



Abanico Boletín Técnico. Enero-Diciembre, 2025; 4:1-16.  
Artículo Original. e2024-40.

## Modelos ecológicos para orientar la tendencia del impacto de incendios en sabanas inundables y manglares

Ecological models to guide the trend of fire impact on flooded savannas and mangrove  
forests

Flores-Garnica José\*<sup>1</sup> , Rivera-Leyva Refugio <sup>2</sup> , Flores-Rodríguez Ana\*\* <sup>1</sup> ,  
Orozco-Gutiérrez Gabriela<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Carretera Tepatitlán-Lagos de Moreno, Km 8 C.P. 47600, Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. <sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Mochochá, C. 21, 97454 Mochochá, Yucatán. Centro de Investigación Regional del Sureste. <sup>3</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Tecmán, Colima. \*Autor responsable: Flores-Garnica, José G. \*\*Autor de correspondencia: Flores-Rodríguez, Ana G. E-mail: [flores.german@inifap.gob.mx](mailto:flores.german@inifap.gob.mx), [rivera.refugio@inifap.gob.mx](mailto:rivera.refugio@inifap.gob.mx), [anaflores1386@gmail.com](mailto:anaflores1386@gmail.com), [orozco.gabriela@inifap.gob.mx](mailto:orozco.gabriela@inifap.gob.mx).

### RESUMEN

Para contextualizar la compleja dinámica de los ecosistemas forestales después de ser perturbados por incendios forestales, en una forma relativamente simple, se pueden estructurar modelos ecológicos que indiquen los posibles escenarios de la tendencia de la respuesta de la vegetación. Sin embargo, para los ecosistemas tropicales inundables estos modelos son muy escasos, por lo que, debido a la importancia ambiental de estos ecosistemas, es importante conocer el potencial proceso de restauración bajo diferentes escenarios de impacto de los incendios. Esto permitirá apoyar la toma de decisiones en la definición de las estrategias de restauración más adecuadas. De acuerdo con esto, en este trabajo se presentan dos modelos ecológicos conceptuales de ecosistemas tropicales inundables sensibles al fuego, de la península de Yucatán: 1) Sabanas inundables; y 2) Manglares. Estos modelos se desarrollaron con base a una lógica inductiva-deductiva cíclica, siguiendo el siguiente proceso: a) descripción de los impactos a los ecosistemas forestales con base en la experiencia de expertos; b) minimizar la complejidad de la dinámica del ecosistema después de la ocurrencia de incendios; c) establecer un proceso de deducción; y planteamiento de hipótesis de posibles escenarios de respuesta. Este proceso permitió clasificar y ordenar el conocimiento y entendimiento acumulado de la respuesta de los ecosistemas, que se ha obtenido del pasado y presente, con base a lo cual se definieron extrapolaciones futuras. Lo anterior ayudó a determinar los escenarios de la dinámica potencial de los ecosistemas estudiados, con presencia, o ausencia, de incendios forestales.

**Palabras clave:** Efectos del fuego, severidad de incendios, restauración, regeneración, resiliencia.

### ABSTRACT

In order to contextualize the complex dynamics of forest ecosystems after being disturbed by forest fires, in a relatively simple way, ecological models can be structured to indicate the possible scenarios of the vegetation response trend. However, for tropical flooded ecosystems these models are very scarce, so, due



to the environmental importance of these ecosystems, it is important to know the potential restoration process under different fire impact scenarios. This will support decision making in defining the most appropriate restoration strategies. Accordingly, this paper presents two conceptual ecological models of fire-sensitive flooded tropical ecosystems of the Yucatan Peninsula: 1) Flooded savannas; and 2) Mangroves. These models were developed based on a cyclic inductive-deductive logic, following the following process: a) description of the impacts to forest ecosystems based on the experience of experts; b) minimizing the complexity of the ecosystem dynamics after the occurrence of fires; c) establishing a process of deduction; and hypothesizing possible response scenarios. This process made it possible to classify and order the accumulated knowledge and understanding of ecosystem response, obtained from the past and present, based on which future extrapolations were defined. This helped to determine scenarios of the potential dynamics of the ecosystems studied, with the presence or absence of forest fires.

**Keywords:** Fire effects, fire severity, restoration, regeneration, resilience.

## INTRODUCCIÓN

El nivel de impacto de un incendio en un ecosistema forestal está condicionado por el tipo de vegetación, el régimen del fuego, los combustibles forestales, las condiciones meteorológicas, la topografía, la ignición, el ritmo de propagación y la capacidad de resiliencia del ecosistema (Pompa-García *et al.*, 2012). En particular los ecosistemas tropicales, como las sabanas y los manglares, se clasifican como sensibles al fuego (Parra-Lara *et al.*, 2010), debido a que presentan menos adaptaciones a su impacto, lo cual puede causar mayor mortalidad en los individuos (Rodríguez *et al.*, 2011). Sin embargo, en el caso de las sabanas, donde se puede tener presencia de pastos, como componente natural en el sotobosque, existe la posibilidad de estar relacionados con la el fuego (Rodríguez-Trejo, 2014). Esto debido a que estos ecosistemas presentan adaptaciones al fuego específicas, como la capacidad de desarrollar rebrotes, o la propagación por rizomas (Corrêa- Scalon *et al.*, 2019), características que también se reportan para varias especies tropicales (Rodríguez-Trejo, 2019). Así mismo, estas características pueden favorecer la continuidad de ciertos grupos de especies, implicando ciertos cambios temporales en las comunidades vegetales (Corrêa- Scalon *et al.*, 2019). El conocimiento de estos procesos, específicamente en relación a la respuesta de los diferentes componentes de un ecosistema, ante el impacto del fuego, es necesario para dirigir las acciones de restauración (Ocampo-Zuleta, 2019). Sin embargo, es importante que este conocimiento se estructure de forma ordenada (tiempo y espacio), de tal forma que permita entender el proceso secuencial que puede seguir un ecosistema impactado por incendios. Para esto se pueden generar modelos ecológicos, que integren y resuman los escenarios potenciales que puede seguir un ecosistema en relación a diferentes niveles de impacto de los incendios (Blanco, 2013). Con base a estos modelos, se puede definir la tendencia potencial de la dinámica de restauración, relacionada a procesos de sucesión vegetal determinados por diferentes regímenes del fuego (frecuencia y severidad) (CONANP & TNC, 2009). Sin, embargo, poco se ha trabajado sobre la



esquematización conceptual de la interacción del fuego en ecosistemas sensibles al fuego, como lo son las sabanas inundables y los manglares. Para lo cual, es necesario acoplar la información de diferentes fuentes, como la derivada de la investigación, aunque es relevante también el conocimiento de expertos derivado la continua gestión sobre estos ecosistemas (Jakeman *et al.*, 2008). Con base a esto, el objetivo del presente trabajo es estructurar modelos ecológicos que permitan orientar las posibles tendencias de la respuesta de la vegetación en dos ecosistemas impactados por incendios forestales de la península de Yucatán: a) sabana inundable; y b) manglar.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estudio se desarrolló con información sobre ecosistemas de manglares y sabanas inundables que se desarrollan en la península de Yucatán, asociados con vegetación halófila, de dunas costeras y de petenes (Duno-de Stefano *et al.*, 2018). En la región las sabanas inundables, consistentes en asociaciones de palmeras y pastos, comúnmente reciben su nombre haciendo referencia a las especies de palmas más abundantes, como lo son los tasisitales (*Acoelorrhaphe wrightii*), los corazales (*Attalea cohune*), los chitales (*Thrinax radiata*) y los kukabs (*Pseudophoenix sargentii*) (Duran-García, 2010). Tanto los manglares, como las sabanas, están expuestos a varios factores de perturbación, como lo son los incendios, los cuales son causado en su mayoría por actividades humanas, como la cacería, pesca, agricultura etc. (Rodríguez-Trejo *et al.*, 2011).

### Recopilación de información

Para definir los posibles escenarios y tendencias de la vegetación en relación a la ocurrencia de incendios forestales, se realizó una serie de entrevistas semiestructuradas con preguntas abiertas y cerradas. Como resultado se obtuvo información sobre varios aspectos de los incendios ocurridos en la zona de estudio, específicamente referente a la respuesta de cada tipo de vegetación ante estos incendios. Las entrevistas fueron realizadas a personal experto en diferentes áreas: a) Consultando a personal investigador y técnico de Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), el cual han trabajado en la zona en varios proyectos relacionados con el tema de los incendios forestales; b) Combatientes de incendios forestales, pertenecientes contra incendios; c) Campesinos de comunidades o ejidos de la zona, que han trabajado en proyectos de restauración. Además de las encuestas, para ejemplificar los efectos del fuego en los ecosistemas, se realizaron recorridos de campo en transectos específicos, ubicando zonas que reflejaran diferentes condiciones y temporalidades de la ocurrencia de incendios (Tricone & Anderson, 2020). Estas zonas fueron ubicadas en base a: 1) características de manejo, donde se tienen áreas naturales protegidas, áreas de amortiguamiento y áreas que no están bajo ninguna categoría de protección; y 2) diferentes regímenes del fuego (severidad y frecuencia), donde, por ejemplo se tienen áreas afectadas frecuentemente, áreas no impactadas, áreas fuertemente impactadas, áreas con cambios de vegetación o de uso de suelo, etc. La respuesta de los ecosistemas al fuego se diferenció con base a la condición que presentaban en cuanto a su estructura,



composición y densidad. Para apoyar la ubicación y frecuencia de incendios, se consultaron los reportes tanto del Sistema Nacional de Información Forestal (CONAFOR, 2024), como del Sistema de Alerta Temprana de Incendios (CONABIO, 2024).

### **Generación de modelos ecológicos**

Con base a la información recabada, para estructurar el conocimiento se siguió una lógica inductiva-deductiva cíclica (Blanco, 2013), implementada a los procesos de conocer, entender y predecir (Feinsinger, 2013; Dávila, 2006; Finol & Vera, 2020). De esta forma, para estructurar los modelos ecológicos, primeramente, se hizo una descripción de los ecosistemas estudiados, basado en cierto nivel de empirismo procedente de la experiencia del personal entrevistado. Posteriormente, a través de un proceso de deducción, se buscó reducir la complejidad de la dinámica del ecosistema, en relación a los incendios forestales. Con base a esto se establecieron hipótesis de las posibles tendencias de la dinámica del ecosistema. Finalmente, estas tendencias se extrapolaron para definir escenarios futuros posibles. La integración de los resultados, bajo un esquema conceptual (modelo ecológico), permitió determinar la respuesta que se esperaba, a través del tiempo, de los ecosistemas de sabana o manglar bajo diferentes niveles de severidad y frecuencia del fuego.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Modelos ecológicos de sabanas inundables**

**Caracterización de la vegetación.** Este modelo ecológico parte del escenario inicial de una sabana inundable, constituida por palmares, dominados por tasistales (*Acoelorrhaphe wrightii* (Griseb. & H. Wendl.) H. Wendl. Ex Becc.) y pastizales (Figura 1). Estas áreas se encuentran en zonas inundables de transición entre las marismas y pastizales inundables, que se caracterizan por una baja salinidad, donde se asocian varias especies (Cuadro 1).



**Figura 1. Ecosistema de sabana inundable, en la península de Yucatán, donde predomina palmares (tasistal), pastizal inundable y manglar**





**Cuadro 1. Especies dominantes en ecosistemas de sabanas inundables, sin ocurrencia de incendio, en la península de Yucatán ([Guadarrama, 2018](#))**

| Familia      | Nombre           | Género y especie                                            |
|--------------|------------------|-------------------------------------------------------------|
| Acanthaceae  | juluub           | <i>Bravaisia berlandieriana</i> (Nees) T.F. Daniel          |
| Arecaceae    | tasiste          | <i>Acoelorrhaphe wrightii</i> (Griseb. & H. Wendl.)         |
| Arecaceae    | huano            | <i>Sabal yapa</i> C. Wright ex Becc.                        |
| Arecaceae    | guano            | <i>Sabal gretherae</i> H. J. Quero R.                       |
| Arecaceae    | botan            | <i>Sabal mauritiiformis</i> (H. Karst.) Griseb. & H. Wendl. |
| Arecaceae    | Palam real       | <i>Sabal mexicana</i> Mart.                                 |
| Asparagaceae | despeinada       | <i>Beaucarnea pliabilis</i> (Baker) Rose                    |
| Cyperaceae   | tule             | <i>Schoenoplectus acutus</i> (Muhl. ex Bigelow)             |
| Cyperaceae   | zacate cortadera | <i>Cladium jamaicense</i> Crantz                            |
| Cyperaceae   | junco espiga     | <i>Eleocharis cellulosa</i> Torr                            |
| Poaceae      | otate            | <i>Otatea acuminata</i> (Munro) C.E. Calderón & Soderstr.   |
| Poaceae      | sak jalal        | <i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.          |
| Typhaceae    | tule             | <i>Typha angustifolia</i> L.                                |
| Typhaceae    | tule             | <i>Typha glauca</i> Godr.                                   |
| Typhaceae    | tule             | <i>Typha latifolia</i> L.                                   |
| Zamiaceae    | zamia            | <i>Zamia prasina</i> W. Bull                                |

**Impacto de incendios forestales.** En los humedales, como las sabanas inundables, la principal causa de incendios forestales, son por actividades humanas, más específicamente por fogatas ([CONABIO, 2024](#)). Más aun, los incendios en los pastizales inundables, sobre todo en épocas de sequías, pueden propagar el fuego hasta los manglares o las selvas creando un impacto negativo en este tipo de vegetación ([Estrada-Medina, 2016](#); [Harrison, 2021](#)). Bajo las condiciones de una sabana inundable, el fuego puede presentar una rápida propagación, lo que dificulta su control, provocando que en poco tiempo se queman grandes superficies de terreno ([Neri-Pérez, 2009](#)) (Figura 2). No obstante, el impacto en la vegetación de pastizal no es tan grave, ya que, aunque se queme en su totalidad, este rebrota en la temporada de lluvias ([Rodríguez-Trejo, 2020](#)). Más aún, algunas de las especies que se encuentran en las sabanas inundables se recuperan de manera rápida tanto por rebrotes, como por la germinación de nuevas plantas (Figura 3). Las palmas adultas de tasiste han mostrado tener alta sobrevivencia al impacto del fuego, Característica que se ha reportado para otras especies de palma ([Quintanilla, 2013](#)). Debido a estas características de regeneración, aunque los incendios se presenten de manera frecuente (p.e. cada 2 años), la vegetación se recupera y mantiene. Sin embargo, si estos incendios se presentan más frecuentemente (cada año), la pérdida de vegetación da paso a áreas inundables inestables, donde se pueden alcanzar profundidades de entre 30 a 50 cm. Esto implica que mucha regeneración ya establecida quede cubierta y, como consecuencia, mueran. De igual forma, aunque la



profundidad del agua llegue a bajas, los suelos son demasiado húmedos, lo cual también puede afectar la sobrevivencia de la regeneración (Figura 4).



**Figura 2. Condición de una sabana inundable después de un incendio, durante la época de sequía, en la península de Yucatán**



**Figura 3. Regeneración del tular y de tasiste, después de la época de lluvias posterior a un incendio, en un ecosistema de sabana inundable de la península de Yucatán**

En las áreas de transición entre las sábanas inundables y la selva baja, la presencia del fuego, puede provocar que las especies de selva se vean reducidas, mientras que las especies de sabana se ven favorecidas (Cochrane, 2003). Con lo cual se ocasiona un desplazamiento de la vegetación de selva (Cochrane, 2002), donde se pueden presentar especies de la familia Cyperaceae y algunos helechos, que predominan en sitios perturbados. Además, se pueden encontrar especies que están actuando como invasoras, acaparando los recursos y dificultando el establecimiento de otras especies, sobre todo de especies arbóreas. Entre las especies invasoras se encuentran: Tular





(*Typha dominguensis*), fideo de monte (*Cassytha filiformis*) y helecho (*Pteridium aquilinum*).



**Figura 4. Regeneración de vegetación, en un ecosistema de sabana inundable, afectado por el exceso de agua**

La Figura 5 presenta el modelo ecológico resultante para el ecosistema de sabana inundable, donde se aprecia la dinámica que puede ocurrir entre una sabana adulta y una joven, en relación a la ocurrencia de incendios forestales. Así mismo, se caracterizan algunos parámetros que diferencian a estas dos condiciones. Es importante resaltar, que esta propuesta de modelo puede servir de base para estructurar nuevos modelos, en la medida que se vaya recabando más información.

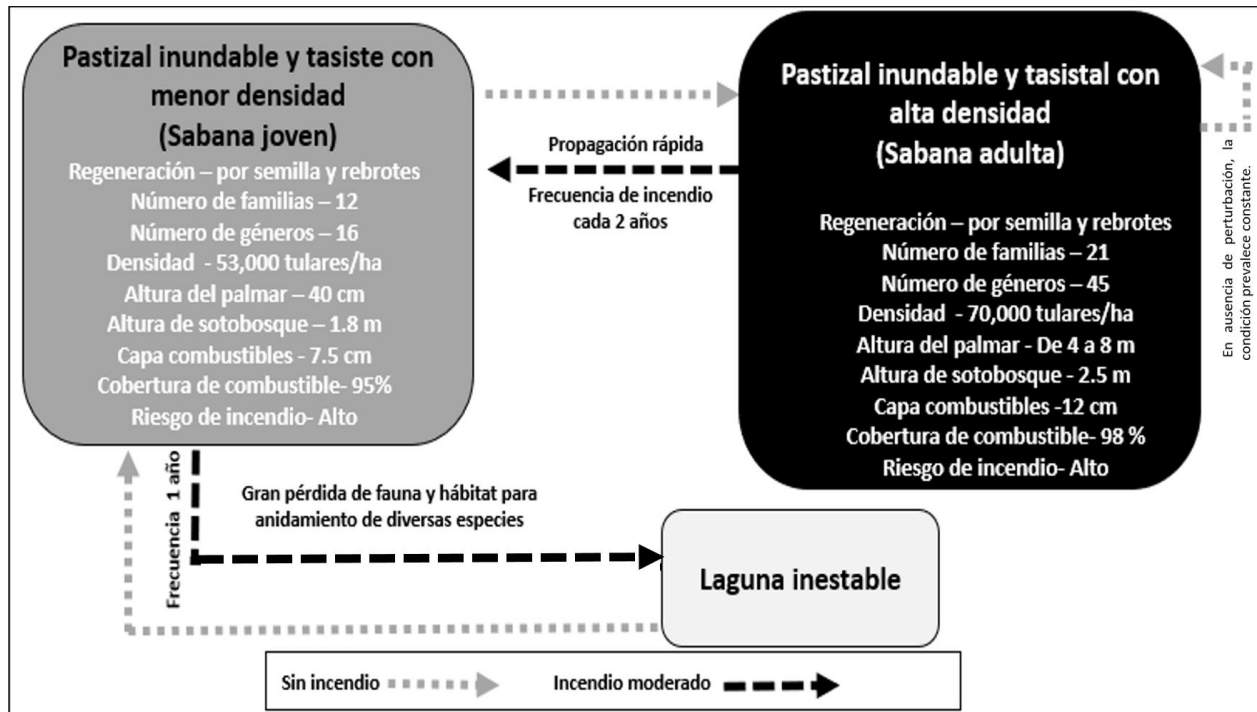


Figura 5. Modelo ecológico para un ecosistema de sabana inundable, que parte de una condición joven, y que ilustra los posibles escenarios en relación a la ocurrencia de incendios forestales

## Modelos ecológicos de manglar

**Caracterización de la vegetación.** Este modelo ecológico parte de un ecosistema de manglar, que se encuentran al borde de las lagunas o en las costas, y que se caracteriza por vegetación adaptada a zonas con abundante agua salobre. Presenta arbolado con alturas promedio entre 6 y 8 metros, llegando a alcanzar hasta 12 metros. Este arbolado presenta diferentes niveles de resistencia a la salinidad del agua, donde se pueden encontrar varias especies de mangle, como *Rhizophora mangle* L. (mangle rojo), *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn (mangle blanco) y *Avicennia germinans* (L.) Stearn (mangle negro, madre sal) y *Conocarpus erectus* L. (botoncillo) (Barrios-Calderón, 2020). Estas especies de manglar se puede encontrar entre el pastizal inundable, donde se encuentra arbolado de manglas de bajas dimensiones (alrededor de 2 metros de altura), lo cual se debe a la falta de nutrientes y a la abundancia de carbonato de calcio. Bajo estas condiciones, es más común encontrar mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.) y mangle botoncillo (*Conocarpus erectus* L.) (SEMARNAT & CONANP, 2014) (Figura 6). Mientras que en áreas de transición con selva baja espinoso el manglares se puede encontrar asociado con el julubar (*Bravaisia berlanderiana*), el cual se presenta en forma abundante.





**Figura 6. Individuos de manglar asociado con vegetación de pastizal inundable, en la península de Yucatán**

Los ecosistemas de manglar brindan diversos bienes ecológicos (Bouillon, 2011), como lo son (Donato *et al.*, 2022; Walters *et al.*, 2008): a) el almacenamiento de carbono; b) la regulación de los ciclos de agua; c) hábitat reproductivo para muchas especies. No obstante, los bosques de manglares están disminuyendo (Giri *et al.*, 2015), donde los incendios forestales son una de las causas importantes, los cuales en su mayoría son causados por actividades humanas (Barrios-Calderón, 2020). Dentro de estas causas, predomina la quema de pastizales en sabanas inundables, donde el riesgo se agudiza por el exceso de material combustible que se genera por el paso de algún huracán. De esta forma, esta alta disponibilidad de combustible puede provocar que el fuego se propague rápidamente, llegando a cubrir grandes superficies en poco tiempo (Darmawan *et al.*, 2020). En estos incendios no solo se afecta el material combustible muerto, sino también a la vegetación viva, lo cual, a su vez, provoca daños colaterales, como el impacto directo a la fauna, o indirectamente al ocasionar la pérdida, o modificación del hábitat. Esto último es relevante ya que los ecosistemas de manglar sirven como áreas de reproducción de muchas especies de fauna.

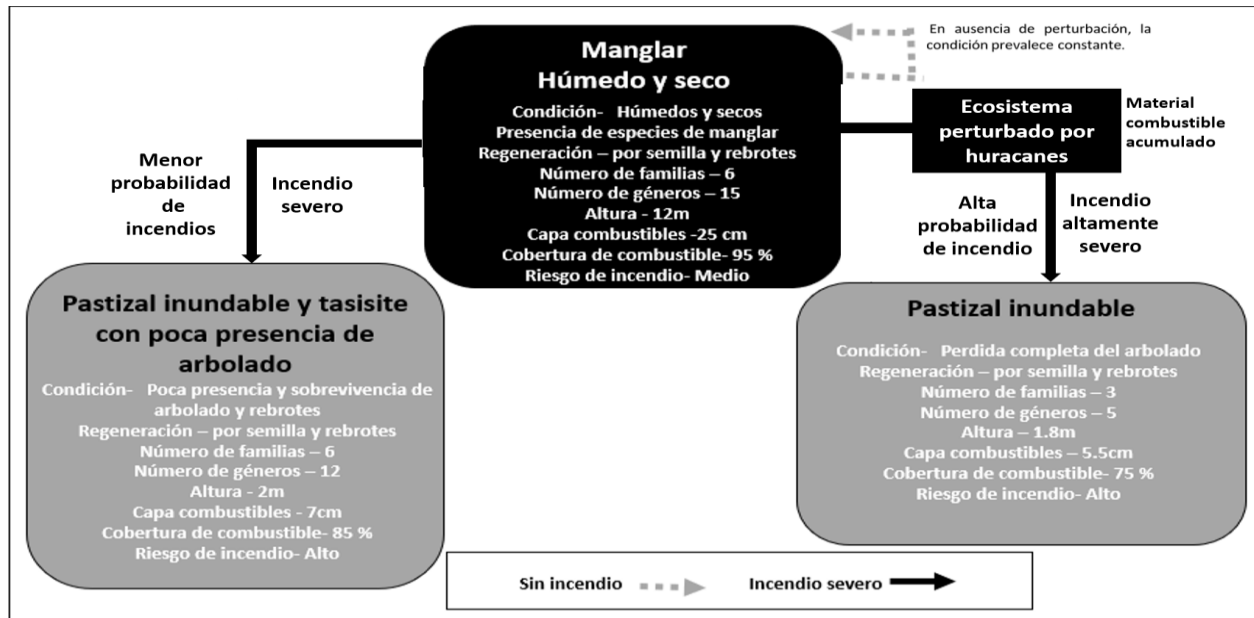
Cuando el fuego no es muy severo, el manglar puede recuperarse por rebrotes de las plantas poco afectadas (Figura 7). Al respecto, se ha encontrado que tres años después de la ocurrencia de un incendio se puede tener presencia de individuos de manglar con un diámetro entre 5 y 7 cm, y con alturas de 4 a 5 metros, bajo a los cuales se presenta individuos de regeneración de individuos con diámetro entre 0.88 y 1.59 cm, y alturas de 1.30 a 1.90 m. Lo anterior se ha documentado para *Laguncularia racemosa* y *Avicennia schaueriana* (Menghini, 2011).



**Figura 7. Ecosistema de manglar en la península de Yucatán: A) Individuo afectado por un incendio forestal; y B) presencia de regeneración después de la primera temporada de lluvia**

El control de los incendios forestales en manglar es complicado, debido a que se dificulta el acceso a las áreas de manglar, lo cual se debe a que: 1) el arbolado de manglar mantiene sus raíces expuestas, con lo que se forma una red que dificulta el tránsito; 2) las condiciones de inundación del terreno que condiciona, en muchas zonas, que el acceso se tenga que hacer por lancha o helicóptero; y 3) si las condiciones climáticas y de combustibles son adecuadas, el fuego se puede propagar en grandes áreas de manera rápida. De acuerdo con lo anterior, en el caso de vegetación de manglar, en la mayoría de los casos, los efectos de los incendios siempre son severos, ya que son ecosistemas muy sensibles al impacto del fuego. Esto implica que, en muchas ocasiones, estos ecosistemas no se recuperen en su totalidad, pudiendo dar paso a vegetación de pastizal y palmares.

La Figura 8 presenta el modelo ecológico resultante para el ecosistema de manglar, donde, si se presenta un incendio severo, puede tender al dominio de especies de pastizal y palmar (tasiste), bajo condiciones inundables. Cuando la ocurrencia de un incendio se asocia con la presencia de material combustible abundante (provocado por la ocurrencia de huracanes), el impacto del fuego es severo. Como resultado de esto, el ecosistema de manglar puede ser sustituido por pastizal inundable. Por el contrario, si no se tiene ocurrencia de incendios, la presencia del manglar se prevalece constante.



**Figura 8. Modelo ecológico que parte de una condición de manglar e ilustra los posibles escenarios en relación a la ocurrencia de incendios forestales**

## CONCLUSIONES

Los modelos ecológicos de manera general esquematizan los posibles escenarios de la tendencia que puede tener la respuesta de las sabanas inundables y de los manglares, ante la afectación de los incendios forestales. La definición de estos, a través de una lógica inductiva-deductiva cíclica, permitió integrar información de varias fuentes, con lo que se aprovecha tanto el conocimiento científico, como el conocimiento empírico. Donde se debe resaltar las aportaciones de personas involucradas en el combate de incendio y de los pobladores de la región, cuya experiencia acumulada durante varios años, aporte datos relevantes en referencia a la respuesta de la vegetación después de un incendio forestal. De esta forma, los modelos ecológicos generados incorporan la experiencia de científica (investigadores) y empírica (pobladores), y aunque son estimaciones cualitativas generales pueden usarse para soportar la toma de decisiones en la implementación de estrategias de manejo del fuego. Por otra parte, debe considerarse que estos modelos están condicionados a la disponibilidad de información, no obstante, se pueden tomar como base para ir integrando nuevos conocimientos, en la medida que se vaya generando. Para esto, este proceso debe tener en cuenta la respuesta sucesional de la vegetación, e irse modificando, con base a información específica, la cual también deberá irse ponderando en relación a su influencia sobre la dinámica de restauración de los ecosistemas. Para esto será útil usar una serie de criterios que permitan comparar diferentes condiciones en el proceso de sucesión, como índices de densidad, estructura, composición, diversidad, dominancia, similitud etc. De esta forma, el enfoque cualitativo de los modelos ecológicos, que se presentan en este trabajo, podrá pasar a un enfoque cuantitativo. Para lo cual podrían establecerse sitios permanentes de monitoreo, que





permita documentar la dinámica de sucesión vegetal en estos ecosistemas forestales tropicales.

### AGRADECIMIENTOS

Por compartir su expertiz en la ecología de las selvas en relación a los incendios forestales., agradecemos la participación de todo el personal de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, en especial a: Felipe Ángel Omar Ortiz Moreno, Oscar Guzmán Escalante, Eulogio Puc Kinil, Eduardo Chaires Montecinos y Daniel Tun Oy. Así mismo, agradecemos al ejido de Kinchil y al comisariado ejidal Fausto May Pisté, por la aportación de sus conocimientos

### LITERATURA CITADA

BARRIOS-CALDERÓN RJ, Infante-Mata D, Flores-Garnica JG, Jozeph De Jong BH, Monzón-Alvarado C, Villalobos-Méndez SM. 2020. Análisis comparativo de camas de combustibles forestales en un ecosistema de manglar. *Madera y Bosques*. 26 (1), e2611950 <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2611950>

BOUILLON S. 2011. Carbon cycle: Storage beneath mangroves. *Nature Geoscience*. 4(5): 282-283. <http://dx.doi.org/10.1038/ngeo1130>

BLANCO JA. 2013. Modelos ecológicos: descripción, explicación y predicción. *Ecosistemas*. 22(3):1-5. <http://dx.doi.org/10.7818/ECOS.2013.22-3.01>

COCHRANE MA. 2003. Fire science for rain forests. *Nature*. 421:913-919. <https://www.nature.com/articles/nature01437>

CONANP y TNC. 2009. *Programa de manejo integral del fuego, Reserva de la Biosfera Selva El Ocote Chiapas*, México 2009-2012. Geolatina-México S.C. Ocozocoautla De Espinosa, Chiapas, México. Pp. 56. [https://simec.conanp.gob.mx/pdf\\_libro\\_pm/174\\_libro\\_pm.pdf](https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/174_libro_pm.pdf)

CONABIO. 2024. Sistema de Alerta Temprana de Incendios. <http://incendios.conabio.gob.mx/>

CORRÊA-SCALON M, Chaves-Bicalho M, Domingos F, Alves-daCruz J, Marimon-Júnior BH, Schwantes-Marimon B, Oliveras I. 2019. Diversity of functional trade-offs enhances survival after fire in Neotropical savanna species. *Journal of Vegetation Science*. 31 (1): 139-150. <https://doi.org/10.1111/jvs.12823>

COCHRANE MA. 2002. Synergistic interactions between habitat fragmentation and fire in tropical forests. *Conservation Biology* 15:1515-1521. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2001.01091.x>



DÁVILA G. 2006. El razonamiento inductivo y deductivo dentro del proceso investigativo en ciencias experimentales y sociales, *Laurus*. 12:180-205.

<https://www.redalyc.org/pdf/761/76109911.pdf>

DONATO DC, Kauman JB, Murdiyarso D, Kurnianto S, Stidham M, Kanninen M. 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nat. Geosci.* 4:293–297.

<https://doi.org/10.1038/ngeo1123>

DUNO-DE Stefano R, Ramírez-M I, Tapia-M JL, Hernández-A S, Can LL, Cetzal-Ix W, Méndez-J N, Zamora-C P, Gutiérrez-B C, Carnevali-F-C G. 2018. Aspectos generales de la flora vascular de la península de Yucatán México. *Botanical sciences*. 96(3):515-532.

<https://doi.org/10.17129/botsci.1868>

DARMAWAN S, Kania-Sari D, Wikantika K, Tridawati A, Hernawati R, Kurniawati-Sedu M. 2020. Identification before-after Forest Fire and Prediction of Mangrove Forest Based on Markov-Cellular Automata in Part of Sembilang National Park, Banyuasin, South Sumatra, Indonesia. *Remote Sens.* 12, e3700. <https://doi.org/10.3390/ijerph19137878>

DURAN-GARCÍA R. 2010. Palmas. En: Méndez G., M.E. y Duran G., R. (eds) *Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán*. CICY, PPD-FAM, CONABIO, SEDUMA, (ISBN10: 9786077823). Pp. 496.

<https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Sitios/Biodiversidad/pdfs/Cap4/16%20Palmas.pdf>

ESTRADA-MEDINA H, Cobos-Gasca V, Acosta-Rodríguez JL, Peña-Fierro S, Castilla-Martínez M, Castillo-Carrillo C, Franco-Brito S, López-Castillo D, López-Díaz M, Luna-Flores W, Maldonado-Repetto A, Álvarez-Rivera O, Luis Cámara-Romero J, Morales-Guadarrama A, Moreno-Arjona AM, Pérez-Niño B, Rodríguez-Lara P. 2016. Sequía en la península de Yucatán. *Tecnología y Ciencias del Agua*. 7(5):151-165.

<http://www.revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/1276>

FEINSINGER P. 2013. Metodologías de investigación en ecología aplicada y básica: ¿cuál estoy siguiendo, y por qué? *Revista Chilena de Historia Natural*. 86:385-402.

<http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2013000400002>

FINOL de Franco M. Vera Solórzano JL. 2020. Paradigmas, enfoques y métodos de investigación: análisis teórico. *Mundo Recursivo*. 3(1). ISSN: 2600-5700.

<https://www.atlantic.edu.ec/ojs/index.php/mundor/article/view/38>



FLORES-GARNICA JG, Flores-Rodríguez AG, Rivera-Leyva RR, Lomelí-Zavala ME. 2020. Modelos ecológicos de ecosistemas tropicales con relación al impacto de incendios forestales. Folleto técnico No. 2. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CIRPAC. C. E. Centro-Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. Pp. 61.

[https://www.researchgate.net/publication/370124847\\_modelos\\_ecologicos\\_de\\_ecosistemas\\_tropicales\\_con\\_relacion\\_al\\_impacto\\_de\\_incendios\\_forestales](https://www.researchgate.net/publication/370124847_modelos_ecologicos_de_ecosistemas_tropicales_con_relacion_al_impacto_de_incendios_forestales)

GIRI C, Jordan L, Sawaid A, Mani MR, Faisal QM, Pengra B, Thau D. 2015. Distribution and dynamics of mangrove forest of Suoth Asia. *Journal of Environmental Management*. 48:101-111. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.01.020>

GUADARRAMA P, Salinas-Peba L, Chiappa-Carrara X, Ramos-Zapata JA. 2018. Florística, composición y estructura de las comunidades vegetales de la porción occidental de la Reserva Estatal Ciénegas y Manglares de la Costa Norte de Yucatán. *Revista mexicana de biodiversidad*. 82(3):1870-3453.

<https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.3.1746>

HARRISON SP, Prentice IC, Bloomfield KJ, Dong N, Forkel M, Forrest M, Ningthoujam RK, Pellegrini A, Shen Y, Baudena M, Cardoso AW, Huss JC, Joshi J, Oliveras I, Pausas JG, Simpson KJ. 2021. Understanding and modelling wildfire regimes: an ecological perspective. *Environmental research*. 16, e125008 <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/ac39be>

JAKEMAN AJ, Chen SH, Rizzoli AE, Voinov AA. 2008. Modelling and software as instruments for advancing sustainability. In: AJ Jakeman, AJ Voinov, AA Rizzoli, Chen SH (eds.). *Environmental modelling, software and decision support: state of the art and new perspectives*, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. [https://doi.org/10.1016/S1574-101X\(08\)00601-7](https://doi.org/10.1016/S1574-101X(08)00601-7)

MENGHINI RP, Coelho-Jr C, Rovai-A S, Cunha-Lignon M, Schaeffer-Novelli Y, Cintrón G. 2011. Massive mortality of mangrove forests in Southeast Brazil (Baixada Santista, State of São Paulo) as a result of harboring activities. *Journal of Coastal Research*. 64:1793-1797.

[https://www.researchgate.net/publication/216711975\\_Massive\\_mortality\\_of\\_Mangrove\\_forests\\_in\\_southeast\\_Brazil\\_Barnabe\\_Island\\_Baixada\\_Santista\\_State\\_of\\_Sao\\_Paulo\\_as\\_a\\_result\\_of\\_harboring\\_activities](https://www.researchgate.net/publication/216711975_Massive_mortality_of_Mangrove_forests_in_southeast_Brazil_Barnabe_Island_Baixada_Santista_State_of_Sao_Paulo_as_a_result_of_harboring_activities)

NERI-PÉREZ AC, Rodríguez-Trejo DA, Contreras-Aguado R. 2009. Inflamabilidad de combustibles forestales en las selvas de Calakmul, Campeche. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*. 25(2):121-132.

[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0186-29792009000200002](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792009000200002)





OCAMPO-ZULETA K. 2019. Modelo descriptivo de restauración ecológica en zonas afectadas por incendios forestales e invasión de retamo espinoso en los cerros orientales de Bogotá. *Acta biológica colombiana*. 24(1):1-12.

<https://doi.org/10.15446/abc.v24n1.71953>

PARRA-LARA ÁC, Bernal-Toro FH. 2010. Incendios de cobertura vegetal y biodiversidad: una mirada a los impactos y efectos ecológicos potenciales sobre la diversidad vegetal. *El Hombre y la Máquina*. 35:67-81. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47817140008>

POMPA-GARCÍA M, Vázquez-Vázquez L, Zapata-Molina M, Solís-Moreno R. 2012. Modelo conceptual del potencial de incendios forestales en Durango: avances preliminares. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 3(13):95-106.

<https://doi.org/10.29298/rmcf.v3i13.492>

QUINTANILLA V. 2013. Los efectos de los incendios estivales sobre la supervivencia de la palma más austral del mundo (costa mediterránea de Chile). *Open edition Journals*, 121:79-85. <https://doi.org/10.4000/mediterranee.6899>

RODRÍGUEZ-TREJO DA, Martínez-Muñoz P, Martínez-Lara P.J. 2019. Efectos del fuego en el arbolado de un bosque tropical de pino y en el de una selva baja caducifolia en Villaflores, Chiapas. *Ciencia Forestal*. 29(3):1033-1047.

<https://doi.org/10.5902/1980509833952>

RODRÍGUEZ-TREJO DA, Tchikoué H, Cíntera-González C, Contreras-Aguado R, de la Rosa-Vázquez A. 2011. Modelaje del Peligro de Incendio Forestal en las Zonas Afectadas por el Huracán Dean. *Agrociencia*. 45 (5): 593-608.

[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952011000500006&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952011000500006&script=sci_arttext)

RODRÍGUEZ-TREJO DA. 2014. *Incendios de vegetación. Su ecología, manejo e historia*. México: C. P.; UACH; Semarnat; PPCIF; PNIP; Conafor; Conanp; ANCF; AMPF. Pp. 889.

[https://www.researchgate.net/publication/320867647\\_Incendios\\_de\\_Vegetacion\\_Su\\_Ecologia\\_Manejo\\_e\\_Historia\\_Vol\\_1\\_Resumenes](https://www.researchgate.net/publication/320867647_Incendios_de_Vegetacion_Su_Ecologia_Manejo_e_Historia_Vol_1_Resumenes)

RODRÍGUEZ-TREJO DA, Martínez-Muñoz P, Pulido-Luna JA, Martínez-Lara PJ, Cruz-López JD. 2020. Combustibles, comportamiento del fuego y emisiones en un pastizal y una sabana artificiales en Chiapas, México. *Revista de Biología Tropical*. 68(2):641-654.

<https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v68i2.33954>



SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). 2014, Programa de Manejo Complejo Sian Ka'an: Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, Área de Protección de Flora y Fauna Uaymil y Reserva de la Biosfera Arrecifes de Sian Ka'an. Primera edición. México D.F. Pp. 481.  
[https://simec.conanp.gob.mx/pdf\\_libro\\_pm/84\\_libro\\_pm.pdf](https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/84_libro_pm.pdf)

TRICONE F, Anderson TR. 2020. El monitoreo y la evaluación de los efectos del fuego: manual del estudiante. Sarteneja, Belize. Pp. 36.  
[https://www.usfsmex.org/img/pdf/MonitoreoEfectosDelFuego\\_ManualDelEstudiante.pdf](https://www.usfsmex.org/img/pdf/MonitoreoEfectosDelFuego_ManualDelEstudiante.pdf)

WALTERS BB, Rönnbäck P, Kovacs JM, Crona B, Hussain SA, Badola R, Primavera JH, Barbier E, Dahdouh-Guebas F. 2008. Ethnobiology, socio-economics and management of mangrove forests: A review. *Aquat. Bot.* 89:220–236.  
<https://dx.doi.org/10.1016/j.aquabot.2008.02.009>