

## Recuperación inicial de un bosque incendiado y previamente afectado por el huracán Juana en Nicaragua

Javier Ruiz \*, Douglas H. Boucher \*\*, John H. Vandermeer †, Iñigo Granzow de la Cerda ‡, Ivette Perfecto ° y Valberth Martínez Salgado ∞

**Resumen.-** Los disturbios naturales han jugado un papel importante en la reestructuración de ecosistemas. Retomando el ejemplo de la regeneración forestal después del huracán Juana en 1988 en Nicaragua e incendios forestales en el periodo posterior al año de El Niño de 1997-98 se ha determinado un cambio en los patrones de regeneración de muchas áreas de bosque huracanado a un patrón de regeneración después de incendios en muchas áreas.

El papel que juegan las perturbaciones en la ecología ha sido atribuido a su facultad de reorganizar la composición y estructura de ecosistemas (Miller 1982, Mooney y Gordon 1983, Pickett y White 1985, Vandermeer *et al.* 1997, 2000), en particular los estragos que causan vientos huracanados en muchos bosques tropicales (Boucher *et al.* 1994, Granzow *et al.* 1997, Frangi y Lugo 1991, Ruiz 2000, Vandermeer *et al.* 1990, 1994, 1995, 1997, 2000, Yih *et al.* 1991), así como la ocurrencia de fuegos moderados, es decir, incendios con frecuencia e intensidad menor (Clark 1990, Ruiz 2000, Sanford *et al.* 1985). Ya que ambas fuerzas de perturbación (huracanes e incendios) son muy frecuentes en el área tropical es natural considerarlos como muy importantes en la estructura y composición de bosques. La dinámica de regeneración que adopta el ecosistema sujeto a perturbación es una gama de situaciones que resulta de la intensidad y tipo de perturbación (Christensen 1977, Frangi y Lugo 1991, Sandfors *et al.* 1985, Whitmore 1990).

Después de un disturbio, una vez que el dosel se ha formado y existe mucha competencia por llenar espacios vacíos en el dosel, un individuo compitiendo por alcanzar un nicho regenerativo exitoso en el dosel tendrá que competir para excluir a otro que ya esté o no establecido, o esperar a que se forme un claro con la caída de un árbol en el cual pueda regenerarse. El otro proceso que se teoriza ocurra es un equilibrio competitivo o clímax, en el cual se reduce el número de individuos en el proceso de competencia y por consiguiente el número de especies hasta mantener un estado de equilibrio en la regeneración.

Opuestamente, Hubbell y Foster (1986) propusieron una teoría de biodiversidad de bosque húmedo, en ésta se asume que la mayoría de las especies son efectivamente neutrales y no prefieren nicho de regeneración específico. De esta forma su presencia en la regeneración forestal es el resultado de una lotería de competencia ecológica (Chesson y Warner 1981). Teorías que son actual-

\* Proyecto Biodiversidad. P. O. Box BL 015 Bluefields, Nicaragua.

\*\* Department of Biology, Hood College, Frederick, MD 21701, USA.

† Biology Department, University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109, USA.

‡ Herbarium, University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109, USA

° School of Natural Resources and Environment, MI 48109-1115, USA.

∞ Bluefields Indians and Caribbean University, Bilwi, Nicaragua.

mente un eje de críticas para el paradigma de nichos de especies de bosques húmedos tropicales (Chazdon *et al.* 1999, Hubbell 1999)

El paso del huracán Juana en Nicaragua en 1988 brindó la oportunidad de estudiar la dinámica de regeneración de especies de bosque húmedo tropical en particular y de los patrones de regeneración forestal en general. Asimismo, nos permite examinar si existe o no una distinción de nicho regenerativo para especies de bosque húmedo tropical (Boucher 1990, Boucher *et al.* 1990, 1994, Granzow *et al.* 1997, Ruiz 1998, 1999, 2000, Vandermeer *et al.* 1990, 1994, 1995, 1997, 2000, Yih *et al.* 1991).

Después del huracán, la dinámica de regeneración que adoptó el bosque huracanado fue la de experimentar una alta capacidad de rebrote de los troncos de los árboles que permanecieron en pie después de la tormenta (Granzow 1999, Yih 1991), además, éste presentó una alta tasa de crecimiento en la forma de vástagos que fueron la mayoría de los individuos cuatro años después del huracán. Aproximadamente seis años después del huracán se erguía un dosel muy denso, resultado de rebrotes de troncos que permanecieron en pie después del disturbio así como de la regeneración avanzada que existía en el sotobosque antes del huracán. Este dosel, en la actualidad está aproximadamente de diez a trece metros por encima del sotobosque y parece ser bastante continuo (Boucher 1990, 1994, Boucher *et al.* 1990, Granzow 1997, Ruiz 1999, 2000, Vandermeer *et al.* 1990, 1994, 1995, 1997, 2000).

Actualmente, el bosque está entrando en una fase de auto raleo, aunque nues-

tras predicciones fueron de observar tasas altas de mortalidad como producto del auto raleo, lo cual no ha sido observado. Lo que hemos observado es una capacidad que presentan los árboles de llenar huecos en el dosel, así persisten en el proceso de regeneración y de esta forma amortiguan el proceso de auto raleo. Es decir, que experimentan un crecimiento logarítmico de su circunferencia *vs.* diámetro de la copa (Vandermeer *com. per.* 2001). Por consiguiente, la fase de regeneración actual del bosque puede considerarse una transición entre la fase de establecimiento a fase de auto raleo, y este es el punto de la regeneración del bosque en que es posible evaluar la existencia de una diferenciación en nichos de regeneración.

Hasta ese punto, en los monitoreos de la regeneración del bosque huracanado nuestras preguntas fueron: Hasta qué punto será posible observar durante esta fase de regeneración forestal diferentes estilos de vida y nichos de regeneración entre las especies más representativas del bosque (Vandermeer *et al.* 1997).

No obstante, en vista de los acontecimientos recientes, las pautas de investigación formuladas anteriormente tendrán que ser replanteadas parcialmente. Nos referimos particularmente a la ocurrencia de frecuentes disturbios entre el período de ocurrencia del huracán y el presente. En específico, los efectos globales producidos por el fenómeno de El Niño en el periodo 1997 - 1998, el cual propició las condiciones para la ocurrencia de grandes incendios forestales entre 1998 y 1999.

Los disturbios producidos esencialmente por los incendios forestales

destruyeron una inmensa cantidad del área forestal post huracanada, inclusive algunas de nuestras áreas de muestreo. Estos incendios han venido, lógicamente, a amortiguar la dinámica de regeneración después del huracán, anexando a ello el incremento continuo de las áreas de frontera agrícola y explotación irracional de madera. De esta forma se considera que la regeneración actual del área que una vez se consideró como área forestal post huracán es ahora un mosaico de regeneración forestal con muchas áreas de agricultura.

Específicamente, la regeneración del bosque después de la ocurrencia de incendios ha contribuido a que muchas de las especies forestales hayan experimentado una tasa alta de mortalidad, pero aquellas especies que por su condición de regeneración en el bosque resistieron los incendios serán favorecidas por amplias condiciones lumínicas, similares a aquellas que presentó el bosque unos dos años después del huracán lo que evidentemente las favorecerá en el proceso de regeneración.

En este artículo presentamos el comportamiento que experimentaron las 23 especies más abundantes en el sitio de monitoreo más afectado por los incendios forestales. Nuestros objetivos de investigación están encaminados a determinar los porcentajes de supervivencia antes, durante y después de la ocurrencia de los incendios, evidenciar la existencia de una diferenciación en el patrón de regeneración de las especies y establecer si hay diferenciación en su crecimiento después de la ocurrencia de incendios.

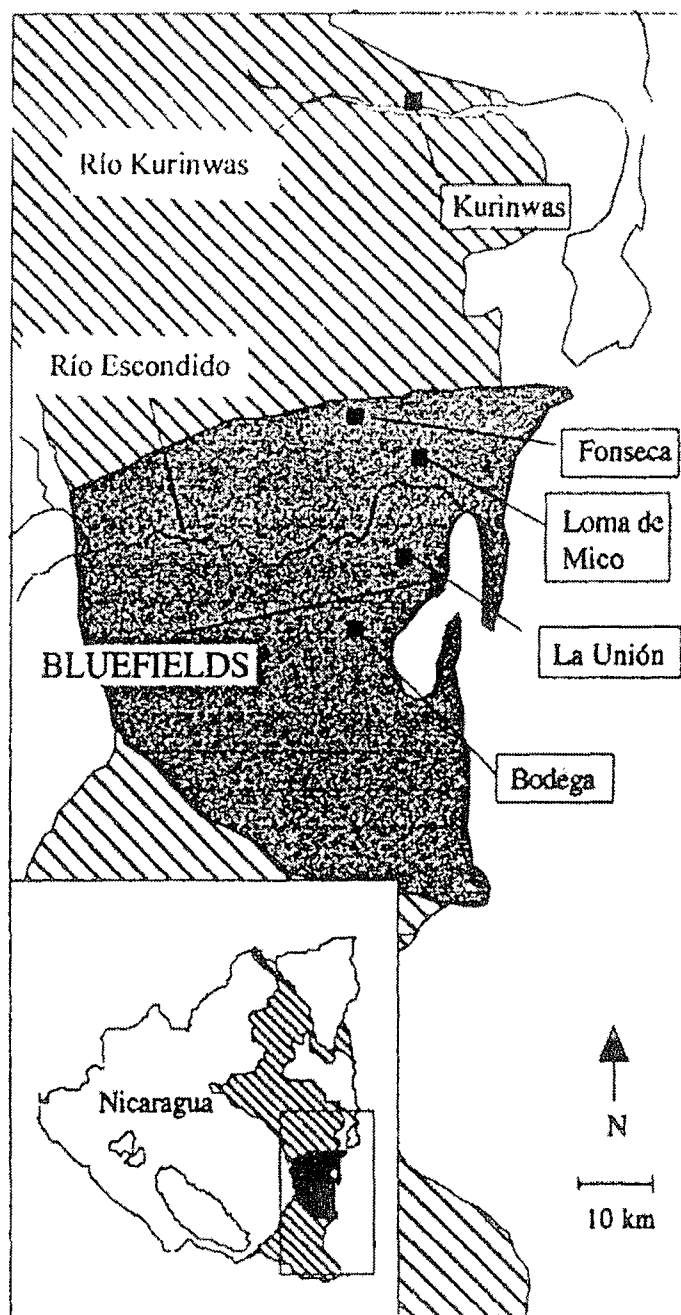
## **Métodos**

El área general de estudio es el área dañada por el huracán Juana en 1988, ésta posee una área calculada en 500,000 ha rodeando la ciudad de Bluefields en la Costa Caribe de Nicaragua (ilustración 1). El área es definida según el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge (1982) como Bosque Húmedo Siempreverde de Bajura. Esta es un área de alta precipitación, con una pequeña estación seca de febrero a marzo. La vegetación es característica de bosque húmedo tropical del tipo que se extiende desde Centro América, Belice y Panamá. Grandes áreas de pantano se pueden localizar en el área, así como inmensas sabanas de Pino Caribe. Todos los transectos en este estudio fueron establecidos en el área de bosque húmedo en 1990. En estos transectos no se han realizado análisis detallados de suelo o mapeo de tipos de suelo del área pero se considera que son ultisoles.

En el área afectada por el huracán Juana fue seleccionado el sitio La Fonseca establecido en 1990, este fue fuertemente afectado por incendios forestales en el periodo 1998 - 1999 (ilustración 1). La Fonseca es un sitio muy particular puesto que se encuentra en el borde del área afectada por el huracán; de esta forma, el bosque posee una mayor estructura, pero se considera que sigue la misma fase de regeneración general del bosque huracanado, es decir, fase de establecimiento en transición a fase de auto raleo. En este sitio se establecieron tres transectos de 100 m x 10 m en 1990, donde todos los árboles mayores a 10 cm de circunferencia a la altura de

pecho fueron localizados, identificados taxonómicamente y enumerados con una placa de aluminio la cual se fijó al tronco de los árboles por medio de un

clavo de aluminio en el mismo sitio donde se midió la circunferencia a la altura del pecho anualmente desde 1990.



**Ilustración 1.** Mapa del área de estudio. El área sombreada representa el área que fue dañada por el huracán Juana en octubre de 1998. El área lineada corresponde aproximadamente al área original de bosque húmedo. El área dañada fue aproximadamente 500,000 ha. Los rectángulos en negro sólido indican los sitios de investigación general. El rectángulo en negro sólido con nombre La Fonseca representa el sitio de esta investigación.

Todos los años se prepararon paquetes de muestras botánicas para su identificación en el Herbario Nacional de Nicaragua, Herbario de la Universidad de Michigan y el Instituto Nacional de Biodiversidad en Costa Rica.

En el año 1999, uno de nuestros tres transectos de medición fue completamente talado para el aprovechamiento de su madera por los dueños de la propiedad, los otros dos transectos presentaron fuerte daño por incendios forestales. Así que se decidió abandonar la idea inicial de medición de regeneración después de los estragos del huracán y se procedió a evaluar la recuperación del bosque después de incendios forestales el cual es el patrón general en este sitio de estudio.

La manera de calcular la circunferencia fue siguiendo el protocolo, es decir, se procedió a localizar las placas de todos los individuos, se hizo un esfuerzo por localizar las placas de los individuos muertos, inclusive entre la hojarasca del bosque; en todos los casos, observación de rebrotes fue realizada para determinar si un individuo estaba vivo o muerto en marzo del 1999 y 2000. Los datos aquí presentados corresponden al periodo de medición de 1997 - 2000.

Las tasa de incremento anual fue calculada mediante el aumento de la circunferencia expresada en forma de tasa de crecimiento. Es decir  $X(t)$  representa la circunferencia en el año  $t$ , asimismo  $X(t + 1)$  representa la circunferencia en el año  $t + 1$ ; la definición de crecimiento se expresa como:  $c = (X + 1)/X(t)$ , ó  $X(t + 1) = bX(t)$  y la formula de la Tasa de Crecimiento Relativo (abreviado en

adelante como: TCR) se expresa  $TCR = b - 1$ . De un total de 108 especies forestales se estimaron las tasas de Crecimiento Relativo para 23 especies más abundantes en los periodos de 1997 - 1998, 1998 - 1999 y 1999 - 2000.

Ya que el cálculo de las TCR depende intrínsecamente de dos mediciones repetidas en años  $(t)$  y  $(t + 1)$  el análisis excluye a todos aquellos individuos que en año  $t$  fueron menores a la altura mínima de medición (10 cm a la altura del pecho); asimismo fueron excluidos de este análisis aquellos individuos que fueron reportados muertos en el año de los incendios y que dichos individuos por alguna razón rebrotaron y fueron considerados vivos en el año  $(t + 1)$ ; en todo caso, la cantidad de individuos que "resucitaron" fue mínima. Lo que es importante señalar es que el total de abundancia de los individuos por especie al ser aplicado el análisis TCR subestima el valor total  $n$  muestral pero solo ligeramente. En todo caso  $n$  muestral fue de 549 individuos para las 23 especies consideradas en este estudio.

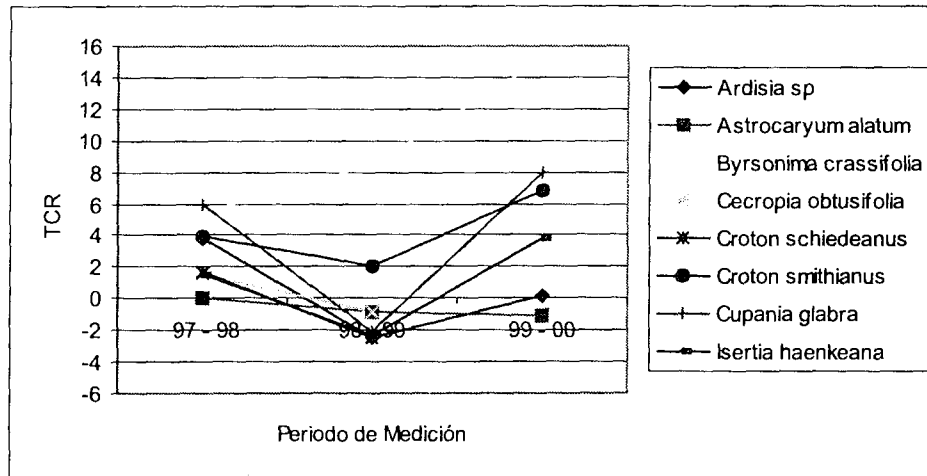
## Resultados

Los cálculos de porcentajes de sobrevivencia se efectuaron para todas las especies presentes en el sitio de estudios; 85.0% de sobrevivencia en el periodo 1997 - 1998; 59.0% de sobrevivencia en 1998 - 1999; y 32.0% de sobrevivencia en 1999 - 2000.

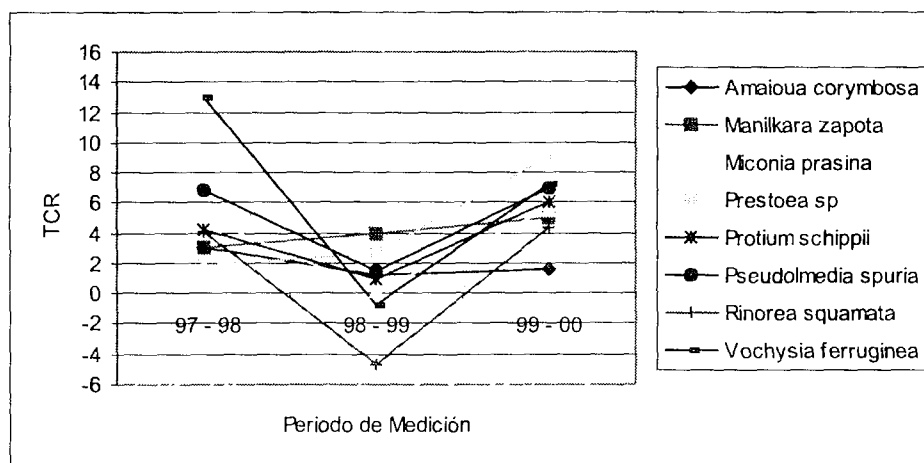
En las ilustraciones 2, 3 y 4 se presentan los promedios de las TCR de las circunferencias de todas las especies en los tres periodos de medición desde 1997 hasta 2000. El patrón es muy claro; cuando el bosque no es

perturbado drásticamente las especies presentan un incremento en crecimiento. Con la ocurrencia de fuegos en el periodo 1998 - 1999 las TCR decrecen en todas las especies y solamente la población de nancite (*Byrsonima crassifolia*) presenta un crecimiento positivo en el periodo del fuego. Es claro que algunas especies fueron más

resistentes al fuego que otras, dichas especies podrían tener bien desarrollada la corteza de su tronco la cual las protegió. En el periodo 1999 - 2000 después del incendio, se presencié una mortalidad retardada muy alta (68.0% en periodo 1999 - 2000), pero las TCR de los sobrevivientes fue nuevamente alta.



**Ilustración 2.** Tasa de Crecimiento Relativo medio (cambios en circunferencia a la altura del pecho) para *Ardisia sp.*, *Astrocaryum alatum*, *Byrsonima crassifolia*, *Cecropia obtusifolia*, *Croton schiedeanus*, *Croton smithianus*, *Cupania glabra* y *Isertia haenkeana*.



**Ilustración 3.** Tasa de Crecimiento Relativo medio (cambios en circunferencia a la altura del pecho) para *Dendropanax arboreus*, *Galipea granulosa*, *Goethalsia meiantha*, *Guatteria recurvisephala*, *Guettarda combsii*, *Hirtella guatemalensis* y *Inga cocleensis*.

Resultados muestran que las TCR medios fueron estadísticamente iguales para el periodo de estudio de 1997-98 cuando fue comparado con 1998-99 ( $T = 4.264$ ,  $gl = 21$ ,  $P > 0.05$ ); indicando que aún con los daños al bosque por el fuego los cambios en crecimiento fueron similares a los años sin la ocurrencia de fuego; pero lo que fue claro es que la reducción del crecimiento fue evidente en el último periodo de medición con respecto al periodo con ocurrencia de fuego donde estadísticamente las TCR fueron diferentes para los periodos 1998-99 comparado con 1999-2000 ( $T = 6.264$ ,  $gl = 19$ ,  $P < 0.05$ ). Al comparar el periodo sin la ocurrencia de fuego y el periodo post ocurrencia de fuegos observamos que existe una diferencia en las TCR ( $T = -1.045$ ,  $gl = 19$ ,  $P < 0.05$ ).

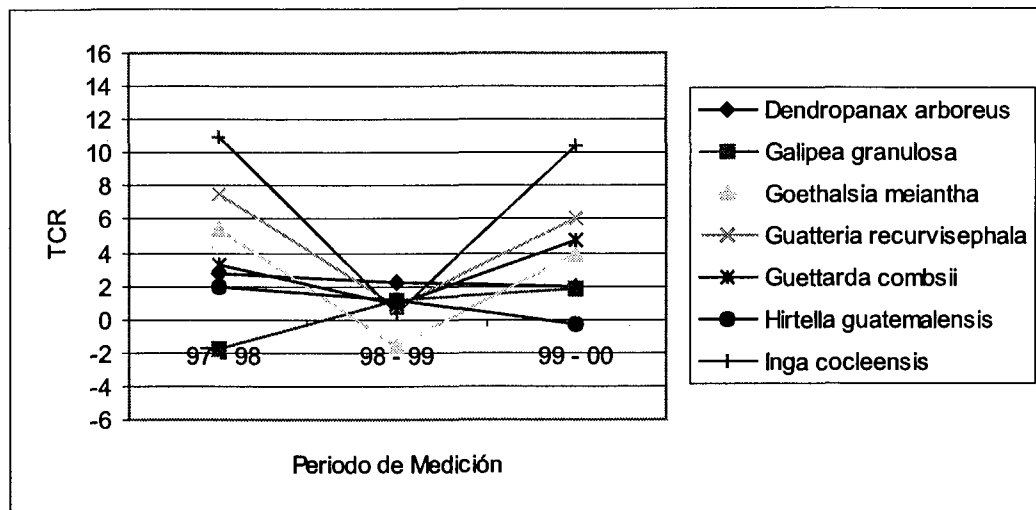
### Discusión

Las tasas de mortalidad fueron muy altas en el año del fuego a como lo

esperábamos. Acompañando esta mortalidad se presencié una mortalidad retardada, con tasas más altas que en otros sitios del bosque que no fueron dañados por los fuegos.

De acuerdo a las TCR, algunos individuos fueron indiscutiblemente muy dañados por el fuego, pero no se secaron y mostraron que su capacidad de incrementar su circunferencia fue afectada. De esta forma observamos que el fuego tiene un impacto negativo directo sobre los TCR. Por otro lado, algunas especies que por azar, o bien por su historia de vida, fueron capaces de resistir el fuego, la apertura de la copa del bosque le proveyó de una oportunidad para crecer en el bosque incendiado.

Una clara observación de los datos crudos de crecimiento en circunferencia muestra que los sitios no afectados por el fuego La Unión y La Bodega presentan bajas tasas de TCR y muy similares para ambos.



**Ilustración 4.** Tasa de Crecimiento Relativo medio ( cambios en circunferencia a la altura del pecho) para *Amaioua corymbosa*, *Manilkara zapota*, *Miconia prasina*, *Prestoea sp.*, *Protium schippii*, *Rinorea squamata* y *Vochysia ferruginea*.

El patrón adoptado por las especies es esperado, puesto que la mayoría de los árboles fueron expuestos a un estrés como producto de la sequía en el año de El Niño; un análisis detallado es necesario para determinar si la diferencia en composición de especies de ambos sitios determina una diferenciación significativa en incremento de las TCR para dichos sitios.

En 1989, un año después del huracán, ocurrieron grandes incendios en los pantanos del área huracanada, estos fuegos, en gran parte iniciados por las prácticas agrícolas de la zona, se extendieron solamente en los pantanos de yolillo (*Raphia taedigera*); para entonces, la gran acumulación de hojarasca húmeda producto de los estragos del huracán en el bosque húmedo tropical fue una barrera física para la propagación del fuego dentro del bosque. Algo diferente ocurrió en 1998 con los embates de El Niño, la hojarasca del sotobosque permaneció seca, ésta produjo que los fuegos se extendieran en el bosque latifoliado.

En general, los incendios forestales ocurridos en el periodo de El Niño 1998 - 1999 causaron un giro parcial en la regeneración post huracán Juana, a una regeneración post fuego en muchas áreas del bosque húmedo tropical. Aunque existen áreas remanentes de bosque con regeneración post huracán. De esta forma es importante que consideremos monitorear ocurrencia de fuegos en dos de nuestros sitios de investigación post huracán Juana. Es decir, podemos abandonar por cuatro o

cinco años la evaluación del crecimiento de nuestras parcelas quemadas y centrarnos en las investigaciones de nuestra mayor área de estudio de bosque huracanado, para así, en un futuro cercano, tener una respuesta cuantitativa de la regeneración post fuegos. Además es posible calcular tasas de mortalidad para todos los sitios de estudio durante los 12 años de monitoreo del bosque húmedo y así tener una función de mortalidad vs. tiempo en la cual se podrá identificar los efectos del fuego tanto en bosques incendiados como no incendiados.

De esta forma, el bosque del sureste de Nicaragua es un mosaico de agricultura tradicional e indígena, regeneración post huracán y post fuego. Estos tres estados del bosque deben considerarse al momento de planear estrategias de monitoreo de la regeneración de bosque; por ejemplo, regeneración de bosque después de agricultura el cual es un componente que recientemente hemos retomado y ahora la regeneración post fuego. De esta forma, nuestras pautas de investigación en el futuro cercano están obediendo cada vez más a la dinámica de régimen y tipo de disturbios a los que son sometidos los bosques del sureste de Nicaragua.

### **Agradecimientos**

Agradecemos a National Science Foundation (NSF) por financiar este estudio a partir de la beca para investigación a John H. Vandermeer. A los grupos de medición del sitio La Fonseca de los años 1997 - 2000.



**Bibliografía**

- BOUCHER, D. H. (1990). "Growing back after hurricanes". Baltimore. *BioScience*. Vol.40 Pp. 163-166.
- BOUCHER, D. H., J. H. VANDERMEER, K. YIH y N. ZAMORA. (1990). "Contrasting hurricane damage in tropical rain forest and pine forest". Durham, NC, USA. *Ecology*. Vol.7 No.5 Pp. 2022-2024.
- BOUCHER, D. H.; J. H. VANDERMEER, M. A. MALLONA, N. ZAMORA y I. PERFECTO. (1994). "Resistance and recilicence in a directly regeneration forest: Nicaraguans trees of *Vochysiaseae* after hurricane Joan". Amsterdam, NL. *Forest Ecology and Management*. Vol.68 Pp. 127-136.
- CHAZDON, R. L., R. K. COWELL y J. S. DENSLOW. (1999). "Tropical tree richness and resource-based niches". Washington DC, USA. *Science*. Vol. 285 Pp. 1459.
- CHESSON, P. L. y R. P. WARNER. (1981). "Enviromental variability promotes coexistence in lottery competitive systems". Universidad de Chicago. *Am. Nat.* Vol.117 Pp. 923-943.
- CLARK, D. A y D. B. CLARK. (1992). "Life history diversity of canopy and emergent tree in neotropical rain forest". Ithaca, NY, USA. *Ecological Monographs*. Vol.62 No.3 Pp. 315-344.
- CLARK, J. S. (1990). "Fire and climate change during the last 750 yr in northwestern Minnesota". Ithaca, NY, USA. *Ecological Monographs*. Vol. 60 No.2 Pp.135-159.
- CHRISTENSEN, N. L. (1977). "Fire and soil-plant nutrient relations in a pine-wiregrass savanna on the coastal plain of north California". Berlín, AL. *Oecologia*. Vol.31 Pp. 27-44.
- FRANGI, J. L. y A. E. LUGO. (1991). "Hurricane damage to a flood plain forest in Loquillo Mountain of Puerto Rico". Ohio, USA. Washington. *Biotropica*. Vol.23 Pp. 324-335.
- GRANZOW DE LA CERDA, I., J. H. VANDERMEER, I. PERFECTO y D. H. BOUCHER. (1999). "El papel de los huracanes en la diversidad y estructura de los bosques tropicales". España. *Quercus*. Vol. 166 Pp. 42-45.
- GRANZOW DE LA CERDA, I.; N. ZAMORA, J. H. VANDERMEER y D. H. BOUCHER. (1997). "Diversidad de especies arbóreas en el bosque tropical húmedo del Caribe nicaragüense siete años después del huracán Juana". *Rev. Biol. Trop.* Vol.45 Pp. 1409-1419. San José
- HOLDRIDGE, L. R. (1992). *Ecología basada en zona de vida. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura*. San José, Costa Rica.
- HUBBLE, S. P. y R. B. FOSTER. (1986). (Biology, change, and history and the structure of tropical rain forest tree communities). J. Diamond and T. J. Case (Editores), In: *Community Ecology*. New York. Harper and Row.
- HUBBLE, S. P. (1999). "Tropical tree richness and resource-based niches". Washington DC, USA. *Science* Vol.285 Pp. 1459.
- LIEBERMAN, D., M. LIEBERMAN, G. HARTSHORN y R. PERALTA. (1993). "Growth rates and age-size relationships of tropical trees in Costa Rica". Cambridge, New York. *Journal of Tropical Ecology*. Vol.1 Pp. 97-109.
- MILLER, T. E. (1982). "Community diversity and interaction between the size and frequency of disturbance". Universidad de Chicago. *Am. Nat.* No.120 Pp. 533 - 536.
- MOONEY, H. A. y M. GORDON. (Editores). (1983). *Disturbance and ecosystems*. Berlin. Springer - Verlag,
- PICKETT, S. T. A. y P. S. WHITE. (Editores). (1985). *Natural Disturbance and patch dynamics*. New York. Academic Press.
- RUIZ, J. (2000). Playing the tape again - Recovery for *Vochysia ferruginea* a tree from Nicaraguan rain forest: A Matrix transition Model. Holanda. M. Sc. Thesis. Wageningen University,
- RUIZ, J. (1999). "Mortalidad, crecimiento y fenología de plántulas del palo de mayo (*Vochysia ferruginea*) expuestas a la herbivoría foliar en el bosque huracanado del Caribe Nicaragüense". *WANI*. No. 24 Pp. 34 - 47. Managua
- RUIZ, J. (1998). *Respuestas en sobrevivencia y crecimiento de plántulas de Vochysia ferruginea ante niveles y tipos de daños causados por herbivoría foliar*. Managua. Universidad Centroamericana. Tesis de Licenciatura.

- SANFORD, R. L., J. SALDARRAGIA, K. E. Clark, C. Uhl y R: Herrera. (1985). "Amazon rain forest fires". Washington DC, USA. *Science* No.227 Pp. 53 - 55.
- VANDERMEER, J. H. (2001). Comunicación personal.