig. 5). Los valores más altos de IVI de *P. reticulata*, *A. yucatanensis* y *M. zapota* destacan respecto a las restantes especies, de igual forma, el crecimiento significativo del IVI de *P. reticulata*, *B. cupanoides*, *Vitex gaumeri*, *D. arboreus* y *Piscidia piscipula*, a partir del disturbio. Pero otras como *S. macrophylla*, que es la especie de mayor importancia forestal, disminuyeron su IVI por una asociación múltiple de los vientos, con sus alturas dominantes, la baja densidad de la madera y los claros generados por los aprovechamientos. Esta especie estuvo inicialmente entre las 10 primeras (1998), para pasar al puesto 17, en el año 2014. Otro aspecto observado, es una baja generalizada en el valor del IVI de todas las especies, para el primer periodo (1998-2010); para recuperarse durante el segundo periodo (2010-2014), sin alcanzar todavía sus valores iniciales (1998) (Fig. 5).

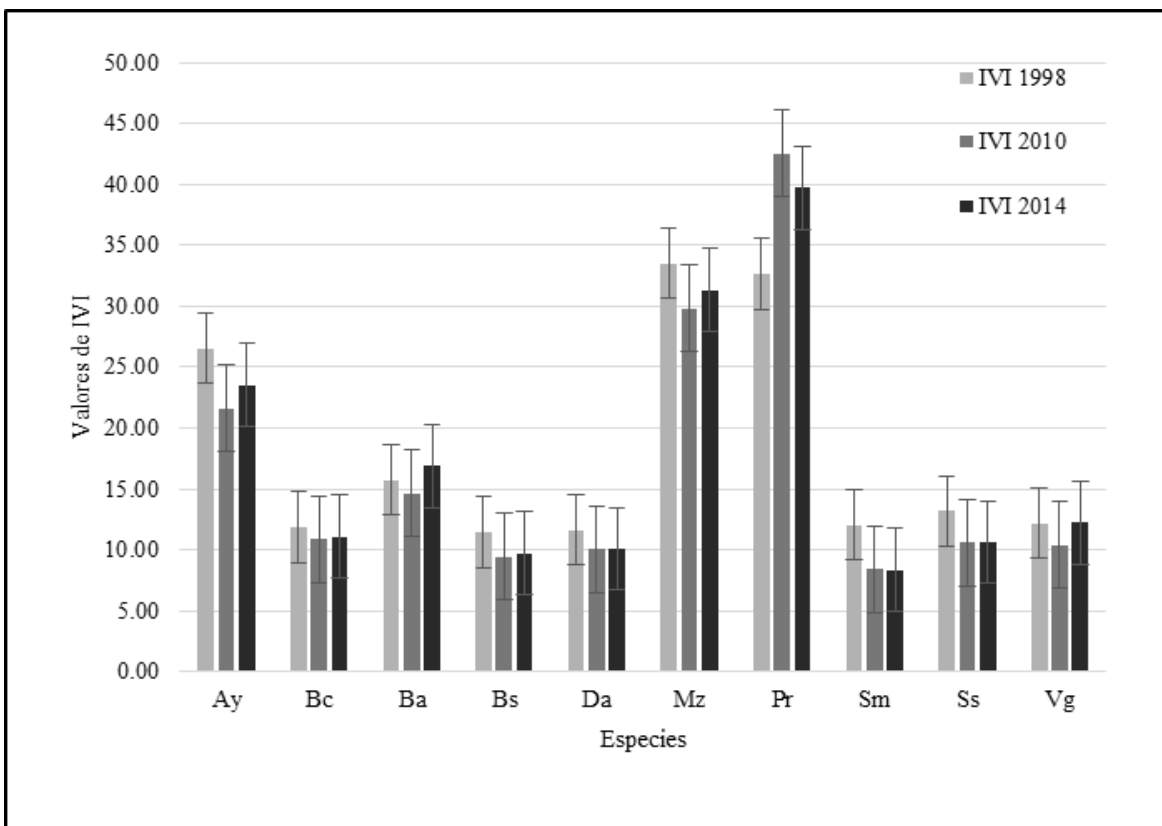


FIGURA 5. Cambios temporales en el IVI de las especies de mayor importancia de la selva de Noh-Bec Quintana Roo, por efectos del huracán “Dean” (1998-2014).

Las letras en el eje de las X corresponden a las siglas de las 10 *spp*. Los valores entre años fueron estadísticamente diferentes (ANOVA para medidas repetidas (Tukey (P ≤ 0.5).

Cambios en la diversidad estructural. Este enfoque es una de las herramientas más actuales y completas para el análisis del estado de una comunidad vegetal. Sus índices generan resultados muy robustos estadísticamente (Lei *et al.*, 2009). En este caso, los cuatro índices desarrollados (Hs, Hd, Hh, Hsdh), indican un ligero aumento en los valores de diversidad estructural de la selva en el primer periodo (1998-2010), para decrecer en el segundo periodo (2010-2014) (Tabla 5). La diversidad de especies, diversidad de alturas y diámetros fue afectada inicialmente por el impacto del huracán, para posteriormente iniciar su recuperación. Sin embargo, estos resultados no fueron estadísticamente significativos según la prueba t de Hutchenson (Magurran, 1984). Aunque el ANOVA para medidas repetidas indica que si fueron significativos ($P \leq 0.5$) (Tabla 5).

DISCUSIÓN

Magnitud de daños y factores causales

El huracán “Dean” tuvo un efecto significativo sobre las especies de la comunidad arbórea de Noh-Bec. La magnitud de daños

resultó ligeramente mayor a los publicados para el Caribe y la PY sobre afectaciones de huracanes en categoría V (Brokaw y Walker, 1991; Bellingham, Tanner y Healey, 1995; Sánchez e Islebe, 1999; Boose, Serrano y Foster, 2004). La proporción de daños entre los árboles de distintos tamaños (etapas de desarrollo), al igual que entre PPM y las ACA (> 50%), fue efecto de la interacción múltiple de los vientos huracanados con los factores de densidad, atributos de las especies y de los disturbios de los aprovechamientos forestales. La diferencia registrada en Noh-Bec, respecto a las otras áreas de Quintana Roo con daños menores, fue el factor disturbios de los aprovechamientos forestales que se realizan a menor intensidad en el caso de las selvas de X-Hazil (Navarro-Martínez *et al.*, 2012) y la ausencia de aprovechamientos en las selvas del jardín botánico “Alfredo Barrera Marín”, Puerto Morelos y la Costa Maya (Whigham *et al.*, 2003; Sánchez e Islebe, 1999; Islebe *et al.*, 2009). Es preciso considerar también que las interacciones múltiples se realizaron sobre un ambiente geoespacial frágil y heterogéneo (pendientes, planadas y lomeríos, suelos frágiles y someros) (Milne, 1991; Chiappy y Gama 2004).

TABLA 5. Comportamiento en el tiempo de los índices de diversidad estructural de las selvas de Noh-Bec Quintana Roo por efectos del huracán “Dean” (1998-2014).

<i>Índices de diversidad estructural</i>	<i>Periodo</i>			<i>P. de t de Hutchenson</i>	
	<i>1998</i>	<i>2010</i>	<i>2014</i>	<i>1998-2010</i>	<i>2010-2014</i>
Índice de diversidad de especies arbóreas (Hs)	1.30 ^a	1.34 ^a	1.20 ^b	Tc = -0.082 Tt = 2.326	Tc = 0.321 Tt = 2.326
Índice de diversidad del tamaño de árboles (Hd)	0.80 ^b	0.92 ^a	0.90 ^a	Tc = -0.335 Tt = 2.326	Tc = 0.222 Tt = 2.326
Índice de diversidad de la altura de árboles (Hh)	0.75 ^b	0.86 ^a	0.86 ^a	Tc = -0.224 Tt = 2.326	Tc = 0.003 Tt = 2.326
Índice promedio de la diversidad estructural (Hsdh = Hs+Hd+Hh/3)	0.95 ^b	1.03 ^a	0.99 ^a	Promedio final 0.99	

Nota: Tc = T calculada, Tt = T tabla, $\alpha = P = 0.01$. Valores con diferentes letras entre columnas son estadísticamente diferentes. ANOVA para medidas repetidas (Tukey ($P \leq 0.5$)).



Implicaciones ecológicas de los daños

Cambios estructurales. Los mayores efectos del huracán sobre la selva fueron las alteraciones sobre su estructura, dosel y sotobosque, variaciones que han sido registradas también por Bellingham *et al.* (1995) y de Gouvenain y Silander (2003) para otras selvas afectadas en el Caribe. La dinámica ecológica en el tiempo de estas selvas inicia con las perturbaciones que transformaron la abundancia de especies y la arquitectura de los árboles de la comunidad (*d* y *h*), tal como lo sustentan Franklin, Drake, McConkey Tonga y Smith (2004) y Turton y Siegenthaler (2004). El efecto inmediato es la formación de grandes superficies de claros que Vandermeer *et al.* (1995), denomina “nichos de regeneración”. La selva se transforma de esta manera en un mosaico caracterizado por diversas intensidades de luz y microclimas (Everham y Brokaw, 1996). Este proceso, propició en Noh-Bec un crecimiento (1998-2010) y decrecimiento de la densidad (2010-2014), con efectos similares en el área basimétrica (Tabla 4). La densidad promedio registrada para la región en $CD \geq 10$ cm es de 439 árboles fustales por hectárea (Negreros-Castillo *et al.*, 2014; Tadeo, Santos, Ángeles y Torres, 2014) y de 6068 brinzales por hectárea (Carreón-Santos y Valdez-Hernández, 2014); ambos valores aumentaron 40% y 254% para el año 2010. De acuerdo con Vandermeer *et al.* (2001, 2004), el incremento fue efecto de la regeneración inicial en claros (proveniente del banco o lluvia de semillas), que se incorporaron a la regeneración de avanzada. Sin embargo, los resultados del muestreo del año 2014 indican el inicio de la fase de exclusión mencionada por Smith, Larson, Kely y Ashton (2007), caracterizada por la competencia, en el que los brinzales y latizales se imponen a las débiles, que mueren en un proceso llamado “supresión”. Con relación a G, esta crece en una primera etapa para reducirse posteriormente como efecto del crecimiento de la densidad y de los árboles sobrevivientes (Walker, Lodge, Guzmán-Grajales y Fetcher, 2003) (Tabla 4). El aumento de la densidad y de G es parte de los beneficios para la silvicultura, que se discutirán más adelante, ya que el sistema silvícola aplicado en la actualidad no favorece la regeneración de varias especies de interés forestal (Sorensen, 2006; Negreros-Castillo *et al.*, 2014). Este proceso ecológico es uno de los mecanismos evolutivos que favorecen el mantenimiento de la diversidad existente en estos ecosistemas (desde la perspectiva de la teoría del disturbio

intermedio) (Connel, 1975). La recuperación de la comunidad arbórea forma parte de los umbrales de resiliencia (capacidad de absorción de perturbaciones sin perder la capacidad de resiliencia) mencionados por Scheffer y Carpenter (2003) y Walker *et al.* (2003), como está sucediendo en las selvas de Noh-Bec y otras áreas de Quintana Roo que han sido afectadas por huracanes (Whigham *et al.*, 2003).

Importancia de las especies. Al analizar el comportamiento de los valores de dominancia, densidad y frecuencia de las especies expresados en el IVI del periodo 1998-2014, se observan dos hechos, una composición nativa que se mantiene intacta y cambios en los valores de IVI para varias especies. En el primer caso no se detectaron evidencias de invasión de especies, como ha sido en otras áreas, donde se inician procesos de degradación (Angulo-Sandoval, Fernández-Marín, Zimmerman y Aide 2004). En el segundo caso se registraron los valores más altos de IVI en 10 de un total de 65 especies, los cuales en su mayoría son casi las mismas especies con valores altos de IVI registrados para áreas adyacentes en Quintana Roo (Navarro-Martínez *et al.*, 2012; Carreón-Santos y Valdez-Hernández, 2014). Sobresalen los valores de IVI de *P. reticulata*, *A. yucatanensis* y *M. zapota*, por encima de las otras siete especies. Como factores causales, Vandermeer *et al.* (2004) mencionan la resistencia y capacidad de respuesta de cada especie ante las perturbaciones y los factores ambientales (principalmente la luz). El descenso del IVI de varias especies que tienen aprovechamiento forestal como *Swietenia macrophylla*, tiene relación con las prácticas silvícolas que han reducido sus densidades y no han favorecido su regeneración (Dickinson y Whigham, 1999; Grogan *et al.*, 2014); sin embargo, la apertura de claros mayores por el huracán tiende a favorecer la repoblación de estas especies como ha sido señalado por Snook (2003). La intolerancia a la sombra (heliófitas) prevalece en 80% de las especies con mayor IVI, por lo que su capacidad de regeneración contribuye al crecimiento de sus densidades poblacionales (Sorensen, 2006). Ecológicos como Díaz y Cabido (2001) y Salgado-Negret (2007), enfatizan las interrelaciones funcionales de las especies de mayor importancia de las comunidades, destacando su papel en el mantenimiento de procesos funcionales del ecosistema. La resiliencia del sistema depende de estas especies clave, como generadores de un nuevo desarrollo, ante las perturbaciones recibidas (Thompson, 2011).

Diversidad estructural. El aumento en los valores de la diversidad estructural de la selva entre 1998-2010, para disminuir entre 2010 y 2014, independientemente, de su baja significancia estadística, comprende una serie de cambios temporales que fueron originados por las perturbaciones del huracán sobre la estructura de la selva. Estos cambios expresan el efecto combinado de las perturbaciones naturales y silvícolas en el aumento de la diversidad estructural (Ostertag, Silver y Lugo, 2005; Sánchez-Correa, 2011). El estado de salud del sistema fue alterado, pero mantiene un proceso de recuperación, al igual que la riqueza y abundancia de especies y las estructuras vertical (alturas) y horizontal (diámetros). La importancia del análisis radica en su enfoque complejo, integrado por metodologías clásicas, para determinar la diversidad de especies (Shannon-Wiener, 1949 citado por Magurran (2004), enriquecida con los enfoques actuales de diversidad estructural (Staudhammer y LeMay, 2001; Lei *et al.*, 2009), que significa, diversidad en la composición y tamaños (Hs, Hd, Hh y Hsdh). Este atributo, complejo, depende de elementos estructurales del ecosistema, su posición o distribución espacial, diversidad y mezcla de especies y diferenciación, tanto vertical como horizontal, de su rango de variación y de la mayor o menor presencia (abundancia relativa) de cada uno de ellos y el rol de las perturbaciones recibidas (Del Río, Montes, Cañellas y Montero, 2003).

Implicaciones silvícolas de los daños

Para las selvas que se encuentran bajo alguna categoría de protección, o las que no tienen algún tipo de uso, los daños del huracán pasan “aparentemente desapercibidos”. En el caso de las selvas bajo manejo forestal, como Noh-Bec, el impacto inmediato crea un escenario de desfavorable, para el programa de manejo forestal, derivado de los daños que han recibido la selva, la infraestructura, la materia prima forestal y los servicios ecosistémicos ofertados. Sin embargo, las valoraciones realizadas indican que el siniestro no es total, su resiliencia natural manifiesta procesos de restauración y regeneración de especies. Las cuales generan perspectivas de mejora de la estructura y composición de especies de interés forestal, lo que es función de un buen manejo forestal. La multitud de claros generados son parte de los beneficios para el sistema silvícola, pues forman los nichos de regeneración y repoblación de especies. Especialmente aquellas

que han sido reducidas en sus densidades poblacionales por los aprovechamientos forestales, como *S. macrophylla*, *L. latifolium*, *S. cubensis*, *C. mollis*, *P. yucatanum*, *C. dedecandra* y *P. ellipticum*. Estas especies son en su mayoría heliófitas durables demandantes de luz y los claros abiertos las favorecen. La regeneración desencadenada debe ser atendida, a partir de un plan de tratamientos silvícolas que conduzcan a la obtención de las densidades poblacionales adecuadas (mediante raleos y aclareos), para posteriormente promover su crecimiento. Los árboles sobrevivientes deben ser objeto de rescate mediante la aplicación de tratamientos de liberación, cortas de mejoramiento y saneamiento, así como de podas sanitarias y de formación. Este conjunto de tratamientos emergentes posthuracán, y los otros que se requieran en el tiempo deben formar parte de todo programa de manejo forestal para las selvas que tienen manejo en la PY.

CONCLUSIONES

El huracán “Dean” ocasionó daños significativos en más de 50% de los árboles de diversos tamaños que forman parte de las selvas de Noh-Bec. Proporción de daños que fue ligeramente mayor respecto a otras áreas afectadas en Quintana Roo. Entre los factores causales de las magnitudes de daños destacan la interacción simultánea de los vientos con varios atributos de la selva, en los rodales donde hubo aprovechamientos forestales en distintos años. Los de mayor peso fueron: densidad de la madera (380.12), diámetros (2.32) y la edad de los aprovechamientos (1.98).

Las perturbaciones generadas interrumpieron los procesos ecológicos naturales de la selva como ecosistema, ocasionaron cambios sobre la estructura, orden de importancia de las especies y diversidad estructural de la comunidad arbórea, pero no afectaron su resiliencia; por lo tanto, no se generaron condiciones que conduzcan a su degradación total, para finalmente propiciar un cambio de uso del suelo de selva bajo manejo a superficies agropecuarias. El efecto inmediato de los cambios estructurales fue la disminución de la productividad ecológica, que impacta la productividad forestal de la selva; pero a mediano plazo se inician procesos paulatinos de recuperación, tal como se observó en las variables analizadas.

Entre los beneficios a mediano plazo que generó el impacto, se encuentra la regeneración y repoblación de las especies



arbóreas de la selva, resultado de la apertura de claros de mayores dimensiones. Esto se manifiesta entre las especies forestales tolerantes a la luz, como *S. macrophylla*, *S. salvadorensis*, *L. latifolium*, *S. cubensis*, *C. mollis*, *P. yucatanum* y *C. dedecandra*, que habitualmente presentan problemas de regeneración. Lo anterior, posibilita la recuperación de las densidades poblacionales de estas especies a mediano y largo plazo, pero habrá que diseñar tratamientos silvícolas que favorezcan su desarrollo a futuro.

RECONOCIMIENTOS

Este artículo es parte de los productos del proyecto de investigación doctoral “Efectos del huracán Dean sobre la regeneración de la selva bajo manejo forestal de Noh-Bec Quintana Roo”; cuyas ideas preliminares se gestaron en el Colegio de la Frontera Sur, fue desarrollada y llevada a cabo finalmente en la División de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Mis agradecimientos a todos los que participaron en sus diversas etapas, especialmente a los productores y autoridades del ejido de Noh-bec, Quintana Roo. Un reconocimiento al Dr. Odilón Sánchez Sánchez del CITRO de la Universidad Veracruzana, por la lectura y sugerencias de mejora del manuscrito final.

REFERENCIAS

- Angulo-Sandoval, P., Fernández-Marín, H., Zimmerman, J. K., & Aide, T. M. (2004). Changes in patterns of understory leaf phenology and herbivory following hurricane damage. *Biotrópica*, 36(1), 60-67. doi: 10.1646/03002
- Bautista, Z. F., & Palacio, A. G. (Eds.) (2005). *Caracterización y manejo de los suelos de la Península de Yucatán: implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales*. Campeche. México: Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Bellingham, P. J., Tanner, E. V. J., & Healey, J. R. (1995). Damage and responsiveness of Jamaican montane rain forest tree species after disturbance by a hurricane. *Ecology*, 76(8), 2562–2580. doi: 10.2307/2265828
- Bocco, G., Mendoza, M., & Masera, O. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas*, 44, 18-38.
- Boose, E. R., Serrano, M. I., & Foster, D. R. (2004). Landscape and regional impacts of hurricanes in Puerto Rico. *Ecological Monographs*, 74(2), 335-352. doi: 10.1890/02-4057
- Bray, D., Durán, E., Merino, L., Torres, J. M., & Velázquez, A. (2007). *Nuevas evidencias: los bosques comunitarios de México protegen el ambiente, disminuyen la pobreza y promueven paz social*. México D. F.: Publicaciones CCMSS.
- Brokaw, N. V. L., & Walker, L. R. (1991). Summary of the effects of Caribbean hurricanes on vegetation. *Biotrópica*, 23(4a), 442-447. doi: 10.2307/2388264
- Burslem, D. F. R. P., Whitmore, T. C., & Brown, G. C. (2000). Short-term effects of cyclone impact and long-term recovery of tropical rain forest on Kolombangara, Solomon Islands. *Journal of Ecology*, 88, 1063–1078. doi: 10.1046/j.1365-2745.2000.00517.x
- Cancino, J., & von Gadow, K. (2002). Stem number guide curves for uneven-aged forests – development and limitations. En K. von Gadow, J. Nagel, & J. Saborowski (Eds.). *Continuous cover forestry* (163–174). Dordrecht: Kluwer Academic Press. doi: 10.1007/978-94-015-9886-6_13
- Carreón-Santos, R. J., & Valdez-Hernández, J. I. (2014). Estructura y diversidad arbórea de vegetación secundaria derivada de una selva mediana subperennifolia en Quintana Roo. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23, 119-130.
- Céspedes-Flores, S. E., & Moreno-Sánchez, E. (2010). Estimación del valor de la pérdida de recurso forestal y su relación con la reforestación en las entidades federativas de México. *Investigación Ambiental*, 2(2), 5-13.
- Comisión Nacional Forestal [Conafor]. (2012). *Inventario Nacional Forestal y de Suelos: Informe de Resultados 2004-2009* (1a ed.). Zapopan Jalisco, México: Semarnat.
- Connell, J. H. (1975). Some mechanisms producing structure in natural communities: a model and evidence from field experiments. En M. L. Cody, & J. M. Diamond (Eds.). *Ecology and evolution of communities* (460-490). Cambridge: Harvard University Press.
- Corral-Rivas, J. J., Vargas-Larreta, B., Wehemkel, C., Aguirre-Calderón, O. A., Crecente-Campo, F. (2013). *Guía para el establecimiento, seguimiento y evaluación de sitios permanentes de monitoreo en paisajes productivos forestales*. Durango, México: Conafor-Conacyt.
- Curtis, J. T., & McIntosh, R. P. (1951). An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology*, 32(3), 476-496. doi: 10.2307/1931725
- Chapela, F. (2009). *Reporte sobre el estado de los bosques mexicanos. Documento de discusión*. México D.F.: Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible-USAID.
- Chiappy, C., & Gama, L. (2004). Modificaciones y fragmentación de los geocomplejos tropicales de la Península de Yucatán. *Universidad y Ciencia*, 1, 17-25.

- De Gouvenain, R. C., & Silander Jr., J. A. (2003). Do tropical storm regimes influence the structure of tropical lowland rain forests? *Biotropica*, 35(2), 66–80. doi: 10.1111/j.1744-7429.2003.tb00276.x
- Del Río, M., Montes, F., Cañellas, I., & Montero, G. (2003). Índices de diversidad estructural en masas forestales. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales*, 12(1), 159-176.
- Díaz, S., & Cabido, M. (2001). Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology y Evolution*, 16(11), 646–655. doi: 10.1016/S0169-5347(01)02283-2
- Dickinson, M.B., & Whigham, D. F. (1999). Regeneration of mahogany (*Svietenia macrophylla*) in the Yucatan. *International Forestry Review*, 1(1), 35-39.
- Everham, E. M., & Brokaw, N. V. L. (1996). Forest damage and recovery from catastrophic wind. *Botanical Review*, 62(2), 113-185. doi: 10.1007/BF02857920
- Ferrando, J. J., Louman, B., Finegan, B., & Guariguata, M. (2001). Pautas ecológicas para el manejo de bosques naturales afectados por huracanes en la costa Norte de Honduras. Comunicación Técnica. *Revista Forestal Centroamericana*, 34, 28-34.
- Finegan, B. (1993). *Bases ecológicas para la silvicultura. Los Gremios de especies. Serie de Manejo de Bosques Tropicales*. Turrialba Costa Rica: CATIE.
- Franklin, J., Drake, D. R., McConkey, K. R., Tonga, F., & Smith, L. B. (2004). The effects of Cyclone Waka on the structure of lowland tropical rain forest in Vava'u, Tonga. *Journal of Tropical Ecology*, 20(4), 409–420. doi: 10.1017/S0266467404001543
- Fredericksen, T., Contreras, F., & Pariona, W. (2001). *Guía de Silvicultura para Bosques Tropicales de Bolivia*. Santa Cruz, Bolivia: Proyecto Bolfor.
- Grogan, J., Landis, R. M., Free, C. M., Shulze, M. D., Lentini M., & Aston, M. S. (2014). Big-leaf Mahogany *Svietenia macrophylla* population dynamics and implications for sustainable management. *Journal of Applied Ecology*, 51(3), 664-674. doi: 10.1111/1365-2664.12210
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC] (2013). *Working Group I contribution to the IPCC fifth assessment report (AR5), climate change 2013: The physical science basis*. Estocolmo, Suecia: IPCC.
- Islebe, G. A., Torrescano-Valle, N., Valdez-Hernández, M., Tuz-Novelo, M., & Weissenberger, H. (2009). Efectos del impacto del huracán Dean en la vegetación del sureste de Quintana Roo, México. *Foresta Veracruzana*, 11(1), 1-6.
- Koleff, P., Urquiiza-Hass, T., & Contreras, B. (2012). Prioridades de conservación de los bosques tropicales en México: reflexiones sobre su estado de conservación y manejo. *Ecosistemas*, 21(1-2), 6-20.
- Lei, X., Wang, W., & Peng, C. (2009). Relationships between stand growth and structural diversity in spruce-dominated forests in New Brunswick, Canada. *Canadian Journal of Forestry Research*, 39, 1835–1847. doi: 10.1139/X09-089
- Lugo, A. E. (2008). Visible and invisible effects of hurricanes on forest ecosystems: an international review. *Austral Ecology*, 33, 368–398. doi: 10.1111/j.1442-9993.2008.01894.x
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring biological diversity*. Malden, Mass. EU: Blackwell Publishers,
- Milne, B. T. (1991). Heterogeneity as a multiscale characteristic of landscape studies. En J. Kolasa, & S. T. A. Pickett (Eds.). *Ecological Heterogeneity* (69-84). Nueva York: Springer-Verlag.
- Miranda, F., & Hernández-X, E. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 28(1), 29-179. doi: 10.17129/botsoci.1084
- National Oceanic and Atmospheric Administration [NOAA]. (2016). *Hurricane history: hurricane season tropical cyclone reports of Atlantic, Caribbean, and the Gulf of México (1995-2016)*. Miami, EEUU: NOAA. Recuperado de <http://www.nhc.noaa.gov/>.
- Navarro-Martínez. M. A., Durán-García, R., Méndez-González, M. (2012). El impacto del huracán “Dean” sobre la estructura y composición arbórea de un bosque manejado en Quintana Roo, México. *Madera y Bosques*, 18(1), 57-76. doi: 10.21829/myb.2012.1811138
- Negreros-Castillo, P., Cámara-Cabrales, L., Devall, M. S., Fajvan, M. A., Mendoza B., M. A., Mize, C. W, & Navarro-Martínez, A. (2014). *Silvicultura de las selvas de caoba en Quintana Roo, México: consideraciones para su manejo*. México: Cofan-Conafor.
- Ordóñez-Díaz, J. A. B., Galicia N., A., Venegas M., N. J., Hernández T., T., Ordóñez D., M. J., & Dávalos-Sotelo, R. (2015). Densidad de las maderas mexicanas por tipo de vegetación con base en la clasificación de J. Rzedowski. *Madera y Bosques*, 21(Núm. esp.), 77-126. doi: 10.21829/myb.2015.210428
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]-Organización de las Naciones Unidas para la Ciencia y la Cultura [Unesco] (1998). *Base de Referencia para los Suelos del Mundo*. Roma Italia: FAO-Unesco.
- Ostertag, R., Silver, W.L., & Lugo, A. E. (2005). Factors affecting mortality and resistance to damage following hurricanes in a rehabilitated subtropical moist forest. *Biotropica*, 37(1), 16–24. doi: 10.1111/j.1744-7429.2005.04052.x
- Pennington, T. D., & Sarukhán J. (1968). *Manual para la identificación de campo de los principales árboles tropicales de México*. México D.F.: FAO/Instituto Nacional de Investigaciones Forestales.
- Pohlman, C. L., Goosem, M., & Turton, S. M. (2008). Effects of severe tropical cyclone Larry on rainforest vegetation and understorey microclimate near a road, power line and stream. *Austral Ecology*, 33, 503-515. doi: 10.1111/j.1442-9993.2008.01905.x
- Prodan, M., Peters, R., Cox, F., & Real, P. (1997). *Mensura Forestal. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura*. San José



- Costa Rica: BMZ/GTZ sobre Agricultura, Recursos Naturales y Desarrollo Sostenible.
- Ramírez S., E. (1999). *Mapa de localización y base de datos de las parcelas permanentes de muestreo (PPM) del ejido de Noh-Bec, Quintana Roo*. Noh-Bec Quintana Roo México: Oficina Forestal/Dirección Técnica Forestal.
- Ramírez-Barajas, P. J., Islebe, G., & Torrescano, V. N. (2012). Perturbación post-huracán Deán en el hábitat y la abundancia relativa de vertebrados mayores de la Selva Maya, Quintana Roo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83, 1194-1207. doi: 10.7550/rmb.27964
- Registro Agrario Nacional [RAN] (2016). *Padrón histórico de núcleos agrarios*. Recuperado de <http://www.ran.gob.mx/ran/index.php>.
- Salazar-Vallejo, S. I. (2002). Huracanes y biodiversidad costera tropical. *Revista de Biología Tropical*, 50(2), 415-428.
- Salgado-Negret, B. (2007). *Definición de tipos funcionales de especies arbóreas y caracterización de su respuesta a diferentes intensidades de perturbación en un bosque muy húmedo tropical mesoamericano*. Tesis de maestría, CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Sánchez, S. O., & Islebe, G. A. (1999). Hurricane Gilbert and structural change in a tropical forest in South-eastern México. *Global ecology and Biogeography*, 8(1), 29-38. doi: 10.1046/j.1365-2699.1999.00317.x
- Sánchez-Correa, J. J. (2011). *Caracterización funcional de especies arbóreas relacionada con la recuperación del bosque tras el impacto del huracán Félix, y sus implicaciones en el manejo sostenible del recurso forestal, RAAN, Nicaragua*. Tesis de maestría, Turrialba, Costa Rica.
- Scheffer, M., & Carpenter, S. R. (2003). Catastrophic regime shifts in ecosystems: linking theory to observation. *TRENDS in Ecology and Evolution*, 18(12), 648-656. doi: 10.1016/j.tree.2003.09.002
- Smith, D. M., Larson, B. C., Kelty, M. J., & Ashton, M. (2007). *The practice of silviculture: Applied forest ecology* (9a ed.). EU: Wiley Authenticity Guarantee.
- Snook, L. 2003. Regeneration, growth and sustainability of mahogany in Mexico's Yucatan forests. En A. Lugo, J. Figueroa-Colón, & M. Alayón (Eds.), *Big-leaf mahogany ecology, genetics and management* (169-192). New York: Springer-Verlag.
- Sorensen, N. S. (2006). *Regeneration and growth of several canopy tree species in the maya forest of Quintana Roo, México: The role of competition and microhabitat conditions*. Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in Forest Science. Oregon State University, EU.
- Staudhammer, C. L., & LeMay, V. M. (2001). Introduction and evaluation of possible indices of stand structural diversity. *Canadian Journal of Forest Research*, 31(7), 1105-1115. doi: 10.1139/x01-033
- Tadeo, N. A. E., Santos P. H. M., Ángeles, P. G., & Torres, P. J. A. (2014). Muestreo por conglomerados para el manejo forestal en el ejido Noh-Bec Quintana Roo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(25), 64-83.
- Thompson, I. (2011). Biodiversidad, umbrales ecosistémicos, resiliencia y degradación forestal. *Unasyba*, 238, 62(2), 25-30.
- Turton, S. M., & Siegenthaler, D. T. (2004). Immediate impacts of a severe tropical cyclone on the microclimate of a rain-forest canopy in north-east. *Journal of Tropical Ecology*, 20(5), 583-588. doi: 10.1017/S0266467404001622
- Vandermeer J., Boucher, D. H., Granzow de la Cerda, I., & Perfecto, I. (2001). Growth and development of the thinning canopy in a post-hurricane tropical rain forest in Nicaragua. *Forest Ecology and Management*, 148(1-3), 221-42. doi: 10.1016/S0378-1127(00)00538-7
- Vandermeer, J. H., & Granzow de la Cerda, I. (2004). Height dynamics of the thinning canopy of a tropical rain forest: 14 years of succession in a post-hurricane forest in Nicaragua. *Forest Ecology and Management*, 199(1), 125-135. doi: 10.1016/j.foreco.2004.05.033
- Vandermeer, J., Mallona, M. A., Boucher, D., Yih, K., & Perfecto, I. (1995). Three years of ingrowth following catastrophic hurricane damage on the Caribbean coast of Nicaragua - evidence in support of the direct regeneration hypothesis. *Journal of Tropical Ecology*, 11(3), 465-471. doi: 10.1017/S0266467400008956
- Walker, L. R., Lodge, D. J., Guzman-Grajales, S. M., & Fetcher, N. (2003). Species-specific seedling responses to hurricane disturbance in a Puerto Rican rain forest. *Biotrópica*, 35(4), 472-485. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/30043069>.
- Weaver, P. L. (2002). A chronology of hurricane induced changes in Puerto Rico lower montane rain forest. *Interciencia*, 27(5), 1-5.
- Whigham, D. F., Olmsted, I., Cabrera, C. E., & Curtis, A. B. (2003). Impacts of hurricanes on the forests of Quintana Roo, Yucatan Peninsula, México. In A. Gómez-Pompa, M. E. Allen, S. L. Fedick, & J. J. Jiménez-Osornio (Eds.) *Lowland maya área: Three millennia at the human-wildland interface*. Binghamton, NY: Food Products Press.
- Whigham, D. F., Olmsted, I., Cabrera-Cano, E., & Harmon, M. E. (1991). The impact of hurricane Gilbert on trees, litterfall, and woody debris in a dry tropical forest in the Northeastern Yucatan Peninsula. *Biotrópica*, 23(4a), 434-441. doi: 10.2307/2388263

Manuscrito recibido el: 16 de junio de 2017

Aceptado el: 21 de noviembre de 2017

Publicado el: 25 de septiembre de 2018

Este documento se debe citar como:

Pat-Aké, I., Cámara-Cabrales, L.C., Ward, S., Martínez-Zurimendi, P., Martínez-Sánchez, J. L., Negreros-Castillo, P., & Sorensen, N. (2018). Efecto del huracán Dean en la dinámica estructural de selvas bajo manejo forestal en Quintana Roo, México. *Madera y Bosques*, 24(2), e2421585. doi: 10.21829/myb.2018.2421585



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Anexo I. Índice de Valor de Importancia (IVI): fórmulas (Curtis y McIntosh, 1951)

$$IVI = DoR + DR + FR$$

donde:

IVI: índice de valor de importancia

DoR: dominancia relativa

DR: densidad relativa

FR: frecuencia relativa

$$FR = \frac{FAE}{FAT} * 100$$

donde:

FR: Frecuencia relativa

FAE: frecuencia absoluta por cada especie

FAT: frecuencia absoluta por todas las especies

$$DoR = \frac{DoE}{DoAT} * 100$$

donde:

DoR: dominancia relativa

DoE: dominancia por especie

DoAT: dominancia absoluta de todas las especies

$$DR = \frac{DAE}{AAT}$$

donde:

DR: densidad relativa

DAE: densidad absoluta por cada especie

AAT: altura absoluta de todas las especies

$$DoA = \frac{ABE}{AM}$$

donde:

DoA: Dominancia absoluta

ABE: área basal de una especie

AM: área muestreada

$$DA = \frac{NIE}{AM}$$

donde:

DA: densidad absoluta

NIE: número de individuos de una especie

AM: área muestreada

$$AB = \frac{\pi}{4} (DAP)^2$$

donde:

AB: Área basal

DAP: Diámetro a la altura del pecho

$$FA = \frac{NSE}{NST}$$

donde:

FA: frecuencia absoluta

NSE: número de sitios en los que se presenta cada especie

NST: número total de sitios muestreados



Anexo 2. Índices de diversidad estructural: ecuaciones (Lei et al., 2009).

<i>Índice</i>	<i>Ecuación</i>	<i>Apostilla</i>	<i>Descripción</i>
Índice de diversidad de las especies de arboles	$H_s = - \sum_{i=1}^m p_i \cdot \log p_i$	Donde p_i es la proporción de área basal para la especie i y m es el número de especies	Índice de Shannon-Wiener para todas las especies
Índice de diversidad de tamaño de los arboles (diametros)	$H_d = - \sum_{i=1}^d p_i \cdot \log p_i$	Donde p_i proporción del área basal para la clase diamétrica i y d es el número de clases diamétricas	Índice de Shannon-Wiener por clases diamétricas
Índice de diversidad de la altura de los árboles	$H_h = - \sum_{i=1}^h p_i \cdot \log p_i$	Donde p_i es la proporción del área basal para la clase de altura i y h es el número de clases de altura	Índice de Shannon-Wiener por clases de altura
Índice promedio de diversidad estructural	$H_{sdh} = (H_s + H_d + H_h)/3$	Valor medio de los índices de las especies de árboles, tamaño y altura	Promedio de la diversidad de especies del total, por clases diamétricas y de altura