



8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a
los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**



8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

Cataluña | Catalunya - 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022

ISBN 978-84-941695-6-4

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Organiza



Respuesta de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. (árbol del caucho) a la inundación en la Reserva Extrativista Federal Lago do Capanã Grande (Manicoré, Amazonas, Brasil)

DIAZ HERRAIZ, A.^{1,2}, MARTIN FEARNSIDE, P.³ DE ALENCASTRO GRAÇA, P.M. ³ y VILLAR MONTERO, R.¹

¹ Área de Ecología, Facultad de Ciencias, Universidad de Córdoba, UCO.

² Instituto Federal de Ciéncia e Tecnologia do Amazonas, IFAM.

³ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia, INPA.

Resumen

Los efectos de los eventos climáticos extremos afectan intensamente las dinámicas forestales y sus servicios ecosistémicos en la Amazonía, impactando el sistema socio-económico de la población que depende de ella en el tiempo y en el espacio. El presente estudio tuvo como objetivo analizar la supervivencia de los árboles de caucho (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.) y el efecto sobre la estructura del bosque en condiciones de asfixia radicular, causado por la histórica crecida del río Madeira en 2013/14 dentro del espacio protegido “Reserva Extrativista Lago do Capanã Grande”, Manicoré - Amazonas (Brasil). Para ello, se registró la mortalidad georeferenciando mediante GPS 758 individuos en 4 agrupaciones naturales de caucho, registrando el DAP (diámetro a la altura del pecho) y el tiempo de asfixia radicular mediante el pulso de agua de inundación. El registro encontró individuos que superaron los 200 días de asfixia radicular. Los análisis mostraron la existencia de una relación entre la mortalidad, el tiempo de asfixia radicular y la edad de los individuos.

Palabras clave

Asfixia radicular, mortalidad, evento climático extremo.

1. Introducción

La intensidad y frecuencia en la aparición de eventos climáticos extremos ha aumentado a lo largo de las últimas décadas posiblemente como consecuencia del cambio climático (MILLY et al., 2002; FEARNSIDE, 2008, 2012; MARENGO & ESPINOZA, 2016). Los efectos sobre la socio-economía sea a nivel local o regional son difíciles de mensurar o mitigar (MARENGO et al., 2013; HERRAIZ et al., 2017). Estos eventos extremos ocasionan serios impactos que, aunque parecen ser puntuales y fáciles de mensurar como en la agricultura, pueden afectar de forma desconocida a las relaciones en los ecosistemas forestales (ESPINOZA et al., 2015).

Fenómenos climáticos como El Niño o La Niña no explicaron inundaciones históricas como las registradas en la cuenca del río Madeira (Amazonas, Brasil) en el ciclo hidrológico de 2013/14 (VAUCHEL, 2014). El aumento en la temperatura en la superficie del Atlántico Sur Subtropical y del Oeste del Pacífico Sur junto con la formación de un anticiclón Subtropical del Atlántico Sur y el bloqueo de las corrientes de la Zona de Convergencia Intertropical provocaron un transporte de humedad de grandes proporciones para los tributarios andinos del Madeira (ESPINOZA et al., 2014) aumentando de forma drástica el nivel del río Madeira en el año 2014.

El municipio de Manicoré (Amazonas, Brasil), sufrió con los efectos de las inundaciones del río Madeira superando en 70 días el periodo de la última inundación histórica registrada en el año de 1997 afectando a las principales fuentes de renta de las poblaciones rurales, las cuales obtienen de la extracción de productos forestales no madereros (PFNM) como la colecta de castaña de Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) o del látex del árbol del caucho (*Hevea brasiliensis* Willd. ex A. Juss. Muell.-Arg.), (Herraiz et al., 2017).

El látex es producido por más de 7000 especies de 300 géneros, sin embargo, el género más representativo y explotado económicamente es *Hevea spp.* (*Euphorbiaceae*), en donde se encuentra el árbol del caucho *H. brasiliensis* (Gonçalves et al. 1990) de donde se extrae comercialmente el látex. La extracción del látex aparece como segunda fuente de ingresos para las familias rurales que viven en áreas protegidas de este municipio, más concretamente en la Reserva Extrativista del lago de Capanã Grande (Resex Lago do Capanã Grande) (ICMBIO, 2009a, 2009b). Por dicho motivo se hace importante analizar el impacto de estos eventos climáticos extremos sobre especies económicamente rentables como el árbol del caucho.

2. Objetivos

Como objetivo general del trabajo es evaluar la supervivencia de la especie *Hevea brasiliensis* frente a la inundación del río Madeira.

Como objetivos específicos aparecen:

- Estudiar el efecto del tiempo de asfixia sobre la supervivencia de la especie.
- Estudiar el efecto de la edad mediante las clases diamétricas sobre la supervivencia de la especie en la inundación.
- Evaluar las posibles consecuencias económicas en la extracción del látex.

3. Metodología

3.1 Levantamiento de informaciones geográficas.

Los datos relativos al ciclo hidrológico del río Madeira se obtuvieron durante los años previos al evento climático extremo permitiendo el análisis espacial y fluviométrico del alcance de la inundación en el área de estudio (Resex Lago do Capanã Grande). Para eso se consultó la base de datos fluviométricos diaria de la agencia brasileña de aguas (sistema hidroweb/Ana, <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/>). Mediante esta monitorización del ciclo hidrológico del río se obtuvieron el número de días en asfixia radicular (entrada y salida) de cada individuo estudiado. La marca del pulso de agua (máxima cota de inundación) de cada individuo fue relacionada con el máximo registrado en la estación fluviométrica más próxima (Manicoré -AM), de esta forma el registro diario de del río permitió obtener la cantidad de días a las cuales cada individuo estuvo sometido a condiciones de anoxia. Además, se consultaron imágenes STRM (Shuttle Radar Topography Mission), <https://earthexplorer.usgs.gov/>) de la región para observar la topografía y posible alcance geográfico de la inundación. Esto permitió también la obtención de datos topográficos mediante modelos de elevación digital del territorio.

3.2 Obtención de datos en campo.

Se realizaron dos idas a campo para levantar informaciones relativas a la localización y supervivencia, así como otros parámetros biológicos y socioeconómicos. El área seleccionada fue un espacio protegido como la Reserva Extrativista del Lago del Capanã Grande, situado en Manicoré, estado del Amazonas (Brasil) donde la mayoría de las familias tiene gran dependencia económica de productos forestales no madereros (PFNM).

Levantamiento de la mortalidad: Fueron visitadas 4 formaciones forestales extractivistas tradicionales situadas a lo largo del lago, las cuales fueron afectadas con diferente intensidad. Dentro de cada formación forestal se georreferenció la sobrevivencia de cada individuo. Además, se registró la cota o pulso del agua (nivel máximo del río) desde la base para posteriormente relacionarla con el periodo de asfixia radicular (Fig. 2B). Para poder estudiar la mortalidad en función del tiempo de asfixia se clasificaron los períodos de tiempo en función del pulso del río, de esta forma 100 cm de cota corresponden a 58 días de asfixia y así sucesivamente. También se realizó una clasificación diamétrica a intervalos de 10 cm para ($DAP > 10 \text{ cm}$).

Además, fueron levantados datos relativos a la producción de látex de la región mediante los registros de producción cooperativa buscando mensurar el impacto sobre la economía comunitaria.

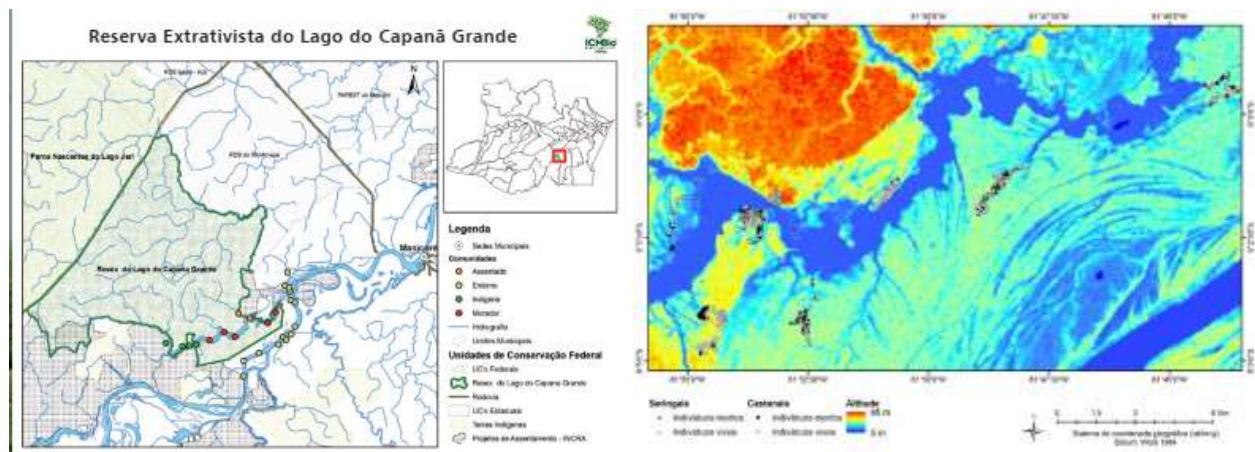


Figura 1. A) Localización de la Resex Capaná Grande en el estado del Amazonas (Brasil). B) Localización de las formaciones forestales estudiadas.

3.3 Análisis estadístico. Modelización.

La sobrevivencia (o mortalidad) fue modelada utilizando modelos lineales mixtos logísticos (GLM binomial) mediante el uso del software Rstudio 4.1 utilizando dos variables explicativas: DAP (el diámetro a la altura del pecho en centímetros) y el periodo de asfixia radicular. La relación entre ambas variables también fue estudiada descartando una posible colinealidad.

4. Resultados

4.1 Registro de la inundación.

Los datos levantados en el ciclo fluviométrico mostraron una tendencia interanual preocupante (Fig.2 A). El registro apunta a un aumento de la intensidad de las inundaciones para esta localidad. Ya la figura 2B muestra el impacto de la inundación en el tiempo intranual, habiendo registrado individuos que estuvieron sometidos a más de 200 días en condiciones de asfixia radicular.

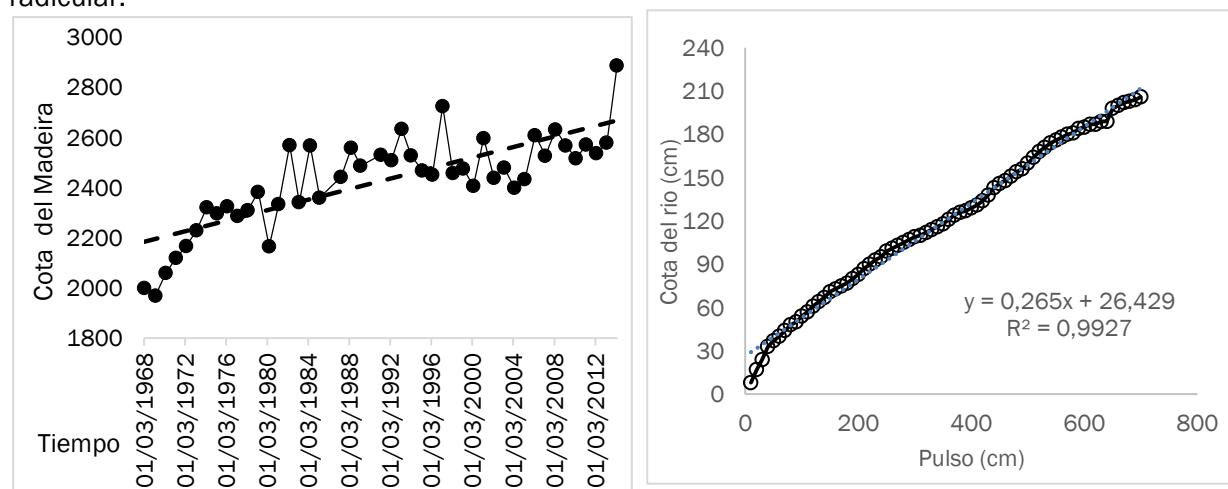


Figura 2. A) Registro histórico y tendencia de las máximas alcanzadas por el río Madeira a su paso por el municipio de Manicoré (AM). B) Relación entre pulso del agua y días de asfixia radicular.

Observando la mortalidad en función del tiempo de asfixia (Fig. 3A), mayores tiempos indican de forma clara un aumento en la mortalidad, la cual parece estabilizarse en períodos superiores a 109 días. De la misma forma, el análisis diamétrico (Fig. 3B), muestra el efecto de la edad frente a la mortalidad, individuos adultos sufrieron más frente al estrés anóxico.

La mortalidad aumenta casi de forma exponencial con el tiempo de asfixia hasta períodos de 109 días tiempo a partir del cual la mortalidad parece estabilizarse en un 24 % de los individuos estudiados, manteniendo una tasa de supervivencia superior al 70%. Cuando el análisis de la mortalidad se relaciona con la edad (clase diamétrica), aunque parece haber una mortalidad exponencial, alcanzando valores próximos al 30% para diámetros entre 20 y 30 cm, ésta cae hasta el 20%. La distribución de los individuos en función de la clase diamétrica sigue la distribución clásica en forma de cuello de botella reduciendo a apenas 3 individuos con diámetros superiores a 50 cm.

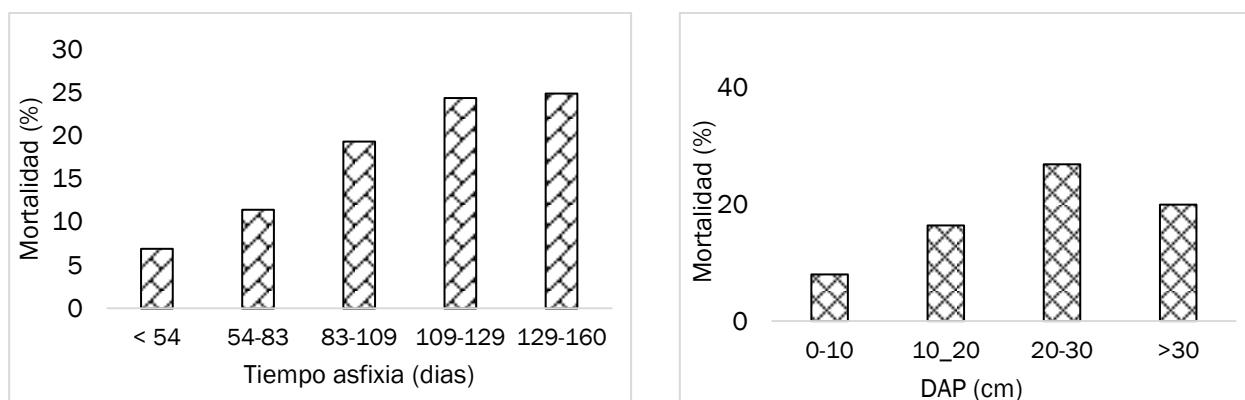


Figura 3. A) Mortalidad de la especie en función del DAP y B) en función del tiempo de asfixia radicular.

No fue encontrada relación entre las dos variables explicativas (Fig. 4), la altimetría (cota o pulso de agua) parece no afectar a la distribución de la especie.

El modelo lineal binomial (regresión logística) muestra la significancia (asfixia radicular $p < 0.000191$ y dap $p < 3.44e-07$), e importancia de ambas variables para la mortalidad (Figs. 5 A y B).

Aunque durante la toma de datos no fueron realizados transectos para evaluar el reclutamiento, las áreas impactadas por la inundación no registraron plántulas.

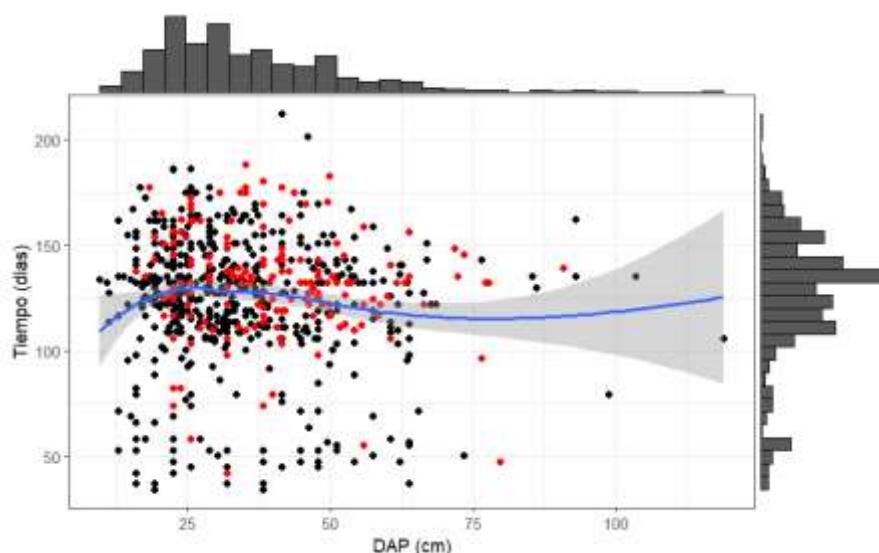


Figura 4. Regresión entre DAP (cm) y Tiempo de asfixia radicular (días)

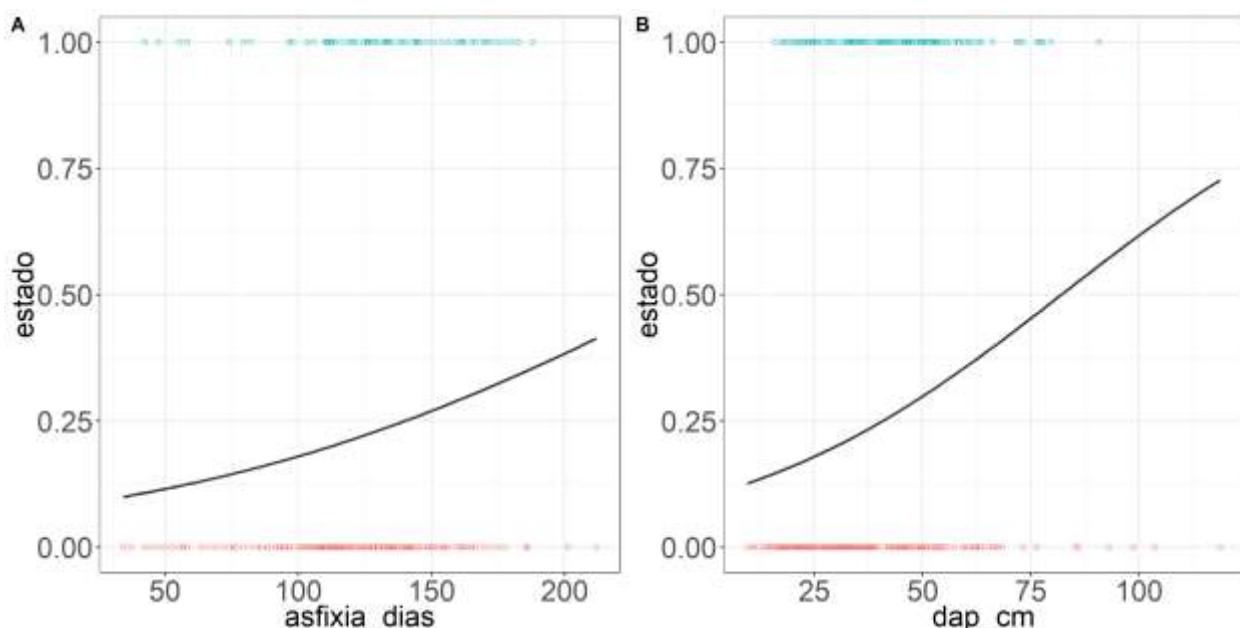


Figura 5. Respuesta de las variables del modelo logístico frente al tiempo de asfixia (A) y frente al DAP (B). El estado corresponde con la mortalidad (1) o la supervivencia (0).

El registro cooperativo histórico de la producción (Fig. 6) refleja una caída abrupta en la producción local de látex, coincidiendo con la inundación histórica del río en esa localidad. La producción registrada siempre hace referencia al ciclo anterior.

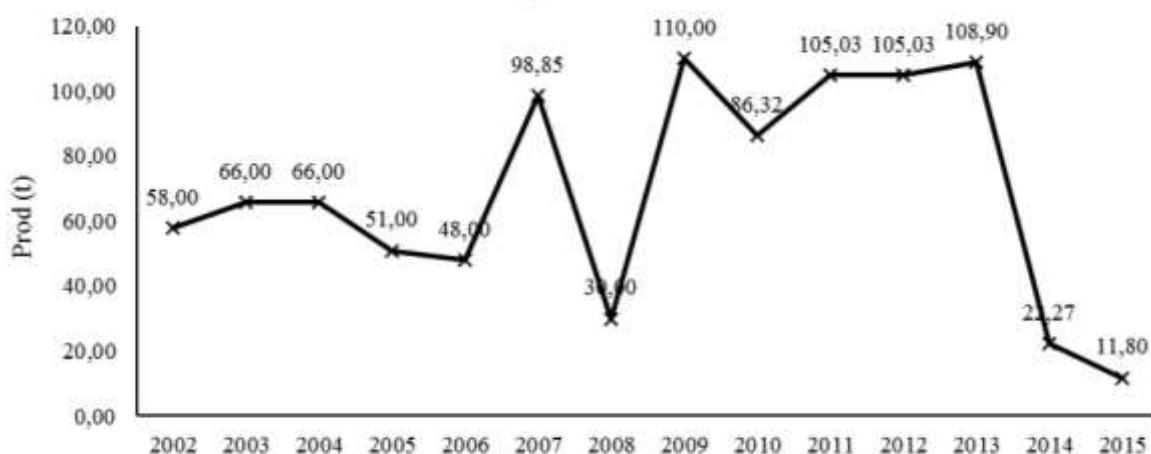


Figura 6. Registro histórico de la producción cooperativa de látex (toneladas) en la Resex Capaná Grande, Manicoré, Amazonas, Brasil.

5. Discusión

Aunque la respuesta de *Hevea brasiliensis* frente a estrés anóxico no ha sido muy estudiado condiciones de asfixia por pequeños períodos parece no ser un obstáculo serio para su cultivo

comercial (VIEIRA & GAMA 2000). No existe en la literatura estudiada casos que describan la supervivencia o mortalidad de la especie sometida a largos períodos de inundación.

Esta especie carece de estructuras fisiológicas o morfológicas que favorezcan su localización en lugares inundables, sin embargo, es cierto que en su género existen especies como *H. spruceana* o *H. guianensis*, las cuales habitan áreas húmedas e inundables como orillas de ríos o lagos, facilitando la dispersión de sus semillas (BRASIL, 1977). Es posible que esta condición ecológica haya dotado al género de cierta plasticidad fenotípica para poder adaptarse estos ambientes cambiantes dentro de cierto rango (OLIVEIRA et al., 2002; MARINHO et al., 2013) registraran la presencia de *H. spruceana* en áreas sujetas a inundación por más de 130 días al año en las proximidades de Manaus (Amazonas, Brasil), relacionando los períodos de estiaje con la selección de individuos con DAP superiores a 20 cm, limitando el reclutamiento de individuos jóvenes. Es cierto que existen trabajos que registran períodos de hasta 55 días de inundación para *H. brasiliensis* (PELACANI et al. 1998), sin embargo, nunca fueron alcanzados períodos tan largos. Es posible que la intensidad de la inundación haya tenido un impacto difícil de mensurar en la fisiología y metabolismo de la especie (KOZLOWSKI 1997) que a priori parece tolerar bien ciertos períodos de asfixia.

Aunque el efecto tanto del tiempo como de la edad es significativo en este estudio, no fue encontrada una relación entre la edad y la cota o pulso del río que de alguna forma estuviese seleccionando los individuos con menores tiempos de asfixia (lugares de mayor altimetría), lo cual puede indicar la adaptación de la especie a este tipo de condiciones en menores intensidades a lo largo del tiempo. En nuestro caso, cuando se analiza la relación entre mortalidad y edad (DAP), contrario a lo defendido por Tzeng et al., 2018, se observa que individuos más jóvenes parecen tener una mejor respuesta frente a la asfixia radicular con mayores tasas de supervivencia. Es posible que la respuesta de adaptación a los estímulos sea más rápida que en individuos más antiguos donde los cambios fisiológicos sean energéticamente más caros y lentos (SENA & KOZLOWSKI, 1988). En este sentido, aunque la densidad de la especie en campo es elevada garantizando una elevada producción y dispersión de semillas, la pérdida de plántulas nuevas (reclutamiento) afectará a la sucesión de la especie en los lugares impactados por la inundación (TZENG et al., 2018).

Otra variable que ha podido afectar ha podido ser el tipo de agua al cual se vio afectada. Generalmente la especie está localizada en las proximidades de cuerpos de agua negra (alta concentración de taninos derivados de la descomposición vegetal) no estando adaptada al agua clara cargada de sedimentos andinos que el río Madeira depositó en estas áreas inundadas, es posible que la respiración realizada por las lenticelas adaptadas a aguas negras no hayan respondido frente a las aguas cargadas de sedimentos reduciendo el oxígeno disponible y favoreciendo la muerte celular y por tanto la supervivencia del individuo (KOZLOWSKI 1997).

En lo referente al impacto socioeconómico, aunque existen políticas a nivel regional que reconocen el papel de las comunidades como agentes de conservación (VIANA, 2013; SALOMON, 2014) cada día se hace más patente la necesidad de establecer políticas de mitigación frente a la aparición de eventos climáticos extremos. La inundación tuvo un fuerte impacto no solo sobre la supervivencia de la especie, la extracción del látex (entre otras actividades económicas) se vio afectada. La producción y la calidad del látex fueron afectadas por la alteración de los mecanismos de transpiración (KOZLOWSKI 1997), a lo que hay que añadir el estado fisiológico de los individuos debilitado (corteza húmeda y fragilizada) reduciendo todavía más las opciones de la sangría (extracción del látex) propiciando el ataque de plagas y enfermedades (HERRAIZ et al., 2017). Además, el nivel de las aguas fuera del ciclo normal también terminó por afectar el acceso y transporte de la producción.

6. Conclusiones

Existe un claro impacto de los eventos climáticos extremos sobre la supervivencia de las especies forestales, en este caso debido a las intensas inundaciones; relacionando de forma directa el tiempo de asfixia radicular sobre la mortalidad la cual en este caso alcanzó tasas próximas al 30% de mortalidad a partir de los 110 días de asfixia.

La edad parece ser un factor importante en la respuesta que la especie puede dar frente a este tipo de estrés. Individuos jóvenes parecen tolerar mejor la falta de oxígeno. Individuos con DAP superiores a 30 cm muestran tasas de mortalidad superiores al 20%.

Aun así, sorprende la resiliencia de la especie. Tasas de supervivencia superiores al 70% indican tolerancia frente a la falta de oxígeno por periodos prolongados.

El impacto sobre los bosques tuvo consecuencias sobre los servicios ecosistémicos de los cuales las poblaciones locales se aprovechan económicamente disminuyendo drásticamente la producción de látex en la región del río Madeira.

Más estudios deben ser realizados para entender el impacto de periodos prolongados de anoxia sobre la respuesta fisiológica y morfológica de esta especie.

7. Agradecimientos

Me gustaría agradecer en especial a los extractivistas y comunitarios que de la Resex Capanã Grande que habiendo sido impactados directamente por la inundación me acompañaron desinteresadamente durante todo el trabajo me dando cobijo, así como a los técnicos del Instituto Chico Medes para la Biodiversidad (ICMBio) de la Resex quienes luchan día a día por la conservación de los recursos humanos y biológicos que las áreas protegidas albergan en Brasil. Al Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia (INPA) y al Instituto Federal de Ciencia y Tecnología (IFAM) por ceder recursos humanos a la hora de realizar este trabajo.

8. Bibliografía

ANA, Agencia Nacional das Aguas, 2014. Sistema hidroweb: <http://mapas.hidro.ana.gov.br>

ARAÚJO E. R. 2010. Caracterização de três seringais manejados em terra firme, várzea e terra preta de índio no Médio Amazonas. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura no Trópico Úmido do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia ATU/INPA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em CIÊNCIAS AGRÁRIAS. Março 2010.

BRASIL. 1977. O gênero *Hevea*: descrição das espécies e distribuição geográfica. Plano Nacional da Borracha, 7, 823. 1971.

ESPINOZA, J.C., MARENKO, J.A., RONCHAIL, J., CARPIO, J.M., FLORES, L.N. & GUYOT, J.L. 2014. The extreme 2014 flood in south-western Amazon basin: The role of tropical subtropical South Atlantic SST gradient. Environmental Research Letters 9: art. 124007. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/12/124007>

FEARNSIDE (P.M.), 2008. Amazon forest maintenance as a source of environmental services. Anais da Academia Brasileira de Ciências 80(1): 101-114. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652008000100006>

FEARNSIDE (P.M.), 2012. Brazil's Amazon forest in mitigating global warming: Unresolved controversies. Climate Policy 12(1): 70-81. <https://doi.org/10.1080/14693062.2011.581571>

GONÇALVES (R.C.); DE SÁ (C.P.); DUARTE (F.A.A.); BAYMA (M.M.A.), 2013. Manual de Heveicultura para a Região Sudeste do Estado do Acre (No. 128), Documentos. Embrapa, Rio Branco, AC.

GOMES (A. R. SENA); KOZLOWSKI (T. T.), 1988. Physiological and Growth Responses to Flooding of Seedlings of *Hevea brasiliensis*. *Biotropica*, Vol. 20, No. 4, pp. 286-293. <http://www.jstor.org/stable/2388318>

HERRAIZ, (A.D.); FEARNSIDE (P.M.) & P.M.L.A. GRAÇA. 2017. Amazonian flood impacts on managed Brazilnut stands in natural forests along Brazil's Madeira River: A sustainable economy threatened by climate change. *Forest Ecology and Management* 406: 46-52. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.09.053>

ICMBio, 2009a. Plano de Manejo da Resex Lago do Capanã Grande. Instituto Chico Mendes para a Conservação da Biodiversidade, ICMBio, Ministério de Meio Ambiente, MMA, 2009.

ICMBio, 2009b. Relatório: Identificação das áreas de uso para coleta de castanha e extração de látex na Reserva Extrativista Lago do Capanã Grande. Organizadora: Vívian Mara Uhlig, Analista Ambiental – COPMO – DIUSP, ICMBio. Brasília.

KOZLOWSKI (T. T.), 1997. Responses of woody plants to flooding and salinity. *Tree Physiology* Monograph No. 1. <http://www.heronpublishing.com/tp/monograph/kozowski.pdf>

MARENGO, J.A.; BORMA, L.S.; RODRIGUEZ, D.A.; PINHO, P.; SOARES, W.R.; ALVES, L.M. 2013. Recent extremes of drought and flooding in Amazonia: Vulnerabilities and human adaptation. *American Journal of Climate Change* 2: 87–96. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2013.22009>

MARENGO, J.A.; ESPINOZA, J.C. 2016. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: Causes, trends and impacts. *International Journal of Climatology* 36(3): 1033–1050. <https://doi.org/10.1002/joc.4420>

MARINHO (T. A. da S.); LOPES (A.); ASSIS (R. L. de); RAMOS (S. L. F.); GOMES (L. R. P.); WITTMANN (F.); SCHÖNGART (J), 2013. Distribuição e crescimento de *Garcinia brasiliensis* Mart. e *Hevea spruceana* (Benth.) Müll. Arg. em uma floresta inundável em Manaus, Amazonas. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 23, n. 1, p. 223-232, jan.-mar.

MILLY (P.C.D.); WETHERALD (R.T.); DUNNE (K.A.); DELWORTH (T.L.), 2002. Increasing risk of great floods in a changing climate. *Nature* 415: 514–517. <https://doi.org/10.1038/415514a>

PELACANI (C. R.); OLIVEIRA (L. E. M. De); CRUZ (J. L.), 1998. Resposta de espécies florestais à baixa disponibilidade de oxigênio. Alterações na produção e distribuição de matéria seca. *Pesq. Agropec. Bras.* Brasília, v.33, nA, p.37-41, jan.

SALOMÃO (R. P.), 2014. A castanheira: história natural e importância socioeconômica. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat.*, Belém, v. 9, n. 2, p. 259-266, maio-ago.

TZENG (H.Y.); WANG (W.); TSENG (Y.H.); CHIU (C.A.); KUO (C.C.); TSAI (S. TE), 2018. Tree mortality in response to typhoon-induced floods and mudslides is determined by tree

species, size, and position in a riparian Formosan gum forest in subtropical Taiwan. PLoS One 13, 1–22. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190832>

VAUCHEL (P.) 2014. *Estudio de la crecida 2014 en la cuenca del río Madera*. Observatoire de Recherche en Environnement – Control Geodinámico, Hidrológico y Bioquímico de la Erosión/Alteración y las Transferencias de Materia en la Cuenca del Amazonas (ORE-HyBAm), Institut de Recherche pour le Développment (IRD), La Paz, Bolivia. 25 pp. http://www.ore-hybam.org/index.php/esl/content/download/17209/89238/file/Estudio_Ode_la_crecida_2014_en_la_cuenca_del_río_Madera.pdf

VIANA (V. M.); MELLO (R. A.); MORAES (L. M.); MENDES (N. T.); 1998. Ecología e manejo de populações de castanha-do-Pará em reservas extrativistas Xapurí, Estado do Acre. In Gascon, C., and Mountinho, P. (eds.), Floresta Amazônica: Dinâmica, Regeneração and Manejo. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, INPA, Manaus, Amazonas, pp. 277–292

VIEIRA, (S. L.); GAMA, (J. R. N. F.), 2000. Solos e plantio da seringueira, p.284. In: Viegás, I. D. M. J. e Carvalho, J. D. G. (Ed.) Seringueira Nutrição e Adubação no Brasil, Embrapa, Brasil.