

# Carga de fuego de la *Typha domingensis* en el Parque Nacional Palo Verde

## Fuel load of the *Typha domingensis* in the Palo Verde National Park

Montserrat Solano-Gamboa<sup>1</sup>, Javier Rodríguez-Yáñez<sup>2</sup>

Fecha de recepción: 29 de mayo, 2024  
Fecha de aprobación: 6 de setiembre, 2024

Solano-Gamboa, M; Rodríguez-Yáñez, J. Carga de fuego de la *Typha domingensis* en el Parque Nacional Palo Verde. *Tecnología en Marcha*. Vol. 38, N° 1. Enero-Marzo, 2025. Pág. 3-14.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v38i2.7066>

- 1 Universidad Estatal a Distancia, Vicerrectoría de Investigación, Laboratorio de Ecología Urbana, 2050 Sabanilla, San José, Costa Rica;  
 [monsesolg99@gmail.com](mailto:monsesolg99@gmail.com)  
 <https://orcid.org/0000-0003-3626-9987>
- 2 Universidad Estatal a Distancia, Vicerrectoría de Investigación, Laboratorio de Ecología Urbana, 2050 Sabanilla, San José, Costa Rica;  
 [jrodriguezy@uned.ac.cr](mailto:jrodriguezy@uned.ac.cr)  
 <https://orcid.org/0000-0001-5539-3153>

## Palabras clave

Humedales; área de conservación; poder calorífico; propagación de llama; sitio Ramsar; incendio.

## Resumen

La *Typha domingensis*, es una planta nativa en Costa Rica que ha logrado proliferar intensamente en algunas de las lagunas del Parque Nacional Palo Verde (PNPV). Debido a su difícil control sigue siendo una de las especies que más ayuda a propagar los casos de incendios forestales.

Las propiedades de la *Typha* en el PNPV se analizaron de dos formas: como mediciones de las características de la planta en campo y como mediciones fisicoquímicas en el laboratorio. En las mediciones de campo se apreció una diferencia entre las características físicas, distribución y peso según la zona de estudio, siendo los sitios de Nicaragua y Espuelas los que presentan mayor diferencia.

Con respecto a las curvas de secado, es posible considerar que las distintas partes de la planta no presentan una diferencia significativa con respecto a la posibilidad de retener humedad.

En cuanto al avance de llama, la *Typha* no presenta un avance significativo al eliminar la llama, pero se logró identificar que la raíz es capaz de mantener la brasa. Por último, se apreció que la planta presenta un mayor poder calorífico en su espiga, relacionado a la composición de su semilla, y una carga combustible promedio baja de  $156 \text{ MJ m}^{-2}$ .

Por lo anterior se puede considerar que las características de la *Typha* se ven influenciadas por el sitio evaluado, respecto a su crecimiento y número de plantas por  $\text{m}^2$ , lo cual condiciona la densidad de carga de fuego estimada en cada lugar, pero sin una variación significativa en el parque, pudiendo tomarse el valor promedio indicado.

## Keywords

Wetlands; conservation area; calorific power; flame propagation; Ramsar site; fire.

## Abstract

*Typha domingensis*, a native plant in Costa Rica, has managed to proliferate intensively in some of the lagoons of the Palo Verde National Park (PVNP). However, due to its difficult control, it continues to be one of the species with the highest incidence of forest fires.

The properties of *Typha* in PVNP were analyzed in two ways: as measurements of plant characteristics in the field and as physicochemical measurements in the laboratory.

Field measurements showed a difference between physical characteristics, distribution and weight according to the study area, with the Nicaragua and Espuelas sites showing the greatest difference.

With respect to the drying curves, it is possible to consider that the different parts of the plant do not present a significant difference with respect to the possibility of retaining humidity.

Regarding to the flame advance, *Typha* does not show a significant advance when the flame is eliminated, but it was possible to identify that the root is capable of maintaining the ember. Finally, it was found that the plant has a higher calorific value in its spike related to the composition of its seed, while it has a low average fuel load of  $156 \text{ MJ m}^{-2}$ .

Therefore, it can be considered that the characteristics of *Typha* are influenced by the site evaluated, with respect to its growth and number of plants per m<sup>2</sup>, which conditions the estimated fire load density at each site, but without a significant variation in the park, and the average value indicated can be taken.

## Introducción

El Parque Nacional Palo Verde (PNPV), creado en el año de 1980 y catalogado Sitio Ramsar, es una zona de conservación desde 1991. Considerando un humedal de relevancia nacional es importante tomar en cuenta que este es un espacio geográfico de régimen acuático, con un alto valor ecosistémico debido a su importancia como hábitat de numerosas especies de flora y fauna. Así como reservorio de carbono, regulador del ciclo del agua, barrera contra la erosión, entre otros, por lo que resulta de interés indispensable su monitoreo y protección [1].

En el caso particular del PNPV, se presenta un ecosistema estacional de humedales singulares que, al estar rodeado de bosque tropical, resulta ser un hábitat y refugio para varias especies, entre los que resaltan las aves migratorias y algunas residentes. Pese a lo anterior, el parque presenta una problemática seria en sus lagunas, debido a la invasión de una serie de plantas acuáticas, que colonizan los espejos de agua perjudicando los ecosistemas naturales de las aves acuáticas [2].

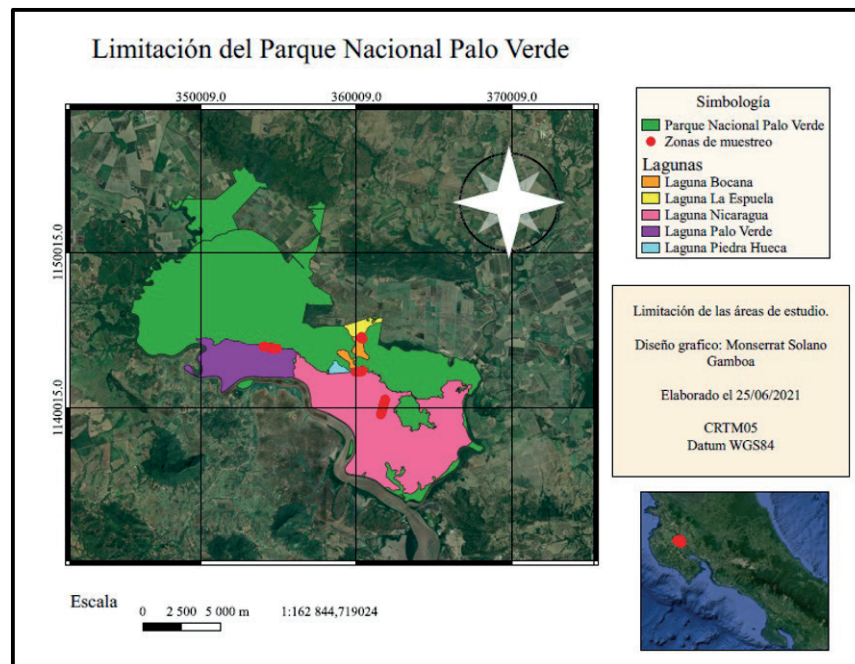
Dentro de las plantas que más han afectado las lagunas del parque se encuentra la *Typha domingensis*, una especie nativa que ha proliferado intensamente. Entre las posibles causas por las que la planta haya logrado adquirir este comportamiento resaltan: el pasar a ser área protegida, el consiguiente retiro del ganado que pastaba en la hacienda y la falta de mantenimiento en los esteros de conexión de las lagunas con el río Tempisque [3].

Debido a lo anterior, el Parque ha tomado medidas preventivas para el control de la *Typha*, utilizado técnicas como el fangueo, remoción directa, y quemas controladas. Las mismas han permitido aumentar el espejo de agua disponible y disminuir los problemas de incendio en época seca. Esto ha generado una recuperación limitada de las áreas antes invadidas [4]. No obstante, durante la época seca, cuando se produce una mayor incidencia de incendios forestales, la *Typha* sigue siendo una de las especies que presenta más potencial para ocasionar incendios forestales dada la facilidad con la que se quema. Durante el 2010 se estima que se llegaron a quemar 1,6 ha de *Typha* por minuto, afectando unas 3000 ha [5]. Es debido a esto que estudiar las propiedades físico-químicas y combustibles de la *Typha domingensis*, permitirá establecer consideraciones básicas para su posible manejo.

## Materiales y métodos (metodología)

Área de estudio: La evaluación del sitio y la toma de muestras se realizó durante la época seca, en el mes de mayo del 2021, en el Parque Nacional Palo Verde, debido a la mayor posibilidad de acceso a las lagunas.

En la zona de estudio se identificaron tres zonas con características particulares para la *Typha*, que en primera instancia podrían generar diferencias específicas dado las condiciones a las que se ven expuestas (ver Figura 1).



**Figura 1.** Ubicación del Parque Nacional Palo Verde, sus lagunas y los sitios de muestreo

Estas zonas fueron:

- Laguna Nicaragua, área principal inundable, sin tratamiento de manejo para la *Typha* durante los dos últimos años.
- Laguna Palo Verde, área secundaria inundable, la cual presentaba un manejo por acción del ganado y tratamiento por técnica de fangueo durante el año anterior, al momento del estudio.
- La zona de Espuelas, la cual abarca las lagunas: Espuelas, Bocana y Piedra Hueca. En esta zona en particular las lagunas no se secan debido al Proyecto de riego Arenal-Tempisque que aporta agua al río Corobici. De la misma manera se planteó como un área posiblemente afectada por los nutrientes, sedimentos y agroquímicos provenientes de las plantaciones colindantes al Parque.

**Muestreo:** Localizadas las zonas a trabajar se escogieron 1000 m de una línea cortafuego por zona. Dicha línea fue dividida en 4 sectores de 250 m cada uno, generando 5 parcelas de 50 m en cada sector. Para cada parcela se tomaron 5 medidas al azar de datos biofísicos: altura, diámetro del tallo a la altura del pecho (DAP), tamaño de inflorescencia y cantidad de hojas. Asimismo, se extrajo una planta completa de *Typha* compuesta por: espiga (semilla), tallo-hojas y raíz. Esto represento un total de 100 mediciones y 20 muestras de planta recolectadas por zona de estudio.

Adicionalmente en cada parcela se utilizó una cuadrícula de 1 m<sup>2</sup>, a fin de estimar el número de plantas por metro cuadrado, en cada sector.

Todas las zonas siguieron este procedimiento a excepción de la zona Espuelas, en donde debido a las difíciles condiciones de acceso, (profundidad de agua elevada y presencia de fauna silvestre peligrosa), el muestreo se dividió en dos partes. Una en el contorno de agua existente a la Laguna Espuela (250 m) y otra en el contorno del Dique Cubano (750 m) que es la salida de las lagunas Bocana y Piedra Hueca.

**Propiedades fisicoquímicas de la Typha:** Sobre las muestras de *Typha* recolectadas en cada sitio se realizaron los siguientes ensayos:

- **Propiedades físicas:** Con los datos obtenidos durante la recolecta de muestras se estimó un promedio en el: número de hojas, diámetro y tamaño de espiga. Así como el peso promedio de la planta y densidad de campo en cada zona de estudio (Nicaragua, Palo Verde, Espuelas).
- **Curvas de secado:** Las muestras de tallo-hoja y raíz, previamente separadas, fueron molidas y tamizadas entre malla Mesh 10 y 20; rehumectadas y secadas a 50°C en una balanza de secado, marca OHAUS, modelo MB120. A partir de las mismas se obtuvieron los parámetros de secado descritos por Rodríguez Yáñez [6] para cada una de las zonas.
- **Poder Calorífico:** Se realizó el análisis por medio de una bomba calorimétrica marca LECO, modelo AC500, sobre las muestras trituradas y secadas previamente. El poder calorífico en este caso se expresó como poder calorífico superior en kJ g<sup>-1</sup>.
- **Termogravimetría:** Las curvas Termogravimetría (TGA) se obtuvieron con ayuda del equipo TA Instruments, modelo SDT Q600, siguiendo la metodología de Sebío-Puñal et al. [7].
- **Propagación de llama:** Las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Protección Contra Incendios (LAPCI) de la Universidad de Costa Rica, bajo los procedimientos de ASTM D5132-11 [8] en propagación de llama horizontal y ASTM D6413 – 08 [9] para la propagación de llama vertical. Durante este proceso se realizó un secado por 24 h a 40% de HR y 35°C, con la finalidad de asemejar a las condiciones de época seca para el sitio de estudio.
- **Carga de combustible:** Se obtuvo a partir de los datos obtenidos de la densidad de plantas por m<sup>2</sup>, peso medio, y su poder calorífico. Para ello se empleó la ecuación 1:

$$\text{Carga combustible} = (\text{Densidad de plantas} \times \text{masa de plantas} \times \text{poder calorífico}) \quad (1)$$

## Resultados

### Propiedades físicas

#### Medidas de campo

Dentro de las tres zonas de estudio, fue posible identificar a la zona de Espuelas como la que presenta los parámetros físicos más elevados, posiblemente asociado a las condiciones específicas de esta zona como se observa en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Características físicas de la *Typha domingensis* según zona de estudio

	Nicaragua	Palo Verde	Espuelas
<i>Número de hojas</i>	6 ± 2	9 ± 2	12 ± 2
<i>DAP (cm)</i>	10 ± 1	16 ± 4	25 ± 8
<i>Altura (m)</i>	2,6 ± 0,1	2,5 ± 0,2	2,8 ± 0,3
<i>Espiga (cm)</i>	27 ± 5	26 ± 6	34 ± 12
<i>Densidad de plantas (m<sup>-2</sup>)</i>	19 ± 1	23 ± 3	23 ± 2

### Porcentaje en peso

Con respecto al porcentaje de peso según zona, como se observa en el Cuadro 2 pese a que los pesos no varían de forma significativa hay una relación entre el tamaño general de la planta y la cantidad de agua y/o nutrientes disponibles. A excepción de la raíz de Nicaragua, cuyo tamaño fue mayor en comparación al resto producto de las condiciones de escases de la zona.

**Cuadro 2.** Promedio del peso obtenido por parte de la planta según su zona

	Nicaragua	Palo Verde	Espuelas
<i>Parte de la planta</i>	(g)	(g)	(g)
<i>Espiga</i>	25 ± 1	50 ± 1	75 ± 1
<i>Tallo - Hojas</i>	225 ± 2	300 ± 3	325 ± 3
<i>Raíz</i>	325 ± 3	275 ± 3	200 ± 2
<i>Total</i>	575 ± 60	625 ± 70	600 ± 60

### Curvas de secado

En el proceso de secado de las distintas partes de la Typha se identificaron claramente dos zonas de pérdida de masa, ver Cuadro 3. Una primera asociada a la perdida de humedad fácilmente removible y otra asociada a la humedad interna más retenida en la biomasa de la Typha. Los parámetros obtenidos permitieron una visualización de la facilidad con que la Typha pierde agua en su biomasa.

**Cuadro 3.** Datos obtenidos durante las curvas de secado para cada una de las partes en cada muestra

	Tallo - hojas	Raíz	Espiga
<i>Humedad (%)</i>	77 ± 7	75 ± 1	68 ± 5
<i>X crítico (<math>X_c</math>)</i>	0,23 ± 0,08	0,24 ± 0,06	0,33 ± 0,06
<i>dm/dt en <math>X_c</math> (<math>mg\ min^{-1}</math>)</i>	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,2	0,8 ± 0,1
<i>A flux esp (<math>m^2\ g^{-1}</math>)</i>	25 ± 4	85 ± 1	15 ± 2
<i><math>X_D</math></i>	0,7 ± 0,3	0,7 ± 0,1	0,9 ± 0,1
<i>K específico (<math>s^{-1}\ m^2</math>)</i>	1,2 ± 0,4	2,6 ± 0,9	1,7 ± 0,3
<i>Densidad Aparente (<math>\rho</math>) (<math>g\ cm^{-3}</math>)</i>	0,22 ± 0,01	0,24 ± 0,01	ND

### Bomba calorífica/ Poder calorífico

De las tres partes estudiadas en el análisis de poder calorífico se identificó a la semilla como la que genera mayor cantidad de energía, seguida por tallo-hojas y por último raíz. Adicionalmente como se observa en el Cuadro 4, se realizó una ponderación respecto a la masa de sus partes, a fin de ser utilizada para el cálculo de la carga de fuego.

**Cuadro 4.** Resultados obtenidos para el poder calorífico de la *Typha Domingensis*

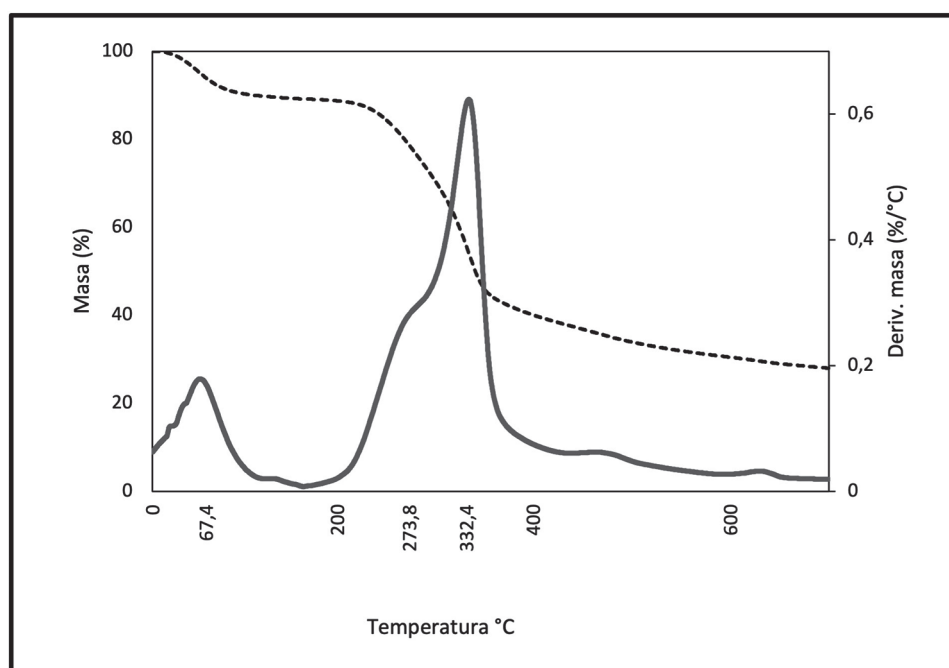
Parte de las plantas	Poder calorífico (KJ g <sup>-1</sup> )
<i>Semilla</i>	16,5 ± 1,1
<i>Tallo - hojas</i>	13,5 ± 0,9
<i>Raíz</i>	9,5 ± 0,1
<i>Ponderado</i>	12 ± 1

## Termogravimetría (TGA)

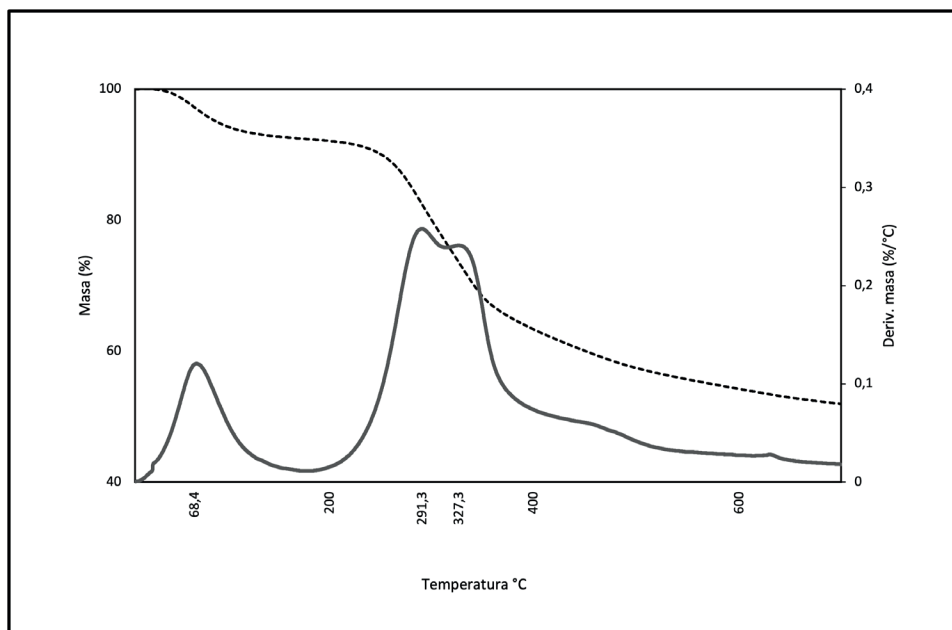
Con respecto a la prueba de termogravimetría (Figura 2 y 3), efectuada en tallo – hojas y raíz secos, se identificaron dos principales zonas de pérdida de masa. La primera pérdida, asociada con la disminución de agua interna; y una segunda fase de pérdida resultante de un proceso de degradación más complejo asociado a la descomposición de celulosa y hemicelulosa. Los valores característicos se presentan en el Cuadro 5.

**Cuadro 5.** Valores característicos del ensayo de TGA

Muestra	Rango de descomposición principal (°C)	Pérdida de masa en el rango de descomposición principal (%)	Humedad (%)	Cenizas (%)
<i>Tallo - Hojas</i>	(200 - 382)	44 ± 7	13 ± 4	20 ± 2
<i>Raíz</i>	(200 - 408)	38 ± 8	16 ± 5	27 ± 3



**Figura 2.** Prueba TGA para muestra de hoja, donde a) curva punteada variación de la masa (%), b) curva continúa derivada de la variación de masa con temperatura (%/°C).



**Figura 3.** Prueba TGA para muestra de raíz, donde: a) curva punteada variación de la masa (%), b) curva continua derivada de la variación de masa con temperatura (%/°C).

### Avance de llama

Los ensayos de avance de llama, se realizaron sobre las muestras secas de hoja-tallo y raíz, según se aprecia en los Cuadros 6 y 7. Dichos valores de velocidad de combustión son moderados, presentado la particularidad de una llama que no logra mantenerse y una brasa que demora en apagarse.

**Cuadro 6.** Ensayo para determinar la propagación horizontal de la llama

Características	Tipo de combustión	
Parte muestra	Velocidad (mm min <sup>-1</sup> )	Observación
<i>Hoja</i>	3,1± 0,5	No hay avance al quitar la llama
<i>Raíz</i>	3,4 ± 0,8	No hay avance al quitar la llama
<i>Tallo</i>	1,9 ± 0,5	No hay avance al quitar la llama

**Cuadro 7.** Ensayo para determinar la propagación vertical de la llama

Características	Tipo de combustión	
Parte muestra	Velocidad (mm min <sup>-1</sup> )	Observación
Hoja	2,4 ± 0,5	Avance de llama 20s después de quitar la llama
Raíz	1,5 ± 0,2	Avance de llama 20s después de quitar la llama
Tallo	3,4± 0,4	Avance de llama 20s después de quitar la llama



## Carga de fuego

La estimación de la carga de fuego de la *Typha* en promedio fue de  $156 \pm 42 \text{ MJ m}^{-2}$ . Mientras que por zona de estudio se observó un mayor resultado la zona de Palo Verde ( $173 \pm 47 \text{ MJ m}^{-2}$ ), seguida por Espuelas ( $166 \pm 45 \text{ MJ m}^{-2}$ ) finalizando con Nicaragua ( $131 \pm 35 \text{ MJ m}^{-2}$ ).

## Conclusiones y/o recomendaciones

Dentro de los parámetros físicos obtenidos para la *Typha*, en las distintas zonas de estudio, se observó que la zona de Espuelas presenta valores un poco mayores que los otros dos sitios analizados. Esto estaría asociado a que en dicha zona no se han realizado medidas preventivas para su crecimiento y expansión. Aunado a esto dicha laguna presenta niveles de agua más estables, así como posibles aportes de nutrientes lixiviados de las áreas de cultivo cercanas, lo que también favorecería su crecimiento [10]. Es normal que, en áreas inundadas con una gran cantidad de nutrientes, exista una rápida elongación y aumento de biomasa en los brotes, debido a que se invierte más biomasa en la producción de hojas, con la finalidad de aumentar la captación de luz y la posibilidad de supervivencia [11].

Por el contrario, las plantas encontradas en la Laguna Nicaragua, en comparación a las demás presentan menores resultados en número de hojas y diámetro. Es importante mencionar que la mayoría de estas plantas se encontraban ya secas, por lo que es normal inducir que perdieran algunas de sus hojas y grosor en comparación de las plantas encontradas en zonas expuestas a mayor cantidad de agua [12].

Con respecto a las plantas de la Laguna Palo Verde, estas presentaron un menor promedio en altura y en su espiga, es posible que este leve debilitamiento se pueda ligar a una mayor frecuencia de técnicas de manejo como fangueo en el sitio. Esta última, es una técnica que implica el paso repetido de un tractor agrícola con ruedas metálicas que se encarga de triturar los tallos de la vegetación emergentes y dejarlos bajo el agua, ayudando a generar espacios abiertos en el humedal [13].

Referente a los pesos de las distintas partes de la *Typha* en las zonas de estudio, se observa con claridad la influencia de las condiciones de las mismas en la proporción y desarrollo de las partes de la planta. En las zonas secas o de escasos recursos la planta concentra su desarrollo en la raíz, mientras que en los casos opuestos se desarrolla más el tallo-hojas, y la espiga. A pesar de esto los pesos totales de las plantas se mantienen en un rango de unos ( $600 \pm 60 \text{ g}$ ). Este valor presenta una dispersión algo mayor en la Laguna Palo Verde, posiblemente debido al fangueo que se realiza en la misma.

En las curvas de secado fue posible identificar que cada parte de la *Typha* analizada, no tiene una diferencia significativa con respecto a su posibilidad de retención de humedad. En general la retención de humedad presenta valores elevados del orden del ( $73 \pm 6 \%$ ). Así mismo, los otros parámetros de secado resultan también similares, presentando valores de  $X_c$  (fracción humedad perdida fácilmente) del orden del 0,24 y de  $X_d$  (fracción de humedad perdida en secado intenso) de 0,7. Los valores de las áreas fluxionales y  $K$  específico son mayores para la raíz, lo cual es esperable para una estructura cuya función es la absorción de nutrientes. Mientras que la densidad es relativamente similar entre las partes.

En relación a las curvas de TGA, se identificaron dos zonas de pérdida de masa. La primera pérdida, asociada con la pérdida de agua. Y una segunda zona, relacionada a procesos más complejos, usualmente asociados a la degradación de la hemicelulosa y la celulosa de la planta. Mukhtar y Abdullahi [14], plantean que el proceso de descomposición térmica de la

*Typha* comienza a unos 200 °C por la hemicelulosa. Este proceso es seguido rápidamente por la descomposición de la celulosa hasta unos 400 °C. Finalizando con la lignina caracterizada por poseer una descomposición lenta a temperaturas más altas.

En este caso se puede apreciar, la existencia de un solapamiento de los picos asociados a los dos primeros compuestos entre un rango de temperatura que inicia antes de los 271°C y finaliza cerca de los 335°C. Michael et al. [15] menciona que durante los procesos calorimétricos pueden presentarse rangos de temperatura superpuestos. Esto es debido a que existen distintas etapas de transformación y pérdida de masa, que pueden variar debido a una distinta proporción de las unidades estructurales, según la parte de la muestra a utilizar. En el caso de la *Typha* estos procesos se consideran como secuenciales.

En cuanto a los valores visualizados en el poder calorífico para las distintas partes de la *Typha*, evidenciamos que todas tienen valores diferentes, siendo la espiga la de mayor energía, seguida por las tallo- hojas y finalmente la raíz. Esto parece estar asociado a la composición de las partes, identificadas en las curvas de TGA, en cuanto a proporciones de lignina y hemicelulosa, así como de cenizas.

En este caso los resultados de cenizas estas fueron entre un 20-27% de la masa seca, valores superiores a los obtenidos normalmente en este tipo de análisis. Algunos autores [14] mencionan que el porcentaje de cenizas en la especie *Typha* suele ser mayor al encontrado en otras especies de pastos y paja que van de entre (2,7- 6,6 %), mientras que otros [16] menciona que el promedio de cenizas en *Typha* es variable según factores como el estado de la planta y su relación con el suelo.

En relación al Avance de Llama, apreciamos que la *Typha* no presenta un avance significativo al eliminar la llama en el desplazamiento horizontal. Presentando en general una velocidad de unos 30 a 60 mm min<sup>-1</sup> con llama, pero manteniendo brasa al eliminar esta. Mientras que para el desplazamiento vertical los valores son un poco mayores del orden de 100 a 150 mm min<sup>-1</sup>, pero no se mantienen si se quita la llama. Lo anterior indicaría que, aunque presenta valores de propagación similares a los pastos de sabana [17], la planta por sí misma no es un dispersor importante del fuego en ambientes poco ventosos. Sin embargo, es importante considerar que en época seca en la zona los vientos alisios se suelen intensificar, lo que puede considerarse en un riesgo para la dispersión del fuego [18]. Además de que la altura de la misma afecta en la dispersión del fuego debido a que el viento es capaz de arrastrarlo. Ahora bien, de forma particular el tallo actúa como amortiguación del avance de llama en los procesos horizontales, por su baja velocidad de avance de llama, pero no así en el avance vertical. Esto último resulta muchas veces compensado por la alta densidad de biomasa por m<sup>2</sup>.

Por último, la estimación general de la carga combustible que considera el poder calorífico existente en un sitio específico por unidad de área representa un nivel del orden de 156 MJ m<sup>-2</sup>. Este valor es menor a los obtenidos por Chavarría-Valverde y Rodríguez [17] para pastos de sabana, con una carga combustible de 9590 MJ m<sup>-2</sup> para plantas herbáceas y gramíneas. En relación a cada zona de estudio en concreto observamos que la Laguna Nicaragua presenta una menor carga de fuego, debido a una menor cantidad de plantas y menor masa respecto a los otros sitios. Mientras que Espuelas y Palo Verde presentaron resultados similares.

Con base a lo expuesto podemos apreciar una influencia directa entre las características específicas de una zona y las características de las plantas. Del mismo modo, se resalta la importancia de seguir implementando técnicas como el fangueo, que, según el análisis realizado, generan un debilitamiento en las características de la planta. También es importante prestar atención a la implementación otras técnicas de control en el parque ya que se aprecia una densidad de plantas bastante uniforme con unas características de propagación de fuego y carga combustible que pueden poner en riesgo al área protegida.

## Agradecimientos

MS es becaria de la Organización de Estudios Tropicales Organización de Estudios Tropicales y al Fondo de Investigación Dole Food (Fondo 513/563), quienes financiaron su estancia en el parque Palo Verde. Adicionalmente MS agradece el apoyo a la investigación, aportado por el Sistema Nacional de Áreas de Conservación- Área de Conservación Arenal Tempisque - Parque Nacional Palo Verde, así como al proyecto Elaboración de protocolo de medición y análisis de datos, obtenidos para una muestra simple, en una balanza de secado (PROY – 2019-36) de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad Estatal a Distancia y al Laboratorios de Prevención de Incendios de la Universidad de Costa Rica por el apoyo en los análisis para este artículo.

## Referencias

- [1] J. Rojás-Zeledón., "Erosión hídrica bajo tres estadios de sucesión de bosque dentro del Parque Nacional Palo Verde, Costa Rica", *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, vol. 15, no 36, pp. 65-75, 2018. DOI:10.18845/rfmk.v15i36.3425
- [2] J. Acuña Piedra y M. J. Elizondo Campos, "Inventario nacional de humedales para Costa Rica: Resultados preliminares", *Revista Ambientico* vol. 266, pp. 4-9, 2018 [https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/28285/266\\_4-9.pdf](https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/28285/266_4-9.pdf)
- [3] P. Vargas, "Especies exóticas invasoras: dos casos en humedales Ramsar", *Revista Ambientico*, vol. 266, pp. 34-40, 2018. [https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/28389/266\\_34-40.pdf](https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/28389/266_34-40.pdf)
- [4] L. Guizada, "Integridad ecológica de humedales de la cuenca baja del río Tempisque, caso Humedal Protegido Internacional Palo Verde, Costa Rica", Tesis de Maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica, 2018. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8886>
- [5] W. Murrillo y M. Masís, "Rehabilitación de ecosistemas de humedal como medida de adaptación a los impactos de la variabilidad climática: El caso del sitio Ramsar Palo Verde, sector Catalina", *Revista Ambientico*, vol. 266, pp. 50-57, 2018. [https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/28422/266\\_50-57.pdf](https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/28422/266_50-57.pdf)
- [6] J. Rodríguez-Yáñez , "Parameters for Use of Waste Castor-Oil Seed (*Ricinus communis*) as Biomass", *International Journal of Renewable Energy & Biofuels* vol. 2019, pp. 1-8, 2019. DOI: 10.5171/2019.529157
- [7] T. Sebío-Puñal, S.Naya, J. López-Beceiro, J. Tarrío-Saavedra, y R. Artiaga, "Thermogravimetric analysis of wood, holocellulose, and lignin from five wood species", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 109, pp. 1163–1167, 2012. DOI 10.1007/s10973-011-2133-1
- [8] ASTM Standards, "Standard Test Method for Horizontal Burning Rate of Polymeric Materials Used in Occupant Compartments of Motor Vehicles", ASTM Standards D5132-11, United States, 2014.
- [9] ASTM Standards, "Standard Test Method for Flame Resistance of Textiles (Vertical Test)", ASTM Standards, D6413-08, United States, 2014.
- [10] J. Santos, E. Castro; M. Pereira, F. Fogaroli y F. Pereira, "Root growth and anatomy of *Typha domingensis* Pers. related to phosphorus availability", *Acta Limnologica Brasiliensia*, vol. 33, pp. e9, 2021. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X2120>
- [11] Y. D. C. Cruz, "Características anatômicas e fisiológicas foliares e crescimento de *Typha domingensis* Pers. Submetida à diferentes disponibilidades hídricas", Tesis M. S., Universidade Federal de Lavra, Lavras, Brasil, 2017. <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/12818>
- [12] D. González, U. Álvarez y R. Lima, "Acumulación de biomasa fresca y materia seca por planta en el cultivo intercalado caupí – sorgo", *Revista Centro Agrícola*, vol. 45, no. 2, pp. 77-82, 2018. <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v45n2/cag11218.pdf>
- [13] J. Bufford y E. González, "Manejo del humedal Palo Verde y de las comunidades de aves asociadas a sus diferentes hábitats", *Ambientales*, vol. 43, pp. 7-16, 2012. <https://doi.org/10.15359/rca.43-1.1>
- [14] A. Mukhtar y I. Abdullahi, "Typha Biomass Energy for Sustainable Management of *Typha domingensis* L. in Affected Communities of Northern Nigeria", *Dutse Journal of Pure and Applied Sciences*, vol. 6, no. 4, pp. 246-252, 2020. [https://fud.edu.ng/journals/dujopas/2020\\_Dec\\_Vol\\_6\\_No\\_4/67.pdf](https://fud.edu.ng/journals/dujopas/2020_Dec_Vol_6_No_4/67.pdf)
- [15] A. Michaela, Y. Zhoua, M. Yavuz y M. Khanb, "Deconvolution of overlapping peaks from differential scanning calorimetry analysis for multi-phase NiTi alloys", *Thermochimica Acta*, vol. 665, pp. 53–59, 2018. <https://dx.doi.org/10.1016/j.tca.2018.05.014>

- [16] O. Tarig, S. Omer y O. Taha, "Alkaline Pulping of Typha domingensis Stems from Sudan", *World Applied Sciences Journal*, vol. 16, no. 3, pp. 331-336, 2012. [https://www.researchgate.net/publication/216845211\\_Alkaline\\_Pulping\\_of\\_Typha\\_domingensis\\_Stems\\_from\\_Sudan](https://www.researchgate.net/publication/216845211_Alkaline_Pulping_of_Typha_domingensis_Stems_from_Sudan)
- [17] Y. Chavarría-Valverde y J. Rodríguez, "Estimación de la carga de combustible presente en el sector El Hacha del Parque Nacional Guanacaste, Costa Rica", *Biocenosis*, vol. 33, no. 1, pp. 85-96, 2022. <https://doi.org/10.22458/rb.v33i1.4289>
- [18] P. Blanca, (10 de Julio del 2019). La Universidad de Costa Rica (UCR) impulsa acciones coordinadas con instituciones en comunidades del Corredor Seco Centroamericano en Guanacaste. *UCR noticias*. Disponible en: <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2019/07/10/guanacaste-en-la-encrucijada-frente-al-clima.html>

### **Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial (IA)**

Los autores aquí firmantes declaramos que no se utilizó ninguna herramienta de IA para la conceptualización, traducción o redacción de este artículo.