

El impacto del huracán Dean sobre la estructura y composición arbórea de un bosque manejado en Quintana Roo, México

The impact of the hurricane Dean on the structure and arboreal composition of a managed forest in Quintana Roo, Mexico

Angélica Navarro-Martínez^{1*}, Rafael Durán-García² y Martha Méndez-González²

RESUMEN

Los huracanes son considerados como uno de los factores más determinantes de la estructura y composición de muchos bosques tropicales. En Quintana Roo, estos fenómenos naturales son tan frecuentes que forman parte de la dinámica natural del bosque. El 21 de agosto de 2007, en el centro-sur del Estado, ocurrió el huracán Dean, que afectó alrededor de 900 000 ha de la selva mediana subperennifolia. En este estudio se cuantifican los daños ocasionados sobre la vegetación y se analizan los cambios en la composición de especies y la estructura del bosque afectado por el huracán Dean. Se encontró que la composición del bosque no fue afectada significativamente y que el mayor efecto del huracán fue sobre la estructura del bosque. Los árboles más dañados fueron individuos de especies del sotobosque. Los principales tipos de daño fueron desramado, desenraizado y quebrado o ruptura del tronco. Asimismo, basados en fuentes bibliográficas y algunas observaciones durante el trabajo en campo, se discute el efecto que el aprovechamiento forestal puede tener en cuanto a incrementar la susceptibilidad de estos bosques al daño por viento. Se propone disminuir la cantidad de áreas de concentración de madera (bacadillas) durante la extracción forestal, así como incorporar a los planes de manejo forestal, el aprovechamiento de árboles dañados que ofrezcan alguna utilidad. También se propone el monitoreo a largo plazo de la dinámica de los bosques afectados en relación con los no afectados por huracanes.

PALABRAS CLAVE:

Composición y estructura arbórea, índice de valor de importancia, Selva mediana subperennifolia.

ABSTRACT

Hurricanes are considered among the most important determinants of the structure and composition of many tropical forests. In Quintana Roo, these natural phenomena are part of the natural dynamics of the forest. Hurricane Dean, on of the most recent of these weather events occurred on August 21, 2007, affecting around 900 000 ha of medium semi-evergreen forest. The damage occurred on the

1* Autor para correspondencia; El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal, Av. Centenario, km. 5.5, CP 77014, Chetumal, Quintana Roo, México. c.e.: manava@ecosur.mx

2 Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C., Calle 43, núm. 130, col. Chuburná de Hidalgo, CP 97200, Mérida, Yucatán, México. c.e.: rduran@cicy.mx, mar@cicy.mx

vegetation was quantified and changes in species composition and structure of the forest affected by Hurricane Dean were discussed. It was found that the composition of the forest was not affected. The greatest effect of the hurricane was on the forest structure. Understory trees were more damaged than canopy trees. The main types of damage were the small and medium branch damage, uprooted and snapped trees. Forest management could have increased the susceptibility of this forest to wind damage. The effects of forest management in the susceptibility of the forest are discussed based on bibliographic information and some observations during field sampling. It is proposed to reduce the number of "wood concentration" during logging activity, as well as to incorporate to management plans, the extraction of damaged trees. It is also proposed to monitor the long-term dynamics both of damaged and undamaged forest by hurricanes.

KEY WORDS:

Tree composition and structure, Importance value Index, medium semi-evergreen forest.

INTRODUCCIÓN

Uno de los agentes de disturbio más frecuentes e importantes en los bosques tropicales son los huracanes, los cuales pueden alterar, en poco tiempo, la estructura y la dinámica de las comunidades y de las poblaciones vegetales y animales que en ellos habitan, así como diversos procesos de los ecosistemas (Pickett y White, 1985; Lugo, 2000). El disturbio producido por un huracán afecta la dinámica natural de los ecosistemas al provocar un incremento en las tasas de mortalidad, reclutamiento y crecimiento de las poblaciones que los componen y, en consecuencia, pueden modificar su composición y estructura (Sousa, 1984; Vester y Olmsted, 2000), y alterar los procesos de acumulación y descomposición de biomasa (Harmon *et al.*, 1991; Whigham *et al.*, 1991). El impacto de estos disturbios está fuertemente influen-

ciado, tanto por las características de la vegetación antes del disturbio (composición y tamaño de los árboles), como por la velocidad del viento y la cantidad de precipitación, además de la topografía del lugar y la existencia de aperturas en el dosel (Everham y Brokaw, 1996; Vester y Olmsted, 2000; Chazdon, 2003). A nivel individual, los efectos del huracán pueden depender de las características propias de la especie, como la arquitectura del árbol (incluyendo la profundidad y amplitud de sus raíces), la densidad de su madera, su tamaño, su grado de adaptación a la ocurrencia de estos fenómenos, así como de la fisonomía del parche donde crece el árbol; esto último puede ser modificado por las prácticas de manejo forestal (Rivas *et al.*, 2000; Zeng *et al.*, 2004, 2007; Harcombe *et al.*, 2009).

Por su ubicación, la Península de Yucatán es afectada de forma directa o indirecta por muchos de los huracanes que se forman en el Caribe Occidental. Se ha estimado que durante el periodo de 1871 a 1999, de los 154 ciclones que se formaron en el Océano Atlántico y el Caribe, 45.3% han tocado tierras quintanarroenses (Hernández *et al.*, 2001). El huracán Gilberto (en 1988) y el huracán Wilma (en 2005) afectaron severamente la región norte del estado, en tanto que el Roxana (en 1995) y más recientemente el Dean (en 2007) pasaron por el sur de la península tocando tierra a la altura de Sian Ka'an y, en Campeche, por Calakmul, provocando importantes daños materiales en las zonas urbanas, la agricultura y los ecosistemas.

El huracán Dean, de categoría 5 en la escala de Saffir-Simpson, tocó tierra quintanarroense el 21 de agosto de 2007, con vientos sostenidos hasta de 270 km/h, afectando una superficie de 917,935 ha de selva mediana subperennifolia (26.2% de la superficie forestal estatal) (Gobierno del Estado de Quin-

tana Roo, 2007), en consecuencia se vio afectado el hábitat de una gran diversidad de plantas y animales, algunas de ellas endémicas de la Península de Yucatán y otras bajo alguna categoría de riesgo. Dichos ecosistemas presentan una larga historia de aprovechamiento forestal, de alrededor de 300 años (Navarro, 2011), siendo la caoba (*Swietenia macrophylla* King) la especie más aprovechada. Aunque la literatura sobre los efectos de huracanes en la vegetación de los bosques tropicales es extensa, estos aspectos han sido poco estudiados para la región de estudio, a pesar de la alta ocurrencia de huracanes (Whigham *et al.*, 1991; Sánchez e Islebe, 1999; Vester y Olmsted, 2000; Dickinson *et al.*, 2001; Garrido *et al.*, 2008; Vandecar *et al.*, 2011). Estos aspectos son importantes de considerar porque el aprovechamiento forestal puede incrementar la vulnerabilidad de la selva a los efectos del viento por el aumento en el número y tamaño de los claros y los cambios en la densidad de individuos de las especies extraídas, contar con dicho conocimiento permitiría hacer sugerencias para la mejor planeación de las prácticas de manejo forestal.

OBJETIVOS

El objetivo principal de este estudio fue evaluar los efectos del huracán Dean sobre la estructura y composición de especies arbóreas en un bosque tropical bajo manejo forestal en la zona centro-sur del estado de Quintana Roo. Dado que se contaba con información previa al impacto del huracán, se pudieron analizar los cambios en la composición de especies arbóreas y en la estructura del bosque afectado por el huracán Dean. Además, se evaluó el efecto del manejo forestal sobre la susceptibilidad del bosque ante el impacto de huracán, con base en información bibliográfica dispo-

nible y algunas observaciones durante el trabajo de campo.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en el ejido Xhazil Sur, localizado dentro del área de influencia de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, en el Corredor Biológico Mesoamericano-México, entre los paralelos 19°13'07" y 19°30'36" de latitud norte y los 87°52'40" y 88°06'55" de longitud oeste, en el estado de Quintana Roo (Fig. 1). Xhazil Sur es uno de los ejidos forestales más grandes e importantes de la Zona Maya quintanarroense, ocupa una superficie total de 54 441 ha (RAN-INEGI, 1998), de las cuales 25 000 ha (46%) corresponden al área forestal permanente (área bajo manejo forestal). En esta superficie, la vegetación dominante es la selva mediana subperennifolia (Miranda, 1978), la cual alberga una enorme diversidad de plantas y animales. El bosque en la región alcanza una altura de 24 m y contiene alrededor de 100 especies de árboles, siendo las más abundantes *Manilkara zapota* (L.) P. Royen, *Brosimum alicastrum* Sw. y *Bursera simaruba* (L.) Sarg. (Vester *et al.*, 2005). El clima es del tipo Aw(x')i, cálido sub-húmedo con lluvias en verano y parte del invierno (García, 1987). La temperatura y la precipitación promedio anual son de 26 °C y 1234 mm, respectivamente. Los suelos que predominan, de acuerdo con la clasificación maya, son: tze'kel (litosol y rendzina), ak'alche (gleysol), ya'ax hom (vertisol) (Sánchez-Sánchez e Islebe, 2002).

Anualmente, estos bosques están expuestos a la incidencia e impacto de tormentas tropicales y huracanes, los cuales juegan un papel importante en la dinámica del bosque, Sin embargo, se

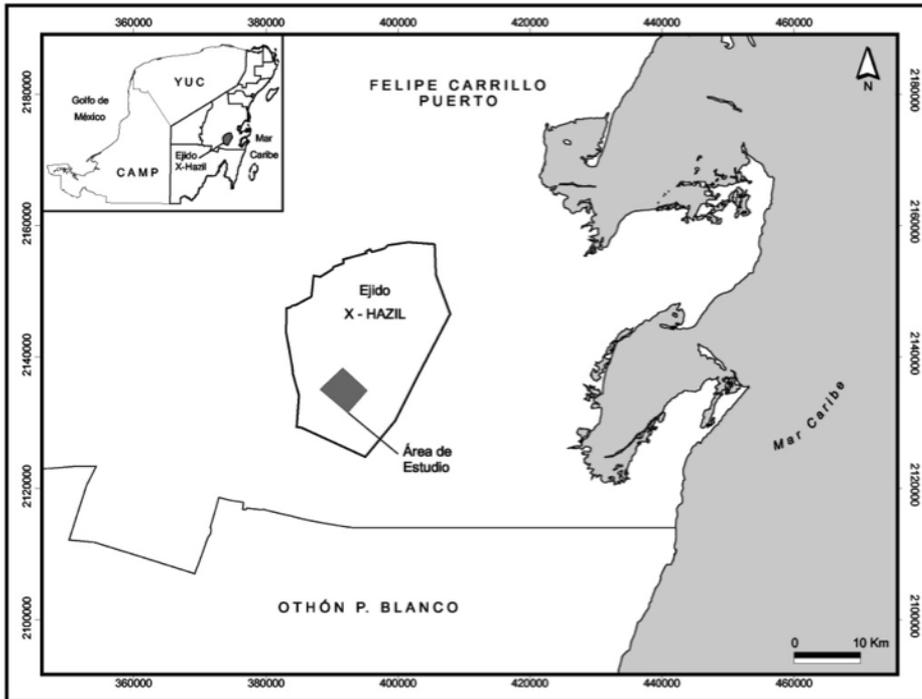


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

considera que estos bosques han desarrollado una resiliencia elevada, ya que han logrado adaptarse a una historia de por lo menos 3000 años de impactos frecuentes de huracanes (Whigham *et al.*, 1991), incendios forestales y actividades humanas (Turner, 1978). Además, en esta región, el bosque es cosechado selectivamente a una baja intensidad (1 m³/ha en promedio). La cosecha se realiza en el Área Forestal Permanente del ejido, la cual es manejada para la producción de madera y otros productos forestales. El manejo forestal se lleva a cabo por las propias comunidades bajo un plan de manejo basado en el inventario de árboles mayores de 10 cm de diámetro a la altura del pecho (dap1,3 m del suelo) de todas las especies para

determinar niveles de cosecha sustentable.

En el área de estudio, el huracán Dean pasó siendo de categoría 4 en la escala de Saffir-Simpson, con una velocidad del viento de 210 km/h a 249 km/h (Rogan *et al.*, 2011); en tanto que la precipitación alcanzó un valor de 81 mm durante las primeras 48 horas (Hernández, s/a).

Evaluación del daño

Durante 2003 y 2004 se establecieron ocho parcelas de una hectárea (500 x 20 m) distribuidas al azar, dentro del área forestal permanente del ejido Xhazil Sur,

con la finalidad de conocer las etapas de desarrollo del bosque, así como determinar la estructura y composición de la selva mediana subperennifolia en este ejido. Tras el paso del huracán Dean, que fue en agosto del 2007, entre enero y febrero de 2008 se evaluó en estas ocho parcelas el daño ocasionado por este fenómeno sobre el arbolado mayor o igual a 10 cm de dap. En cada parcela se identificaron las especies y se midió el dap y la altura total de cada individuo. El tipo de daño experimentado por cada individuo fue determinado de acuerdo con la clasificación siguiente: 1) desenraizado (derribado con exposición de raíces), 2) descopado (sin ramas desde la base de la copa), 3) desramado (ramas secundarias quebradas), 4) quebrado (tronco quebrado), 5) inclinado (sin exposición de raíces), 6) doblado, 0) sin daño. Además, se anotaron los árboles que se observaron muertos en pie después del huracán. Cuando el tronco se quebró (categoría 4), se tomó la altura a la cual se ocasionó el daño. Cuando los árboles fueron derribados sólo se les midió el dap. Para facilitar el análisis y hacer comparables los resultados con otros estudios en la región, se agruparon las clases de daño en tres grupos principales: 1) daño ligero (clase 0 + clase 3), 2) daño moderado (clase 5 + clase 6) y 3) daño severo (clase 1 + clase 2 + clase 4).

Cambios en la composición y estructura del bosque

Debido a que se contaba con información previa al huracán para el arbolado grande (dap > 30 cm), en las mismas parcelas, se analizaron los cambios ocurridos en la estructura y composición del bosque. Se calculó además la riqueza de especies, densidad e índices de valor de importancia y la diversidad pre y post-huracán. Para calcular el valor de importancia se

empleó el Índice de Valor de Importancia: $IVI = \text{densidad relativa} + \text{dominancia relativa} + \text{frecuencia relativa}$ (Mueller-Dombois & Ellenberg, 1974). La diversidad fue calculada mediante el Índice de Shannon (Magurran, 2004), usando del programa EstimateS 8. 2.0. La equitatividad fue obtenida mediante la ecuación

$$E = \frac{H^1}{\log(n)}$$

donde H^1 es el índice de diversidad de Shannon-Wiener y n es el número total de individuos (Magurran, 2004). Para evaluar el efecto del huracán sobre la estructura del bosque se realizó una prueba T para muestras pareadas para un factor (huracán) con dos niveles (antes y después), mediante el uso del programa SPSS versión 16.

RESULTADOS

Evaluación del daño

Se registraron un total de 1486 árboles mayores a 10 cm de dap, pertenecientes a 71 especies, 59 géneros y 32 familias. De estos árboles, 37 (2,4%) resultaron muertos después del huracán, pero debido a que éstos habían sido registrados como "moribundos" en el censo prehuracán, no se incluyeron en el análisis. Del arbolado muestreado, 88,3% presentó algún tipo de daño, siendo los más comunes el desramado (28,9%), el desenraizado (24,7%) y el quebrado (22,4%) (Fig. 2). De las especies más abundantes, las más afectadas fueron *Pouteria reticulata* (Engl.) Eyma, *Exothea paniculata* (Juss.) Radlk. y *Gymnanthes lucida* Sw., con alrededor de 80% de los árboles de estas especies severamente dañados (Tabla 1). Estas especies, son típicas del sotobosque y generalmente no alcanzan grandes tallas dentro del bosque, al menos en el área de estudio.

Tabla 1. Variación en el tamaño promedio de los árboles y el porcentaje de daño ocasionado por el huracán Dean en las 12 especies más abundantes del ejido Xhazil Sur, Quintana Roo. AB = Área basal; dap = Diámetro a la altura del pecho. La clasificación de daño se refiere a la intensidad de daño más que a un porcentaje, como se indica enseguida: 1) daño ligero (clase 0 + clase 3); 2) daño moderado (clase 5 + clase 6) y 3) daño severo (clase 1 + clase 2 + clase 4). En el texto se describe cada clase de 0 a 6.

Especie	N	dap max (cm)	dap promedio (cm)	AB (m ² /ha)	Ligero	Moderado	Severo
Todos los individuos	1449	93,5	28,9	123,0	40,6	8,1	51,3
Especies más abundantes	1120	93,5	30,4	93,1	43,7	6,9	49,4
Especies poco abundantes	466	73,5	25,7	30,1	30,5	10,3	59,2
<i>Manilkara zapota</i>	287	92	36,1	35,5	53,7	4,2	42,2
<i>Bursera simaruba</i>	146	80,5	30,3	11,8	59,6	4,1	36,3
<i>Pouteria reticulata</i>	99	32,5	18,5	2,9	7,1	10,1	82,8
<i>Caesalpinia gaumeri</i>	93	93,5	37,1	11,9	41,9	0,0	58,1
<i>Gynnanthes lucida</i>	78	30,5	13,7	1,2	9,0	11,5	79,5
<i>Ottoschulzia pallida</i>	69	77	28,5	5,4	49,3	5,8	44,9
<i>Vitex gaumeri</i>	64	83,2	41,7	9,9	73,4	4,7	21,9
<i>Brosimum alicastrum</i>	42	60,8	34,6	4,2	57,1	4,8	38,1
<i>Metopium brownei</i>	38	50	29,1	3,1	42,1	18,4	39,5
<i>Exothea paniculata</i>	37	40	19,3	1,3	13,5	5,4	81,1
<i>Swartzia cubensis</i>	35	69,5	39,3	4,9	65,7	5,7	28,6
<i>Lonchocarpus xuul</i>	32	35,2	17,2	0,8	9,4	40,6	50,0

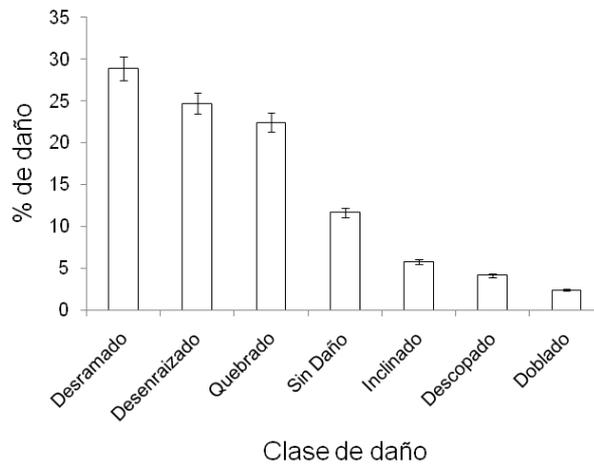


Figura 2. Daños ocasionados al arbolado mayor a 10 cm de dap por el huracán Dean en el bosque manejado de Xhazil Sur, Quintana Roo. N = 1449.

De las especies comerciales, *M. zapota*, *B. simaruba* y *Metopium brownei* (Jacq.) Urb. también tuvieron un porcentaje importante de árboles severamente dañados, mayor a 35%. Sin embargo, *Swietenia macrophylla*, la caoba, especie guía en los aprovechamientos forestales, resultó altamente resistente a los vientos huracanados, ya que de los once árboles encontrados en el área de estudio, la mayor parte (54,5%), sólo sufrió el rompimiento de ramas pequeñas y medianas, únicamente dos árboles (18%) fueron derribados y sólo un árbol pequeño (dap < 30 cm) se quebró.

Al relacionar la clase de daño con el tamaño de los individuos se encontró que el total de los árboles pequeños (dap < 30 cm) sufrieron algún tipo de daño; mientras que de los árboles grandes (dap > 30 cm), 22,1% no presentó daño alguno. De los árboles pequeños la mayor proporción de individuos fue desenraizada (41% de los árboles en promedio) y quebrada (34% de los árboles en promedio); mientras que los árboles grandes sufrieron

principalmente el rompimiento de ramas pequeñas y medianas (45% de los árboles en promedio) (Fig. 3). De los árboles grandes, *Caesalpinia gaumeri* Greenm. (32%), *M. zapota* (14,4%) y *Swartzia cubensis* (Britton & P. Wilson) Standl. (10%), presentaron los porcentajes más altos de árboles quebrados. En tanto que *Pseudobombax ellipticum* (Kunth) Dugand (20%), *B. simaruba* (8,4%) y *M. zapota* (6,4%), fueron las especies con mayor proporción de individuos desenraizados.

Cambios en la composición y estructura del bosque

Antes del huracán se registró un total de 788 árboles grandes (> 30 cm de dap) pertenecientes a 50 especies, 39 géneros y 24 familias. Después del huracán, el número de individuos en esta categoría disminuyó a 756, lo cual representa una pérdida de 4,1 % en el número de individuos; sin embargo, la riqueza de especies prácticamente se mantuvo igual.

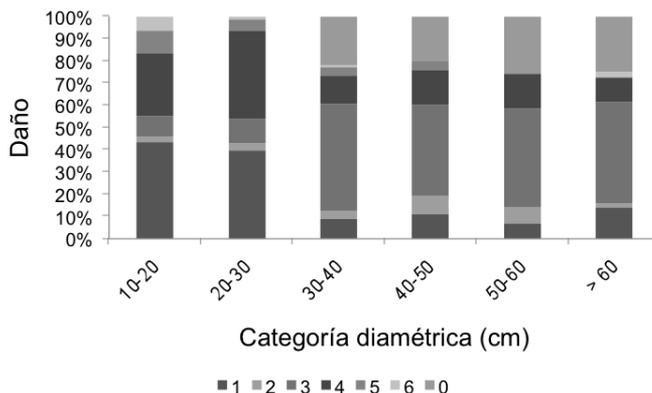


Figura 3. Porcentaje de individuos dentro de cada clase de daño en la vegetación de Xhazil Sur, Quintana Roo. 0) sin daño, 1) Desenraizado, 2) descopado, 3) desramado, 4) quebrado, 5) inclinado, 6) doblado.

Únicamente en dos de las ocho parcelas analizadas se perdieron algunas especies, entre ellas *Luehea speciosa* Willd., el tusuk che y el sak away (dos especies no identificadas), de las cuales sólo se encontró un individuo en el área de estudio durante el muestreo previo al huracán. Los valores del índice de Shannon (H'), por unidad de muestreo, fueron iguales antes y después del huracán, indicando que tampoco se observó algún efecto de Dean sobre la diversidad de la comunidad (Tabla 2). Tampoco hubo efecto significativo del huracán sobre la estructura de la comunidad, aunque ésta sufrió una disminución de 16,2% en la altura promedio ($P < 0,05$; $F = 15,403$) y de 4,5% para el área basal total ($P < 0,05$; $F = 4,935$) (Tabla 2, Fig. 4), pero los mayores daños fueron en los árboles pequeños.

Dominancia de árboles grandes

El análisis de dominancia indicó que la comunidad se encuentra dominada por *M. zapota*, especie que presentó un Índice de

Valor de Importancia (IVI) mayor a 60, tanto antes como después del huracán; le siguen en orden de importancia *Bursera simaruba* y *Caesalpinia gaumeri* (Fig. 5). De las 15 especies incluidas en el análisis, nueve incrementaron su importancia después del huracán (Tabla 3): *M. zapota*, *B. simaruba*, *C. gaumeri*, *Swartzia cubensis*, *Brosimum alicastrum*, *Coccoloba spicata* Lundell, *Lysiloma latisiliquum* (L.) Benth., *Simira salvadorensis* Standl. y *Swietenia macrophylla*; mientras que para *Metopium brownei* y *P. ellipticum*, disminuyó su valor de importancia en la comunidad. La mayoría de las especies conservó su orden de importancia. Sin embargo, *M. brownei* sustituyó en importancia a *P. ellipticum*; a su vez, *L. latisiliquum* y *S. salvadorensis* sustituyeron a *Piscidia piscipula* (L.) Sarg. después del huracán. Para las cuatro especies más importantes, la mayor contribución al IVI estuvo dada por el área basal (dominancia relativa) y la abundancia, tanto antes como después del huracán. Para el resto de las especies, la frecuencia contribuyó más al IVI, sobre todo después del huracán (Fig. 5).

Tabla 2. Parámetros estructurales y comunitarios de un bosque manejado antes y después del huracán Dean. P = Parcela, D = Densidad (ind/ha), S = riqueza de especies, AB = Área basal, DAP = Diámetro a la altura del pecho promedio, AP = Altura Promedio, H = Índice de Diversidad de Shannon, E =Equitatividad.

P	Pre-huracán						Post-huracán							
	D	S	AB (m ² /ha)	DAP (cm)	AP (m)	H	E	D	S	AB (m ² /ha)	DAP (cm)	AP (m)	H	E
1	101	21	14,5	41,4	15,3	2,52 ± 0,22	0,83	96	21	14,2	40,0	12,8	2,52 ± 0,22	0,83
2	110	20	16,4	41,6	15,9	2,68 ± 0,17	0,89	106	20	15,1	39,7	13,4	2,68 ± 0,17	0,89
3	106	23	15,4	41,4	16,4	2,77 ± 0,13	0,88	100	21	14,0	38,5	13,8	2,77 ± 0,13	0,91
4	121	28	17,5	41,5	18,2	2,80 ± 0,11	0,84	114	28	16,3	38,8	12,4	2,80 ± 0,11	0,84
5	88	20	12,6	41,6	11,7	2,83 ± 0,10	0,89	83	19	12,1	39,5	10,9	2,83 ± 0,10	0,96
6	87	21	13,2	42,8	12,2	2,83 ± 0,07	0,93	87	21	13,4	42,8	12,3	2,83 ± 0,07	0,93
7	102	27	11,8	37,5	14,5	2,85 ± 0,05	0,86	98	27	11,3	36,0	11,7	2,85 ± 0,05	0,86
8	73	21	8,3	37,3	15,4	2,85 ± 0,00	0,94	72	21	8,2	36,9	13,0	2,85 ± 0,00	0,94

Tabla 3. Valor de Importancia para las especies más abundantes en el bosque tropical de Xhazil Sur, Quintana Roo, antes y después del huracán Dean. AR = Abundancia relativa, FR = Frecuencia Relativa, Dominancia Relativa, IVI = Índice de Valor de Importancia.

Familia	Pre-huracán			Post-huracán		
	AR.	FR	DR.	AR.	FR	DR
<i>Manilkara zapota</i>	26,8	4,4	31,2	26,7	4,5	31,3
<i>Bursera simaruba</i>	12,3	4,4	9,4	12,6	4,5	9,7
<i>Caesalpinia gaumeri</i>	8,9	3,9	10,2	9,1	4,0	10,8
<i>Vitex gaumeri</i>	7,4	4,4	9,1	7,5	4,0	9,4
<i>Swartzia cubensis</i>	4,1	4,4	4,6	4,0	4,5	4,6
<i>Ottoschulzia pallida</i>	4,3	4,4	4,1	4,2	4,5	4,1
<i>Brosimum alicastrum</i>	4,3	3,9	3,6	4,5	4,0	3,7
<i>Pseudobombax ellipticum</i>	2,8	4,4	3,4	2,6	3,4	2,8
<i>Metopium brownei</i>	3,6	3,3	3,2	3,4	3,4	2,8
<i>Coccoloba spicata</i>	2,5	3,3	2,7	2,6	4,5	3,0
<i>Psidium sartorianum</i>	1,8	3,9	1,3	1,9	2,8	1,2
<i>Lysiloma latisiliquum</i>	1,8	3,3	1,8	1,9	4,0	1,4
<i>Simira salvadorensis</i>	2,0	3,3	1,4	1,9	3,4	1,9
<i>Piscidia piscipula</i>	1,5	3,3	1,4	1,5	3,4	1,3
<i>Swietenia macrophylla</i>	1,3	2,2	1,4	1,3	2,3	1,5
			IVI			IVI
			62,4			62,6
			26,1			26,8
			22,9			23,9
			20,9			20,9
			13,0			13,1
			12,9			12,9
			11,8			12,2
			10,6			8,9
			10,1			9,7
			8,6			10,2
			7,0			5,9
			6,9			7,2
			6,7			7,1
			6,2			6,2
			4,9			5,1

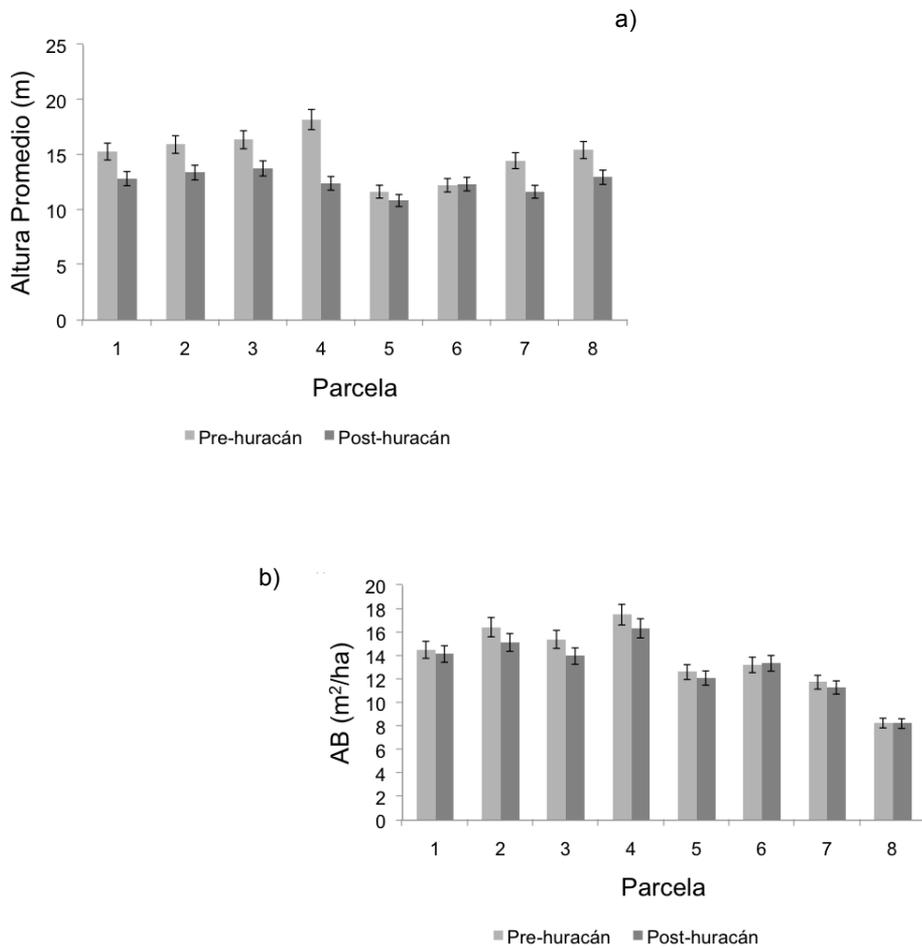


Figura 4. Altura promedio a) y área basal total b) de la vegetación en el ejido Xhazil Sur, Quintana Roo, antes y después del huracán por el estado de Quintana Roo. Los números en el eje de las x se refieren a las parcelas de muestreo.

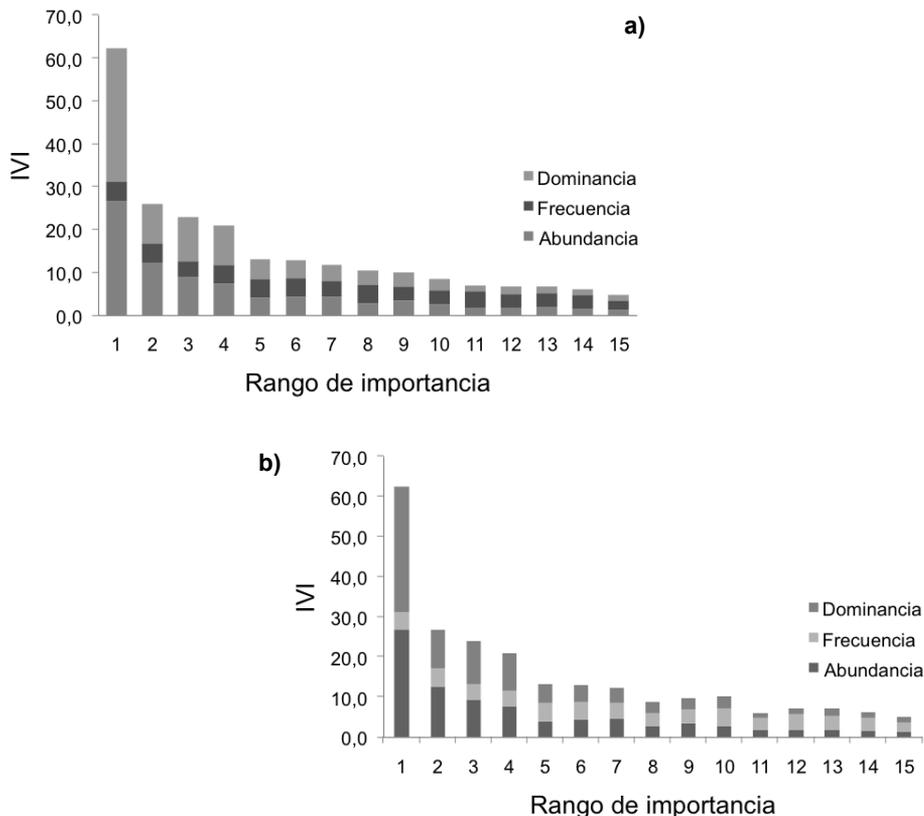


Figura 5. IVI para las especies más abundantes y algunas especies con importancia comercial. a) antes del huracán y b) después del huracán. 1 = *M. zapota*, 2 = *B. simaruba*, 3) *C. gaumeri*, 4) *V. gaumeri*, 5) *S. cubensis*, 6) *O. pallida*, 7) *B. alicastrum*, 8) *P. ellipticum*, 9) *M. brownei*, 10) *C. spicata*, 11) *P. sartorianum*, 12) *L. latisiliquum*, 13) *S. salvadorensis*, 14) *P. piscipula* y 15) *S. macrophylla*.

DISCUSIÓN

Evaluación del daño

Aunque el huracán Dean ha sido considerado uno de los más severos ocurridos en la región, afectó poco la composición del bosque y la abundancia de las especies en el área de estudio, tal como ha sido documentado para otros bosques tanto tropicales como templados (Boucher, 1990; Whigham *et al.*, 2003; Xi *et al.*,

2008). Los mayores efectos fueron sobre las características estructurales del bosque, dada la alta proporción de árboles desenraizados y quebrados sobre todo en árboles pequeños ($dap < 30$ cm). Este mismo patrón ha sido observado en el bosque tropical de Puerto Rico estudiado por Zimmerman *et al.* (1994), quienes encontraron que el derribo y la ruptura del tallo fueron los principales daños ocasionados por el huracán Hugo. Para un bosque similar al norte del área

de estudio, Sánchez e Islebe (1999) hallaron que la mayoría de los árboles pequeños resultaron derribados y quebrados por el huracán Gilberto, cuya categoría según la escala de Saffir-Simpson fue la misma que la de Dean.

El porcentaje de árboles dañados encontrado en este estudio es superior a lo que encontraron otros autores para el mismo huracán y otros de la misma intensidad ocurridos en la región (Bellingham *et al.*, 1992; Vester y Olmsted, 2000; Whigham *et al.*, 2003; Vandekar *et al.*, 2011). En todos estos casos, las clases de daño más comunes fueron el desraizado, desenraizado y la fractura de tallos a alturas variables; aunque la importancia relativa de los árboles desenraizados y quebrados varió entre los sitios. Por ejemplo, a diferencia de los resultados del presente estudio, Vandekar *et al.* (2011) encontraron que la proporción de árboles quebrados fue mayor que la de árboles desenraizados. Esta diferencia probablemente se deba al tipo de vegetación muestreada en ambos estudios. Al parecer, Vandekar *et al.* (2011) estudiaron el efecto de Dean principalmente en bosques secundarios jóvenes; mientras que en este estudio se evaluó el efecto de Dean sobre la vegetación madura.

Contrario a lo encontrado por otros autores (Putz *et al.*, 1983; Walker, 1991; Yuo y Petty, 1991), los resultados de este estudio muestran que los árboles pequeños fueron más afectados que los árboles grandes, al sufrir la fractura y el desenraizado del tronco; mientras que los árboles grandes, con excepción de *M. zapota*, *B. simaruba* y *M. brownei*, sólo presentaron daños ligeros. Este comportamiento puede deberse a que el aprovechamiento forestal selectivo realizado en el área de estudio abre claros pequeños en el dosel, lo que incrementa la susceptibilidad de los árboles jóvenes al permitir

el paso de los vientos huracanados hacia el sotobosque. Esto concuerda con lo encontrado por Putz y Sharitz (1991) y Frangi y Lugo (1991), quienes observaron un daño más severo en los árboles del sotobosque que en los árboles grandes. Putz y Sharitz (1991) concluyen planteando que este hecho puede ser la respuesta del bosque a las condiciones del rodal y la historia de aprovechamiento realizado en su sitio de estudio.

Por otro lado, la mayor proporción de árboles quebrados en *M. zapota* probablemente es debida a la debilidad de los árboles ocasionada por las prácticas de cosecha de la resina para la fabricación de chicle (obs. pers.). Asimismo, para esta especie se observó una alta proporción de árboles desenraizados (Tabla 1), cuya causa probable es la escasa superficie ocupada por las raíces de estos árboles y lo somero de las mismas, además de que esta especie generalmente no forma grandes contrafuertes.

Cambios en la composición y estructura del bosque

El decremento en la altura promedio de los árboles después del huracán es superior a los valores publicados por Sánchez e Islebe (1999) para un bosque parecido en el norte de Quintana Roo. La diferencia en la altura de los árboles grandes fue principalmente debida a la disminución del número de individuos después del huracán, la pérdida de ramas y la ruptura del tronco de los árboles remanentes de algunas de las especies como *M. zapota*. Olmsted *et al.* (1990) y Sánchez e Islebe (1999) encontraron una disminución en el área basal mucho mayor que lo encontrado en este estudio para bosques similares al estudiado, afectados por el huracán Gilberto en 1988. Sin embargo, debido a que dichos autores midieron árboles con menores

diámetros que los considerados en este estudio no es posible hacer una comparación entre ambos estudios.

El daño ocasionado sobre las características estructurales de especies como *M. zapota*, *M. brownei*, *P. ellipticum* y *S. salvadorensis* puede resultar crítico, puesto que estas especies están sujetas a extracción forestal. No obstante, la ocurrencia de huracanes es también una oportunidad para favorecer el rápido crecimiento de especies heliófilas como la caoba, la cual requiere de la apertura de claros para su regeneración. Al respecto, Snook (1993) menciona que los huracanes crean las condiciones adecuadas para la regeneración de *S. macrophylla*, la cual resiste los vientos huracanados; mientras que *M. zapota* es mucho más vulnerable a la fuerza de los huracanes, como pudo observarse en este estudio.

Los valores de los índices de diversidad de Shannon encontrados en este estudio son mucho menores que los hallados por Sánchez e Islebe (1999), esta diferencia se debe a la mayor cantidad de especies (82 y 76 pre y post-huracán, respectivamente) reportadas por estos autores en comparación con los resultados de este estudio (54 y 51 especies, pre y post-huracán, respectivamente), lo cual está relacionado con el tamaño de los árboles incorporados en los análisis.

La igualdad en los valores de H' , antes y después del huracán, indica que la pequeña disminución (4,15) en el número de individuos no fue suficiente para modificar sus proporciones dentro del conjunto total de especies. Asimismo, los altos valores de equitatividad sugieren una distribución más homogénea de los individuos dentro de las especies en las unidades de muestreo, tanto antes como después del huracán (Tabla 2).

Dominancia de árboles grandes

A pesar del daño sufrido por algunos individuos de *M. zapota* y *B. simaruba*, dos especies típicas de la selva mediana subperennifolia (Miranda, 1978; Martínez y Galindo, 2002) fueron las especies dominantes de la vegetación en el área de estudio, tanto antes como después del huracán, ocupando alrededor de 40% del total de árboles en las ocho parcelas de muestreo. Sin embargo, especies con importancia comercial como *S. cubensis*, *P. ellipticum*, *M. brownei*, *L. latisiliquum* y *S. macrophylla*, también se encuentran entre las 15 especies con los mayores valores de importancia y que en conjunto ocupan 85% de los árboles en la comunidad estudiada. Al respecto es importante hacer notar que después del huracán, *L. latisiliquum* y *S. macrophylla*, las dos especies con mayor demanda en el mercado nacional incrementaron su nivel de importancia debido a un ligero aumento en su área basal relativa, ya que éstas fueron menos impactadas que otras especies. Como en el presente estudio, Sánchez e Islebe (1999) encontraron que *M. zapota* mantiene su posición en la importancia después del huracán, a pesar de ser una de las especies del dosel mayormente afectadas.

Manejo forestal y vulnerabilidad del bosque ante huracanes

Dado que la diversidad, la estructura y la función de los ecosistemas son moldeadas por disturbios, el manejo de bosques naturales puede estar basado en el entendimiento ecológico de los procesos de un disturbio natural (Attiwil, 1994). En Quintana Roo, la frecuente ocurrencia de huracanes es uno de los factores determinantes en la dinámica del bosque y, por ello, es muy importante incorporar la comprensión de la respuesta

de los ecosistemas a las perturbaciones ocasionadas por huracanes en el manejo forestal. Además, el aprovechamiento forestal y algunos tratamientos silviculturales reducen la densidad de las especies extraídas, generando un dosel más heterogéneo, lo que reduce la estabilidad de los bosques remanentes, afectando su resistencia al viento (Foster, 1988; Everham y Brokaw, 1996; Zeng *et al.*, 2009; Garrido *et al.*, 2008). Respecto a lo anterior, cabe mencionar que aunque en el presente estudio no se evaluó el efecto del huracán en bosques intervenidos y no intervenidos, debido a la falta de sitios en esta última condición, durante el trabajo de campo fue claro que sitios que presentaron evidencia de aprovechamiento reciente (caminos de extracción, bacadillas) fueron más afectados que sitios sin rastros de extracción (parcelas 3 y 5, Tabla 2).

Existe poca evidencia del efecto de estos fenómenos en bosques manejados y no manejados. Rivas *et al.* (2000) encontraron que en el bosque intervenido hubo una mayor proporción de árboles quebrados, desenraizados o inclinados que en el bosque no intervenido. En este último sólo se encontraron árboles defoliados y desramados. De acuerdo con sus resultados estos autores proponen que el manejo forestal debe tomar en cuenta tres factores para adaptarse mejor a un régimen de huracanes frecuentes: el tamaño y distribución de los claros, la permanencia de la regeneración a través de la presencia de árboles semilleros y el aprovechamiento de la madera caída.

Por su parte, Acosta *et al.* (2001) observaron que en un bosque afectado por el huracán Mitch en Nicaragua, la regeneración de especies comerciales fue más alta en el bosque intervenido que en el no intervenido, probablemente debido a que el huracán causó más aperturas en el bosque. Asimismo, encon-

traron que la mortalidad fue mayor (10,9%) en el bosque intervenido que en el no intervenido (4%). Sugieren el mantenimiento de suficientes árboles semilleros durante el aprovechamiento. Para la misma área en Nicaragua, Ferrando *et al.* (2001) proponen estratificar los aprovechamientos con base en las características del bosque remanente y la intensidad del daño, tratando de producir una mezcla de rodales con una estructura y composición del dosel homogénea y una regeneración adecuada.

Recientemente se han desarrollado una serie de modelos y técnicas de análisis estadístico para predecir la velocidad del viento necesario para desenraizar o quebrar los troncos de los árboles basados en características de los individuos y del rodal (Peltola *et al.*, 1999; Zeng *et al.*, 2004, 2007; Heinonen *et al.*, 2009). Con base en estos modelos, se sugiere que para minimizar los efectos del manejo sobre el daño por viento es necesario disminuir el área de borde, concentrar áreas de corta y establecer una intensidad adecuada de cosecha. Por su parte, Heinonen *et al.* (2009) sugieren que la mejor estrategia de corta para minimizar el riesgo de daño por viento, depende de las características del área planeada, tales como la estructura y composición de especies del bosque.

Asimismo, la información sobre el efecto de los huracanes en la dinámica de especies heliófilas como *S. macrophylla* y *Cedrela odorata*, puede ayudar a establecer lineamientos para su manejo en bosques expuestos a estas perturbaciones. Según Snook (1993), *S. macrophylla* está adaptada biológicamente para aprovechar los daños ocasionados periódicamente por los huracanes (Snook, 1993). Evidencia de ello son sus amplias copas aerodinámicas sostenidas por pocas ramas muy gruesas y fuertes, sus raíces muy profundas y la presencia

de grandes contrafuertes de hasta 3 m de altura. Estas características favorecen su supervivencia a los huracanes, que generalmente tumban o quiebran muchos árboles grandes de otras especies (Snook, 2005). Además, como en muchas especies heliófilas, los claros producidos en el dosel del bosque por estos disturbios favorecen el reclutamiento de nuevos individuos de la caoba.

En plantaciones forestales, Thompson *et al.* (2007) encontraron que entre 1989 y 1996, después del huracán Hugo (categoría 4), la densidad de *S. macrophylla* incrementó muy poco, mostrando un incremento más significativo después del huracán George (categoría 5). Por otro lado, estos autores encontraron que la especie presentó un número similar de tallos, tanto en bosques perturbados como no perturbados. Estos resultados confirman que si bien la caoba requiere de la apertura de grandes claros, también es capaz de sobrevivir en bosques cerrados.

CONCLUSIONES

A pesar de la magnitud del huracán Dean en el área de estudio, la composición y diversidad del bosque no resultaron fuertemente afectadas. Los mayores efectos fueron sobre la estructura del bosque, aunque no se encontró una diferencia significativa. Los principales tipos de daño fueron desramado, desenraizado y fractura del tronco (quebrado). Los árboles del sotobosque fueron más afectados que los árboles del dosel. Al parecer la presencia de caminos de extracción y áreas de concentración de madera (bacadillas) incrementa la susceptibilidad del sotobosque a los huracanes debido a la apertura del dosel que favorece la entrada del viento hacia el piso forestal.

Se sugiere que para disminuir la susceptibilidad del bosque al impacto de huracanes se requiere disminuir la cantidad y superficie de bacadillas por área de corta. Asimismo, se propone que una vez ocurrido el huracán, se incorpore al plan de manejo forestal, el aprovechamiento de los árboles dañados y se establezcan algunas áreas de corta anual en los sitios más afectados. Para disminuir los riesgos de incendios forestales y la presencia de plagas en los sitios afectados, se propone la realización de cortas de saneamiento.

Se sugiere también, establecer a nivel estatal un programa de monitoreo de las áreas afectadas y no afectadas, a fin de conocer a mayor detalle la dinámica del bosque y los mecanismos de recuperación de especies ecológica y económicamente importantes, para planear alternativas de manejo a largo plazo. Para ello se propone recuperar el sistema de parcelas permanentes establecido en el estado entre 1990 y 1991, con la finalidad de complementar la información obtenida en los inventarios forestales para el aprovechamiento de productos maderables. Asimismo, es necesario el establecimiento de nuevas parcelas para evaluar la dinámica del bosque afectado por disturbios como el aprovechamiento forestal, los huracanes y la subsecuente presencia de fuego.

REFERENCIAS

- Acosta L., B. Louman y G. Galloway. 2001. Regeneración de especies arbóreas después del huracán Mitch, en bosques manejados de la costa Norte de Honduras. *Revista Forestal Centroamericana* 34:61-65.
- Attiwill, P.M. 1994. The disturbance of forest ecosystems: the ecological bases for conservative manage-

- ment. *Forest Ecology and Management* 63:247-300.
- Bellingham, P.J., V. Kapos, N. Varty, H.R. Healey, E.V.J. Tanner, D.L. Kelly, J.W. Dalling, L.S. Burns, D. Lee y G. Sidrak. 1992. Hurricane need not cause high mortality: the effects of Hurricane Gilbert on forest in Jamaica. *Journal of Tropical Ecology* 8:217-223.
- Boucher, D.H. 1990. Growing back after hurricane. Catastrophes may be critical to rain forest dynamics. *Bio-science* 40(3):163-166.
- Chazdon R.L. 2003. Tropical forest recovery: legacies of human impact and natural disturbance. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 6(1,2):51-71.
- Dickinson M.B., S.M. Hermann y D.F. Whigham. 2001. Low rates of background canopy-gap disturbance in a seasonally dry forest in the Yucatan Peninsula with of fires and hurricanes. *Journal of Tropical Ecology* 17:895-902.
- Everham, E.M. III y N.V.L. Brokaw. 1996. Forest damage and recovery from catastrophic wind. *The Botanical Review* 62(2):113-185.
- Ferrando J.J., B. Louman, B. Finegan y M. Guariguata. 2001. Pautas ecológicas para el manejo de bosques naturales afectados por huracanes en la costa norte de Honduras. *Revista Forestal Centroamericana* 28-34.
- Foster, D.R. 1988. Species and stand response to catastrophic wind in central New England, USA. *Journal of Ecology* 76:135-151.
- Frangi, J.L. y A.E. Lugo. 1991. Hurricane damage to flood plain forest in Luquillo Mountains of Puerto Rico. *Biotropica* 23:324-335.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4a. ed. UNAM. 217 p.
- Garrido P., E.I., J.M. Dupuy, R. Durán, M. Ucan M., S.A. Schnitzer y G. Gerold. 2008. Effects of lianas and hurricane Wilma on tree damage in Yucatán peninsula, México. *Journal of Tropical Ecology* 24:559-562.
- Gobierno del Estado de Quintana Roo. 2007. Evaluación del riesgo forestal por el huracán Dean. Subcomité para la evaluación de afectación de los recursos forestales dentro del Comité de Evaluación de Daños del FONDEN en Quintana Roo. 18 p.
- Harcombe P.A., L.A. Mann L. e I.S. Elsik. 2009. Effects of hurricane Rita on three long-term forest study plots in East Texas, USA. *Wetlands* 29(1):88-100.
- Harmon, M.E., D.F. Whigham, J. Sexton e I. Olmstead. 1991. Decomposition and mass of woody detritus in the dry tropical forests of the northeastern Yucatan peninsula, Mexico. *Biotropica* 27(3):305-316.
- Heinonen, T., T. Pukkala, V.P. Ikonen, H. Peltola, A. Vernäläinen y S. Dupont. 2009. Integrating the risk of wind damage into forest planning. *Forest Ecology and Management* 258:1567-1577.
- Hernández C., M.E., E. Azpra R., G. Carrasco A., O. Delgado D. y F.J. Villicaña C. 2001. Los ciclones tropicales de México. *Temas selectos de*

- geografía de México. UNAM, México. 120 p.
- Hernández U., A. s/a. Reseña del huracán Dean del Océano Atlántico. Conagua. Informe interno. 12 p.
- Lugo, A.E. 2000. Effects and outcomes of Caribbean hurricanes in a climate change scenario. *The Science of the Total Environment* 262:243-251.
- Martínez, E. y C. Galindo-Leal. 2002. La vegetación de Calakmul, Campeche, México: clasificación, descripción y distribución. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 71:7-32.
- Magurran A.E. 2004. *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing, U.K.
- Miranda, F. 1978. Vegetación de la Península Yucateca. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 271 p.
- Muller-Dombois, D. y H. Ellenberg. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. John Wiley & Sons. Nueva York, EUA. 550 p.
- Navarro M., M.A. 2011. La caoba: más de un siglo de aprovechamiento. *In*: C. Pozo, N. Armijo C. y S. Calmé (eds.). *Riqueza biológica de Quintana Roo. Un análisis para su conservación*. Tomo1. ECOSUR/CONABIO/FMAM/SEDUMA. México. pp. 212-220.
- Olmstead I., J. Palma, I. Pérez del Valle, J. Castillo e Y. Moreno. 1990. Efecto de las perturbaciones por huracán y fuego sobre la estructura y composición de la selva mediana subperennifolia en el norte de Quintana Roo. *Resúmenes del Congreso Mexicano de Botánica*. Oaxtepec, Morelos, México.
- Peltola. H., S. Kellomäki, H. Venäläinen y V.P. Ikonen. 1999. A mechanistic model for assessing the risk of wind and snow damage to single trees and stands of Scots pine, Norway spruce and birch. *Canadian Journal of Forest Research* 29:647-661.
- Pickett, S.T.A. y P.S. White. 1985. *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*. Academic Press, EUA, 472 pp.
- Putz F.E., P.D. Coley, K. Lu, A. Montalvo y A. Aiello. 1983. Uprooting and Snapping of trees: structural determinants and ecological consequences. *Canadian Journal Forest Research* 13:1011-1020.
- Putz, F.E. y R.R. Sharitz. 1991. Hurricane damage to old-growth forest in Congaree Swamp National Monument, South Carolina, USA. *Canadian Journal of Forest Research* 21:1765-1770.
- RAN-INEGI. 1998. Plano definitivo de tierras de uso común del ejido Xhazil. Esc 1:50,000.
- Rivas H., M. Kanninen, B. Louman, B. Finegan y G. Galloway. 2000. Zona norte de Honduras, daños causados por el huracán Mitch en rodales intervenidos y no intervenidos. *Revista Forestal Centroamericana* 30 (núm. especial):58-62.
- Rogan J., L. Schneider, Z. Christman, M. Millones, D. Lawrence y B. Schmook. 2011. Hurricane Disturbance Mapping using MODIS EVI Data in the South Eastern Yucatán, Mexico. *Remote Sensing Letters* 2(3):259-267.
- Sánchez S., O. y G.A. Islebe. 1999. Huracán Gilbert and structural

- changes in a tropical forest in south-eastern Mexico. *Global Ecology and Biogeography* 8:29-38.
- Sánchez S., O. y G.A. Islebe. 2002. Tropical forest communities in southeastern Mexico. *Plant Ecology* 158:183-200.
- Snook, L.K. 1993. Stand dynamics of mahogany (*Swietenia macrophylla* King.) and associated species after fire and hurricane in the tropical forests of the Yucatan Peninsula, Mexico. Tesis doctoral. Yale University. 240 p.
- Snook, L.K. 2005. Aprovechamiento sostenido de caoba en la selva maya de México. De la conservación fortuita al manejo sostenible. *Revista Recursos Naturales y Ambiente* 44:9-18.
- Sousa W.P. 1984. The Role of Disturbance in Natural Communities *Annual Review of Ecology and Systematics* 15:353-39.
- Thompson, J.; A.E. Lugo y J. Tomlinson. 2007. Land use history, hurricane disturbance, and fate of introduced species in subtropical wet forest in Puerto Rico. *Plant Ecology* 192: 289-301.
- Turner, B.L. 1978. Ancient agriculture land use in the Central Maya lowlands. *In: Harrison P.D. and B.L. Turner. Prehispanic Maya Agriculture.* University of New Mexico Press. Albuquerque. p: 163-183.
- Vandercar, K.L., D. Lawrence, D. Richards, L. Schneider, J. Rogan, B. Schmook y H. Wilbur. 2011. High mortality for rare species following hurricane disturbance in the Southern Yucatan. *Biotropica* 1-9.
- Vester H.F.M. y I. Olmsted. 2000. Efecto de los huracanes en la selva. *In: Vester H. F.M. (coord.). Influencia de los huracanes en el paisaje de Yucatán. Consideraciones para el diseño de corredores y su manejo.* Informe de proyecto. México. 216 p.
- Vester, H.F.M., M.A. Navarro M., C.Y. López, V.E. Canul U., M. Wetering y S. Shonck. 2005. Subproyecto Bosques. Informe del Proyecto uso y monitoreo de los recursos naturales en el corredor biológico mesoamericano (áreas focales Xpujil-Zoh Laguna y Carrillo Puerto). ECOSUR/CONABIO. Chetumal, Q. Roo. 64 p.
- Walker, L.R. 1991. Tree damage and recovery from hurricane Hugo in Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *Biotropica* 23 (4a):379-385.
- Whigham, D.F., I. Olmsted; E. Cabrera C. y M.E. Hartman. 1991. The impact of Hurricane Gilbert on trees, litter-fall, and woody debris in a dry tropical forest in the northeastern Yucatan Peninsula. *Biotropica* 23(4a):434-441.
- Whigham, D.F., I. Olmsread, E. Cabrera C. y A.B. Curtis. 2003. Impacts of hurricanes of the forests of Quintana Roo, Yucatan Peninsula, Mexico. *In: Gómez-Pompa, A., M. F. Allen, S.L. Fedick and J.J. Jimenez-Osornio (eds.). Lowland Maya Area. Three Millenia at the human-wildland interface.* Haworth Press, Inc. USA. p: 193-212.
- Xi W., R.K. Peet y D.L. Urban. 2008. Changes in forest structure, species diversity and spatial pattern following hurricane disturbance in Piedmont North Carolina forest, USA. *Journal of Plant Ecology* 1-15.

- You, C. y H. Petty. 1991. Effects of hurricane Hugo on *Manilkara bidentata*, a primary tree species in the Luquillo Experimental Forest of Puerto Rico. *Biotropica* 23:400-406.
- Zeng H., H. Peltola, A. Talkkari, H. Venäläinen, H. Strandman, S. Kellomäki y K. Wang. 2004. Influence of clear-cutting on the risk of wind damage at forest edges. *Forest Ecology and Management* 203:77-88.
- Zeng H., T. Pukkala y H. Peltola. 2007. The use heuristic optimization in risk management of wind damage in forest planning. *Forest Ecology and Management* 241:189-199.
- Zeng, H.T.; H. Peltola, H. Venäläinen y S. Kellomäki. 2009. The effects of fragmentation on the susceptibility of boreal forest ecosystem to wind damage. *Forest Ecology and Management* 257:1165-1173.
- Zimmerman J.K., E.M. Everham III. R.B. Waide, D.J. Lodge, C.M. Taylor, N.V.L. Brokaw. 1994. Responses of Tree Species to Hurricane Winds in Subtropical Wet Forest in Puerto Rico: Implications for Tropical Tree Life Histories. *The Journal of Ecology* 82(4):911-922.

Manuscrito recibido el 25 de octubre de 2011.

Aceptado el 13 de marzo de 2012.

Este documento se debe citar como: Navarro-Martínez, A., R. Durán-García y M. Méndez González. 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.