



<https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop..v70i1.46084>

Efecto de los incendios en la cobertura vegetal, almacenamiento de carbono y biomasa vegetal de un humedal costero

Dámaso W. Ramirez^{1,3*}; <https://orcid.org/0000-0003-4605-9422>

Gustavo Lértora¹; <https://orcid.org/0000-0003-0719-9318>

Raúl Vargas¹; <https://orcid.org/0000-0002-0062-4492>

Héctor Aponte^{2,3}; <https://orcid.org/0000-0001-5249-9534>

1. Facultad de Ciencias Ambientales, Coastal Ecosystems of Peru Research Group (COE-PERU), Universidad Científica del Sur, Av. Antigua Carretera Panamericana Sur km 19 Villa El Salvador-Lima 42, Perú; dramirez@cientifica.edu.pe (Correspondencia*), gustavo.lertora@gmail.com, portocarrero.heduardo@gmail.com
2. Carrera de Biología Marina, Coastal Ecosystems of Peru Research Group (COE-PERU), Universidad Científica del Sur, Av. Antigua Carretera Panamericana Sur km 19 Villa El Salvador-Lima 42, Perú; haponte@cientifica.edu.pe
3. Museo de Historia Natural, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Avenida Arenales 1256, Jesús María-Lima, Apartado 14-0434, Lima 14, Perú.

Recibido 23-II-2022. Corregido 23-V-2022. Aceptado 25-V-2022.

ABSTRACT

Effect of fires on vegetation cover, carbon storage and plant biomass in a coastal wetland

Introduction: Wetlands are among the most productive ecosystems, but currently are being degraded or eliminated at accelerated rates by multiple anthropic activities. In the central coast of Peru, wetlands suffer recurring fires, and the little-studied effects include the level of emissions and carbon sequestration by burning.

Objective: To estimate carbon in aerial biomass affected by fire, and carbon recovered by the vegetation after one year.

Methods: We worked in Los Pantanos de Villa (Lima, Peru) coastal wetland and compared burnt (32 quadrants, 1 m²) and unaffected areas (33 quadrants).

Results: The vegetation affected was predominantly herbaceous and dominated by *Phragmites australis*, *Schoenoplectus americanus*, *Typha domingensis* and *Cladium jamaicense*. Fire affected 1 147.0 t of plant biomass that stored 381.8 t of carbon, generating the emission of 1 397.1 t of CO₂ into the atmosphere. After one year, 79 % of the vegetation cover had recovered, but only 26 % of the plant biomass and 12.8 % of vegetation carbon.

Conclusions: Appropriate indicators of wetland fire resilience should consider that fire-impacted wetland rapidly recovers plant cover, but not carbon storage and plant biomass.

Key words: coast; fire; wetland; carbon; vegetation.

Los humedales son considerados uno de los ecosistemas más productivos del planeta y brindan múltiples servicios a la humanidad como reservorios de agua dulce, reguladores hídricos, fuente de alimentos y sumideros de

carbono frente al cambio climático (Mitsch & Gosselink, 2015; Ramsar, 2018). En el último siglo estos ecosistemas han perdido entre el 64 y 71 % de su superficie en el mundo (Davidson, 2014). En los últimos 50 años (1970-2015) la

región de Latinoamérica y el Caribe ha tenido la mayor pérdida con una disminución del 59 % de su superficie (Darrah et al., 2019). Esto se ha dado principalmente por actividades antrópicas como urbanismo, agricultura, ganadería, drenaje e incendios (Bixby et al., 2015; Cronk & Fennessy, 2001; Ehrenfeld, 2008; Hayashi & van der Kamp, 2007; van der Valk, 2007). De estas amenazas reconocidas en humedales, el impacto de los incendios en el funcionamiento de estos ecosistemas es escasamente conocido (Bixby et al., 2015; Kotze, 2013; Smith et al., 2001).

La vegetación de los humedales cumple un papel muy importante, y debido a su dinámica, fija grandes cantidades de carbono (fotosíntesis) en el ecosistema hasta el compartimento del suelo y la biomasa (Hernández, 2010). Los incendios que ocurren en estos ecosistemas pueden afectar a la biomasa y el contenido de nitrógeno de la vegetación, por eliminación de la cobertura, pero también pueden incrementar la producción de nueva biomasa aérea y subterránea, e influir en la composición de la comunidad vegetal (Bickford et al., 2012; Braswell et al., 2019). A pesar de las investigaciones realizadas hasta la fecha, no está claro como el fuego afecta a los humedales y de manera específica como influye en la resiliencia de los humedales. La resiliencia puede entenderse como la capacidad del ecosistema para absorber una perturbación natural o antrópica y volver a un estado de equilibrio, manteniendo la misma estructura, función e identidad (Fischer et al., 2009; Gunderson, 2000; Walker et al., 2004). Esta propiedad del ecosistema es importante conocerla si se quiere realizar un manejo adaptativo del ecosistema ante estas perturbaciones.

Los humedales costeros de Lima comprenden un corredor de diversidad biológica en el desierto peruano del Pacífico Tropical. Estos ecosistemas albergan una importante diversidad de especies entre mamíferos (Pacheco et al., 2015), aves (Iannacone & Alvarino, 2007), reptiles (Icochea, 1998), arañas (Paredes, 2012), protozoarios (Guillén et al., 2003) y plantas (Aponte & Cano, 2013; Cano & Young, 1998). Por la cercanía de estos ambientes con

las poblaciones humanas, varios se han visto reducidos y afectados en los últimos años; diferentes alteraciones como la expansión agrícola, ganadería, urbanismo, arrojado de desechos e incendios afectan constantemente estos ecosistemas (Aponte & Ramirez, 2011; Aponte & Cano, 2013; Aponte & Ramirez, 2014; Cano & Young, 1998; Ramirez et al., 2018). En la actualidad los incendios son recurrentes en los humedales costeros, habiéndose reportado múltiples eventos en los humedales de Lima (Aponte et al., 2015; Lértora, 2015; Ramirez et al., 2018). Los estudios realizados sobre incendios, así como los impactos en la flora y fauna de los humedales de la costa de Lima son escasos, y nos muestran algunas características resilientes en el ecosistema, como la recuperación de la cobertura y la densidad de las especies dominantes (*Schoenoplectus americanus*, “junco”) posterior a un incendio (Aponte et al., 2017), pero también el potencial impacto a las especies animales que allí residen (Ramirez et al., 2018).

El Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa (RVSLPV) es un humedal costero ubicado en Lima Metropolitana, categorizado como Área Natural Protegida por el estado peruano y declarado humedal de importancia internacional o sitio Ramsar. Este humedal presenta una notoria diversidad de especies vegetales (Ramirez & Cano, 2010) la cual provee de servicios ecosistémicos a la población local tales como la provisión de recursos vegetales y captura de carbono. A pesar de ser un área natural protegida, la provisión de estos servicios ecosistémicos se ha visto amenazada por la expansión urbana, la presencia de residuos sólidos y el fuego (Ramirez et al., 2018; Pulido, 1998; Young, 1998).

En noviembre del 2014 se dio un incendio dentro del RVSLPV, en una zona de difícil acceso por la densa vegetación, y que solo es aprovechada en parte por algunos pobladores (llamados “totoreros”) que poseen un permiso de uso especial para extracción del recurso (*Typha dominguensis*) “totora” (Lértora, 2015). Varias preguntas se generaron luego de este incendio ocurrido, siendo algunas de ellas:



¿Cuánto carbono se emite fruto de un incendio en un humedal costero? ¿Este carbono se recupera rápidamente? En este contexto el presente estudio tiene como objetivo principal estimar la cantidad de carbono que se liberó por la quema de la biomasa aérea y evaluar cuanto carbono se recupera luego de un año de este impacto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: Los Pantanos de Villa constituyen un humedal marino costero, integrado al sistema hidrológico del río Rímac a través del acuífero Ate-Surco-Chorrillos. Se ubica en el Departamento y Provincia de Lima, en el distrito de Chorrillos (12°11'42"-12°13'18" S & 76°58'42"-76°59'42" W). Esta área natural se encuentra en una ensenada litoral del Océano Pacífico, en la cual se han desarrollado ambientes lagunares e hidromórficos (INRENA, 1998). Debido a que el humedal es un refugio de aves migratorias fueron reconocidos internacionalmente a partir del 20 de febrero de 1997 como humedal de importancia internacional o sitio RAMSAR, y junto a otros humedales costeros constituyen un corredor ecológico en la ruta migratoria de muchas especies de aves. En setiembre del 2006 (D.S. N° 055-2006-AG) se recategorizó como Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa (RVSLPV) con una superficie de 263.27 ha. Comprende seis espejos de agua de diferentes tamaños (Laguna Mayor, Laguna Génesis, Laguna ANAP, Laguna Marvilla, Laguna Las Garzas, Laguna La Pampa), dos canales principales que abastecen de agua a todo el humedal y zonas pantanosas con abundante materia orgánica (Ramírez et al., 2018). El área afectada por el fuego comprende el sector Sur-Este del humedal, cercano a la carretera principal que circunda el humedal (Fig. 1).

Caracterización de las comunidades vegetales afectadas por el incendio: En noviembre del 2014 se registró un incendio que afectó la flora, fauna y hábitats del humedal, incluyendo a la población local de los alrededores (Lértora, 2015; Ramírez et al., 2018).

Este incendio impactó comunidades herbáceas muy densas que presentaban una acumulación de material vegetal en forma de biomasa seca potencialmente inflamable. Con el objetivo de medir el impacto del incendio en las comunidades afectadas se realizó visitas de campo en días posteriores al evento mediante recorridos perimetrales de cada comunidad vegetal afectada utilizando un receptor GPS (Garmin etrex 20) y el uso de imágenes de *Google Earth* (2014-2015). La fisiografía de la zona se caracterizó por una extensa planicie ligeramente inclinada, el suelo se encontraba saturado e inundado con presencia de una capa de ceniza de 50-70 cm de espesor. El reconocimiento de la vegetación afectada se realizó mediante la identificación de rebrotes y restos empleando documentación especializada (León et al., 1995; Ramírez & Cano, 2010). Se reconocieron las siguientes comunidades vegetales herbáceas afectadas por el incendio, las cuales se presentaron en grandes parches principalmente monoespecíficos: Totoral dominado por *Typha dominguensis* ("totora"); Carrizal dominado por *Phragmites australis* ("carrizo"); comunidad de corta-corta dominado por *Cladium jamaicense*, *Juncal* dominado por *Schoenoplectus americanus* ("junco") y *Juncal* mixto dominado por *S. americanus* y diferentes especies de "gramas" (*Distichlis spicata*, *Paspalum vaginatum*, *Sporobolus virginicus*). Con la información recopilada en campo y utilizando el programa QGIS 2.14 (QGIS Development Team, 2016) se realizó un mapa de toda el área impactada en donde determinamos el área de cada comunidad vegetal afectada. El presente estudio realizó una evaluación cualitativa de la severidad del incendio considerando la cobertura vegetal remanente, el tipo de materia orgánica afectada y características del suelo como el color de la ceniza, esto es importante ya que la severidad de la quema en el humedal condiciona la respuesta del ecosistema (Gómez-Sánchez et al., 2017; Keeley, 2009; Salvia et al., 2012). El incendio ocurrido en el humedal duró alrededor de 12 horas y fue controlado por unidades de bomberos (23), cisternas, guardaparques y el apoyo de municipalidades locales

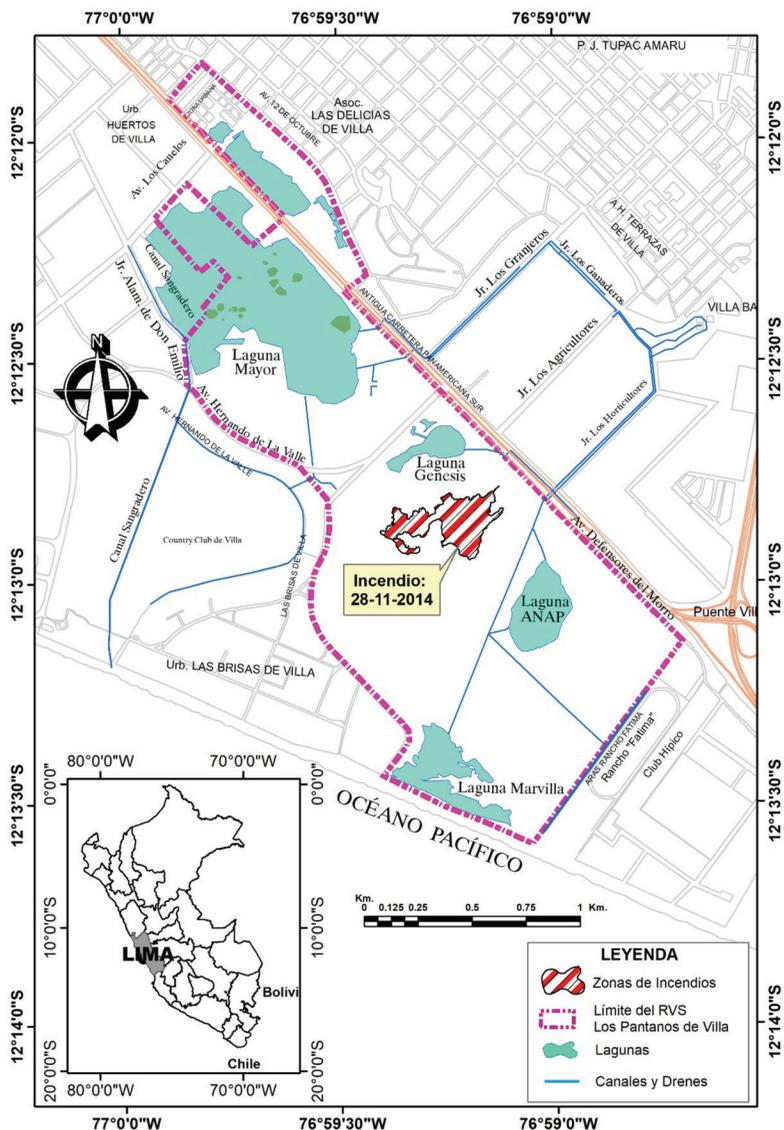


Fig. 1. Mapa de ubicación de los Pantanos de Villa (Lima-Perú) y zona del incendio ocurrido en el 2014.

Fig. 1. Location map of the Pantanos de Villa (Lima-Peru) and area of the fire that occurred in 2014.

(Lértora, 2015). El tipo de vegetación afectada fue herbácea con acumulación de biomasa seca inflamable, la estimación visual de la cobertura vegetal remanente mostró un 90-95 % de la vegetación afectada, el color de la ceniza fue gris-blanquecino indicador de la mayor severidad del fuego (Gómez-Sánchez et al., 2017; Salvia et al., 2012; Pereira et al., 2011). Basado en estos criterios el incendio ocurrido

se consideró de una severidad alta para el ecosistema (Fig. 2).

Evaluación de la zona afectada (post-incendio): Luego de un año de ocurrido el incendio (noviembre 2015) se realizaron mediciones de biomasa y cobertura en la vegetación afectada por el fuego. Con este objetivo se hizo un muestreo estratificado y se consideró a

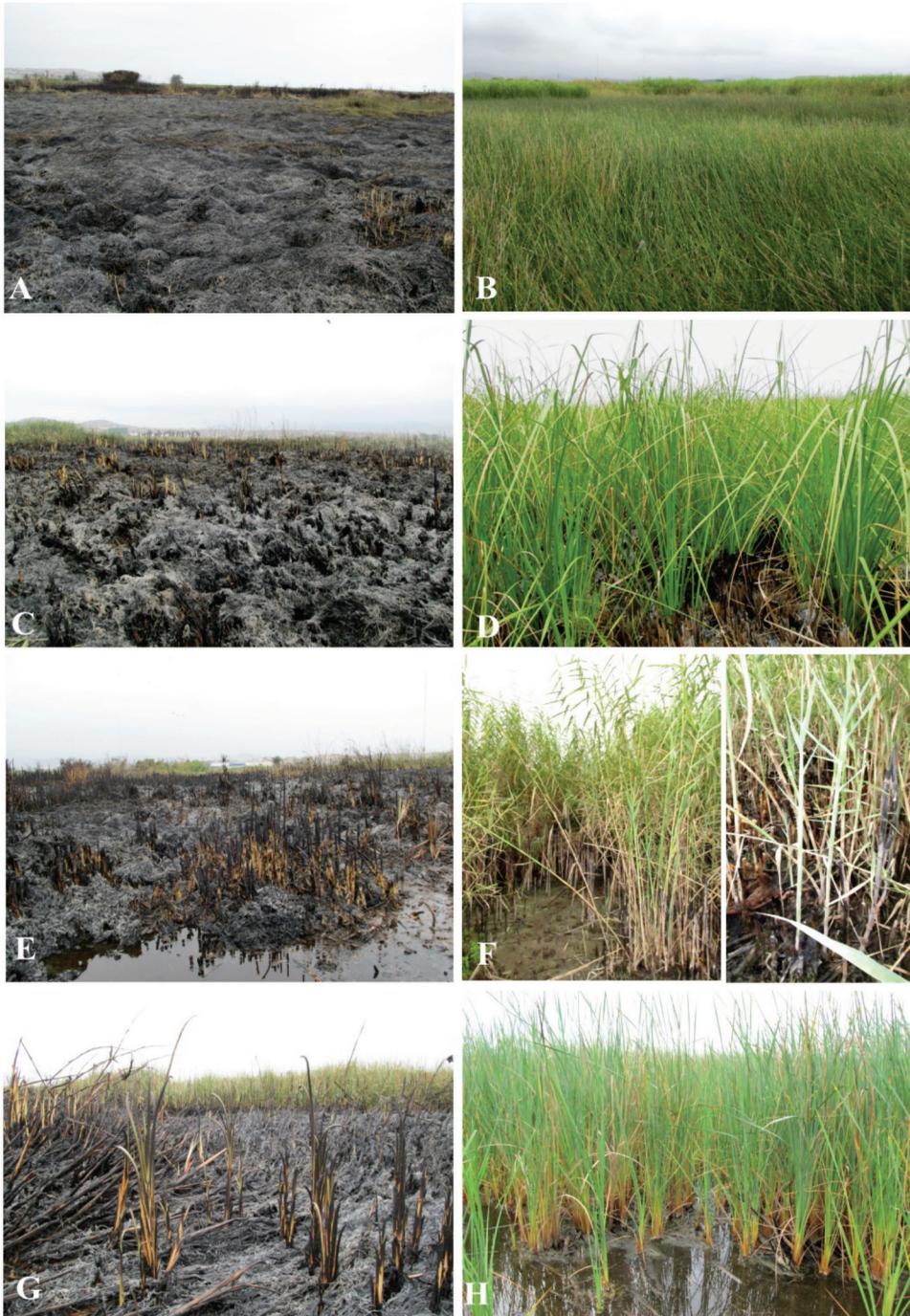


Fig. 2. Comunidades vegetales afectadas por un incendio (nov 2014) y luego de un año de su recuperación (nov 2015) en los Pantanos de Villa. **A-B.** Juncal dominado por *Schoenoplectus americanus*; **C-D.** Comunidad de Corta-Corta dominado por *Cladium jamaicense*; **E-F.** Carrizal dominado por *Phragmites australis*; **G-H.** Totoral dominado por *Typha dominguensis*.

Fig. 2. Plant communities affected by a fire (Nov 2014) and one year after their recovery (Nov 2015) in Pantanos de Villa. **A-B.** Reed dominated by *Schoenoplectus americanus*; **C-D.** Corta-Corta community dominated by *Cladium jamaicense*; **E-F.** Reedbed dominated by *Phragmites australis*; **G-H.** Totoral dominated by *Typha dominguensis*.

las comunidades vegetales identificadas como estratos. Posteriormente, en cada tipo de vegetación se ubicaron transectos de 12 m de largo, desde el borde hacia el centro de la zona quemada, en dónde se evaluaron de 3 a 4 cuadrantes de 1 m² ubicados de forma aleatoria. En total se instalaron 10 transectos y 32 cuadrantes en toda el área afectada, el número de cuadrantes fue proporcional a la extensión de cada comunidad vegetal afectada por el incendio. En la comunidad de Corta-corta se establecieron diez cuadrantes, en el Totoral cinco, en el Juncal seis, Juncal mixto seis, y en el Carrizal cinco. En cada cuadrante se midió la biomasa aérea obtenida un año después del incendio. También se evaluó la cobertura vegetal, determinada por un mismo evaluador, mediante el método de estimación visual (Friedman et al, 2011; Rochefort et al., 2013).

Evaluación de zonas no afectadas (zonas de referencia): Con la finalidad de tener zonas de referencia de la biomasa, el carbono y la cobertura para la vegetación no afectada por un incendio, se evaluaron las mismas comunidades vegetales en zonas no impactadas por el fuego dentro del humedal. Para esto se realizó un muestreo estratificado tomando como estratos a las diferentes comunidades vegetales, pero de zonas no afectadas por el incendio; Juncal, Totoral, Carrizal, Corta-corta. Basado en la accesibilidad y extensión de las comunidades vegetales no-afectadas por el incendio, algunas como el Carrizal y Corta-corta estaban muy reducidas en extensión, se evaluaron un total de 33 cuadrantes de 1 m²: seis parcelas en la Comunidad de Corta-corta, seis en el Juncal, ocho en el Juncal mixto, ocho en el Totoral y cinco en el Carrizal. De igual forma en cada cuadrante se estimó la biomasa y la cobertura vegetal. La vegetación evaluada en estas zonas se encontró en un estado clímax con gran acumulación de biomasa viva (tallos y hojas verdes) y muerta (tallos y hojas secas).

Estimación de la biomasa: La biomasa fue medida por el método de cosecha destructiva por unidad de área utilizando un marco de

plástico de PVC de 1 m² (Howard et al., 2014). La vegetación seleccionada en cada cuadrante fue cortada a nivel del suelo y luego se pesó utilizando una balanza digital de mano. Con esta metodología se obtuvo el peso de la biomasa aérea por metro cuadrado. Luego se tomó una submuestra de peso fresco (200 gr por triplicado) para cada especie dominante de cada comunidad vegetal y se colocó en una bolsa de papel debidamente rotulado para ser llevado al laboratorio. Posteriormente, se obtuvo el peso seco de la submuestra mediante el método gravimétrico, 60 °C x 72 h (Cunniff & AOAC International, 1997). Esto permitió determinar el porcentaje de humedad en la biomasa aérea. Finalmente, para obtener la biomasa seca (kg/m²) se usó la siguiente fórmula (1).

$$B = \frac{Ps}{Pf} \times Bf \dots (1)$$

Donde, B: Biomasa o materia seca del cuadrante, Pf: Peso fresco de la submuestra (g), Ps: Peso seco de la submuestra (g), Bf: Biomasa aérea del cuadrante (kg/m²). La biomasa aérea estuvo conformada por la biomasa viva (tallos y hojas verdes) y la biomasa muerta o necromasa (tallos y hojas secas). La evaluación incluyó estos dos depósitos cuando estaban presente.

Estimación del carbono almacenado y emitido: Para evaluar la capacidad de secuestro de carbono de las comunidades vegetales impactadas (1 año post-quema) y no impactadas (sitios de referencia) se ha considerado las metodologías propuestas para medir carbono orgánico en humedales costeros (Howard et al., 2014). El carbono presente en la vegetación se determinó considerando el contenido de carbono en la biomasa de cada especie dominante de las comunidades vegetales estudiadas, para esto se tomó tres muestras de 0.5 kg por especie. El porcentaje de carbono se calculó por el método de Walkley & Black (1934), el cual permite determinar el contenido de carbono orgánico en una variedad de suelos y materiales orgánicos principalmente de origen vegetal (Aller-Rojas et al., 2020; Bremner & Jenkinson, 1960;



Passos et al., 2016). El análisis de carbono se realizó en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes (LASPAF) de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Lima-Perú).

Posteriormente, para estimar la cantidad de carbono por unidad de área (kgC/m^2) se multiplicó el porcentaje de carbono de la especie dominante por la biomasa seca del cuadrante (kg/m^2) y se elevó a tC/ha (toneladas de carbono por hectárea). La cantidad de carbono almacenado en las comunidades vegetales no impactadas ($C_{\text{pre-incendio}}$) y el carbono acumulado al año del incendio ($C_{\text{post-incendio}}$) fueron calculados a partir de una modificación de las ecuaciones propuestas por el IPCC (2006) para el área de estudio. Las fórmulas utilizadas fueron las siguientes (2) y (3):

$$C_{\text{pre-incendio}} = \sum_i^n A_i \times B_{\text{pre}_i} \times \% C_i \dots (2)$$

$$C_{\text{post-incendio}} = \sum_i^n A_i \times B_{\text{post}_i} \times \% C_i \dots (3)$$

Donde A_i : Área ocupada (ha) por la formación vegetal i en la zona del estudio. B_{pre_i} : Biomasa seca por hectárea para la comunidad vegetal i en áreas no impactadas por incendios. B_{post_i} : Biomasa seca por hectárea para la comunidad vegetal i en el área del incendio luego de un año del evento. $\% C_i$: Porcentaje de carbono en la Biomasa seca de la comunidad vegetal i .

Los valores fueron obtenidos en toneladas de carbono (C_{pre} y C_{post}) y posteriormente transformados a CO_2 multiplicando por el factor de conversión (3.66), el cual convierte las toneladas de carbono en toneladas de dióxido de carbono tal como se muestra en el trabajo de Diaz y Molano (2001).

Análisis estadístico: Se realizó la prueba de Shapiro-Wilks y Levene para probar la normalidad y homogeneidad de los datos. Las variables no presentaron distribución normal, por lo cual se utilizó la estadística no paramétrica y se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis para ver diferencias en el almacenamiento de carbono y biomasa entre zonas impactadas y no impactadas por el incendio. Los datos se

analizaron con el programa IBM SPSS Statistics 25 (IBM Corp., 2017).

RESULTADOS

El área afectada por el incendio abarcó 6.74 ha, que representa el 3 % del área total del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa (RVSLPV). Se encontró que el impacto por fuego, luego de un año, afectó de forma significativa ($P < 0.01$) a la biomasa húmeda, biomasa seca y el carbono almacenado en el humedal (Fig. 3). A nivel de las comunidades vegetales el fuego impactó a todas de forma significativa ($P < 0.01$) en la biomasa seca y el carbono (Tabla 1). El tipo de vegetación que tuvo la mayor superficie de área dañada por el fuego fue la comunidad de Corta-corta con 2.82 ha (42 %), seguido del Juncal (incluye el juncal mixto) con 1.73 ha (26 %), Carrizal con 1.42 ha (21 %) y Totoral con 0.77 ha (11 %). Los valores promedios obtenidos por cuadrantes (1 m^2) para biomasa y carbono se muestran en la Tabla 1.

Biomasa aérea: La biomasa húmeda calculada para la zona no impactada para una superficie de 6.7 ha fue de 1 147 t ($170.2 \text{ t}/\text{ha}$), mientras que en la zona impactada (post-incendio) se obtuvo 302.6 t ($44.9 \text{ t}/\text{ha}$) (Tabla 2). La comunidad vegetal que recuperó más biomasa fue el Juncal (56.6 %) seguido del Juncal mixto (35.8 %), Corta-corta (32.5 %) y Totoral (24.5 %), el Carrizal fue la comunidad con menor capacidad de recuperación de biomasa (15.2 %).

Carbono almacenado y recuperado: El carbono total acumulado para el escenario antes del incendio (zonas de referencia) fue de 381.8 t, luego de un año post-incendio se obtuvo 48.9 t de carbono almacenado. La recuperación del carbono (zona impactada) a un año del evento fue de 12.8 % con respecto a las zonas de referencia y para la biomasa del 26 % (Tabla 3). Luego del incendio, la comunidad vegetal con mayor recuperación de carbono fue el Juncal (18.8 %), seguido de la comunidad

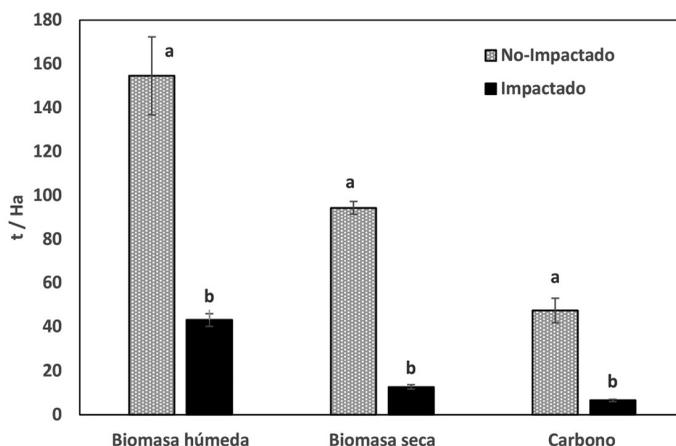


Fig. 3. Biomasa húmeda, biomasa seca y carbono en la vegetación impactada y no impactada por un incendio en los Pantanos de Villa (Lima-Perú).

Fig. 3. Wet biomass and carbon in vegetation impacted and not impacted by a fire in Pantanos de Villa (Lima-Peru).

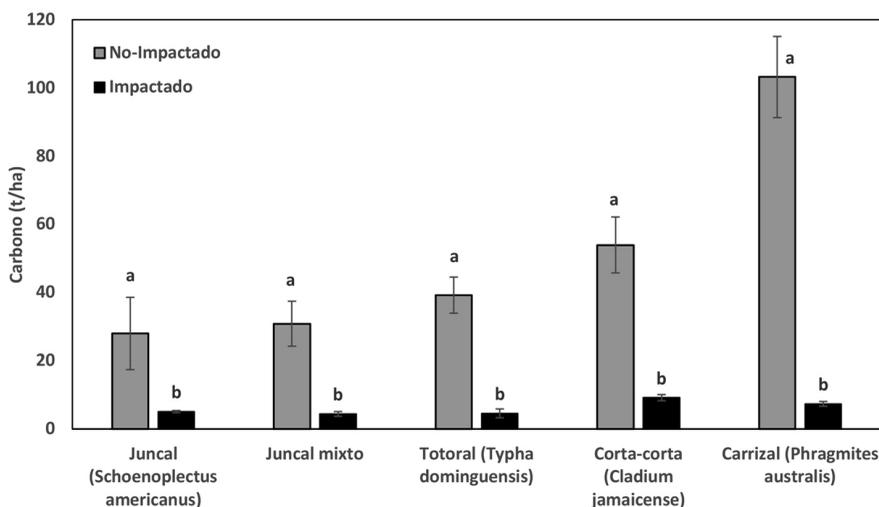


Fig. 4. Almacenamiento de carbono (t/ha) en comunidades vegetales impactadas y no impactadas por un incendio en los Pantanos de Villa (Lima-Perú).

Fig. 4. Carbon storage (t/ha) in plant communities impacted and not impacted by a fire in the Pantanos de Villa (Lima-Peru).

de Corta-corta (17 %), Juncal mixto (15 %) y Totoral (11.6 %), el Carrizal tuvo la menor recuperación (7.1 %).

Luego de un año post-incendio, la capacidad de recuperación de la vegetación (Tabla 3) considerando la biomasa aérea y el almacenamiento de carbono muestra valores bajos (< 30 %) con relación a zonas no-impactadas. Sin embargo, se encontró un patrón opuesto para la cobertura vegetal que presentó un porcentaje

elevado de recuperación (79 %). Todas las comunidades vegetales muestran esta tendencia de recuperación para la biomasa, el almacenamiento de carbono y la cobertura vegetal. La comunidad con mayor capacidad de recuperación fue el Juncal y la de menor capacidad el Carrizal. Las comunidades vegetales, post-incendio, mostraron una diferencia significativa ($P < 0.01$) en el almacenamiento de carbono comparado con zonas no impactadas (Fig. 4).



Porcentaje de carbono, biomasa húmeda, biomasa seca y stock de carbono por comunidades vegetales en zonas impactadas y no impactadas por un incendio en el humedal costero los Pantanos de Villa, Lima-Perú

TABLA 1

Percentage of carbon, wet biomass, dry biomass and carbon stock by plant communities in areas impacted and not impacted by a fire in the Pantanos de Villa coastal wetland, Lima-Peru

TABLA 1

Comunidades vegetales	% C*	Biomasa húmeda (kg/m ²)		Biomasa seca (kg/m ²)		Carbono (kg C/m ²)		P valor
		No-Impactado	Impactado	No-Impactado	Impactado	No-Impactado	Impactado	
Total (Typha domingensis)	48.98 ± 0.60	19.32 ± 2.62 a	4.73 ± 1.32 b	8.01 ± 1.09 a	0.94 ± 0.26 b	3.93 ± 0.53 a	0.46 ± 0.13 b	< 0.01
Corta Corta (Cladium jamaicense)	52.65 ± 5.49	14.50 ± 2.08 a	4.71 ± 0.48 b	10.25 ± 1.56 a	1.75 ± 0.18 b	5.40 ± 0.82 a	0.92 ± 0.09 b	< 0.01
Juncal (Schoenoplectus americanus)	53.93 ± 4.31	7.33 ± 2.13 a	4.05 ± 0.24 a	5.19 ± 1.96 a	0.95 ± 0.06 b	2.80 ± 1.06 a	0.51 ± 0.03 b	< 0.01
Carrizal (Phragmites australis)	49.05 ± 0.35	32.36 ± 2.70 a	4.91 ± 0.48 b	21.04 ± 2.43 a	1.50 ± 0.15 b	10.32 ± 1.19 a	0.74 ± 0.07 b	< 0.01
Juncal mixto (junco+pastos)	49.97 ± 1.24	7.87 ± 1.58 a	3.13 ± 0.49 a	6.18 ± 1.31 a	0.88 ± 0.14 b	3.09 ± 0.66 a	0.44 ± 0.07 b	< 0.01
TOTAL		15.46 ± 1.78 a	4.32 ± 0.29 b	9.44 ± 0.29 a	1.27 ± 0.10 b	4.75 ± 0.56 a	0.65 ± 0.05 b	< 0.001

Se muestra el promedio ± error estándar. Valores de P < 0.01 indican que hay diferencias significativas entre zonas impactadas y no-impactadas; letras diferentes muestran las diferencias dentro de cada variable.

The mean ± standard error is shown. P values < 0.01 indicate that there are significant differences between impacted and non-impacted areas; different letters show the differences within each variable.

TABLA 2
 Biomasa húmeda, biomasa seca, carbono y emisión de dióxido de carbono (CO₂) en comunidades vegetales impactadas y no impactadas por un incendio en el humedal costero Los Pantanos de Villa (Lima-Perú)

TABLE 2
 Wet biomass, dry biomass, carbon and carbon dioxide (CO₂) emission in plant communities impacted and not impacted by a fire in the coastal wetland Los Pantanos de Villa (Lima-Peru)

Comunidad vegetal	A (ha)	A (%)	Biomasa húmeda (t)		Biomasa seca (t)		Carbono almacenado (t)		Carbono (ton C/ha)		CO ₂ emitido		
			No-Impactado	Impactado	No-Impactado	Impactado	No-Impactado	Impactado	ton	%	ton/ha	%	
Total	0.77	11.4	148.5	36.4	61.6	7.2	30.2	3.5	39.2	4.5	110.5	7.9	143.7
Corta Corta	2.82	41.8	408.8	132.8	288.9	49.2	152.0	25.9	53.9	9.2	556.2	39.8	197.3
Juncal	1.04	15.4	76.4	42.2	54.1	10.1	29.2	5.5	28.1	5.3	106.7	7.6	102.5
Carrizal	1.42	21.1	459.2	69.7	298.6	21.3	146.3	10.4	103.0	7.3	535.5	38.3	377.3
Juncal mixto	0.69	10.2	54.1	21.5	48.2	7.2	24.1	3.6	34.9	5.2	88.2	6.3	128.3
TOTAL	6.74	100	1 147.0	302.6	751.4	95.1	381.8	48.9	48.9	5.2	1 397.1	6.3	128.3

Los valores mostrados (t) corresponden para una superficie de 6.7 ha. A: Área afectada, Impactado: un año luego del incendio. The values shown (t) correspond to a surface of 6.7 ha. A: Affected area, Impacted: one year after the fire.

TABLA 3
 Recuperación de la biomasa húmeda, carbono y cobertura de la vegetación impactada por un incendio luego de un año (2014-2015) en el humedal costero los Pantanos de Villa

TABLE 3
 Recovery of wet biomass, carbon and vegetation cover impacted by a fire one year after (2014-2015) in the Pantanos de Villa coastal wetland

Comunidades vegetales	% BT rec.	% C rec.	% Cob.
Totoral	24.5	11.7	72
Corta Corta	32.5	17.0	83
Juncal	56.6	18.7	91
Carrizal	15.2	7.1	61
Juncal mixto	35.8	15.0	87
Área total afectada	26.0	12.8	79

% BT rec: Porcentaje de Biomasa Total recuperada, % C rec: Porcentaje de Carbono recuperado, % Cob: Porcentaje de Cobertura Vegetal recuperada.

% BT rec: Percentage of Total Biomass recovered, % C rec: Percentage of Carbon recovered, % Cob: Percentage of Vegetative Cover recovered.

Emisión de dióxido de carbono por el incendio: Las estimaciones realizadas muestran que se emitieron 1 397.1 t de CO₂ a la atmósfera durante las 12 h que duró el incendio en la zona afectada de los Pantanos de Villa. Las comunidades vegetales que más aportaron en esta emisión, de acuerdo con la extensión afectada (6.7 ha), fueron la comunidad de Corta-corta (*Cladium jamaicense*) y Carrizal (*Phragmites australis*) que sumadas alcanzan el 78 % de la emisión total (Tabla 2). Asimismo, estas dos comunidades son las que más CO₂ emiten por hectárea durante un incendio, resaltando la diferencia de emisiones del Carrizal con respecto a las demás comunidades.

DISCUSIÓN

Los incendios se han vuelto una amenaza recurrente en los humedales de la costa central del Perú (Aponte et al., 2015; Ramirez et al., 2018). El incendio evaluado, por su extensión y duración, es considerado el de mayor impacto registrado hasta la fecha para los Pantanos de Villa (Ramirez et al., 2018). Estudios



anteriores (Aponte et al., 2014) señalan que en algunos humedales de la costa central y norte del Perú es común realizar quemas antrópicas no controladas con la finalidad de hacer rebrotar los parches de junco (*S. americanus*). Estas prácticas suelen tener éxito mejorando la vitalidad de los nuevos rebrotes y la calidad de la fibra vegetal, lo cual significa un beneficio para los pobladores locales. Sin embargo, al mismo tiempo, se liberan grandes cantidades de carbono no estimadas, almacenados en estos ambientes considerados reservorios naturales. Durante el incendio ocurrido uno de los principales perjuicios ambientales fue la cantidad de carbono emitido a la atmósfera y que de forma aproximada se logró cuantificar en el presente estudio.

El manejo inadecuado de estas prácticas de quemas por parte de la población local, mediante incendios no controlados, para actividades de agricultura, ganadería y urbanismo, muestra una problemática ambiental y social para los humedales costeros, que debe ser atendido bajo un enfoque integral con los diferentes actores involucrados (población, gestores, investigadores, ONGs). Mitra et al (2005) señalan lo importante que es la educación y la investigación para tratar problemáticas socioambientales como este. Los resultados obtenidos brindan una herramienta importante para la gestión de los humedales costeros ante estas perturbaciones, ya que provee valores cuantitativos de biomasa, stock y emisiones de carbono que permiten cuantificar el impacto de los incendios en estos ecosistemas.

El impacto por fuego afectó de manera significativa el almacenamiento de carbono de todas las comunidades vegetales estudiadas y por consecuencia el servicio ecosistémico de captura de carbono. Sin embargo, post-incendio se logró una recuperación de la cobertura de las especies representativas de las comunidades vegetales. Estos resultados indicarían que el fuego afecta de manera diferenciada a la estructura y función de un humedal costero. Las investigaciones realizadas hasta la fecha se han enfocado principalmente en el efecto del fuego en la estructura (cobertura, densidad,

altura) de la vegetación (Aponte et al., 2017; Bickford et al., 2012; Braswell et al., 2019) y muy pocas en la funcionalidad, principalmente relacionado al almacenamiento de carbono de la vegetación y el suelo (Ampuero & Aponte, 2020; Zhang et al., 2019). Los resultados indicarían que el fuego puede mantener la estructura de la vegetación, regenerando la cobertura de las especies dominantes como *Schoenoplectus americanus* “junco” y *Cyperus giganteus*, pero también reducirlo y modificarlo como en *Typha domingensis* “totora” (Aponte et al., 2017; Escutia-Lara et al., 2009; Rocha et al., 2015).

A nivel de ecosistemas gestionados, considerando procesos de recuperación del suelo y la estructura y composición de la vegetación se ha encontrado que humedales costeros embalsados son resilientes al fuego después de un año (Jones et al., 2022). Sin embargo, en ecosistemas no manejados, en el primer año, se ha encontrado un impacto significativo del fuego en el contenido de carbono, nitrógeno, humedad del suelo y patrones metabólicos microbianos; así como en las variables de crecimiento y captura de carbono de la vegetación (Ampuero & Aponte, 2020; Zhang et al., 2019). A nivel temporal se ha estimado que la recuperación de la estructura vegetal puede darse a partir de los seis meses y depender principalmente de la severidad del fuego y de la condición hidrológica del humedal (Salvia et al., 2012). En otros casos se ha observado que luego de un año post-incendio, la vegetación ya muestra una recuperación de su composición (Jones et al., 2022). En el área de estudio, los gestores del área natural protegida, en base a observaciones cualitativas de la cobertura, estimaron que luego de un incendio el humedal se recupera de forma adecuada en cuatro meses (SERNANP, 2014) y de forma total entre seis meses y un año (SERNANP, 2009a; SERNANP, 2009b). Esta observación puede llevar a pensar que se alcanzó un estado similar al anterior y la recuperación se ha completado en un año; y, esto a su vez, podría incentivar ideas no adecuadas de manejo del recurso vegetal para el área.

En este punto es importante recalcar que la cobertura debe considerarse solo como un

indicador de otros posibles indicadores de la estructura del ecosistema para medir la recuperación de un humedal post-incendio. Por lo cual se debe complementar con indicadores relacionados a la funcionalidad del ecosistema, como la productividad o captura de carbono. De esta forma si queremos medir la resiliencia de los humedales ante el fuego se estará considerando indicadores de distinta naturaleza (estructura y funcionalidad) y de forma integral. En este contexto, algunos estudios consideran que la recuperación de un ecosistema (resiliencia) luego de una perturbación puede evaluarse basado en un modelo lineal de recuperación simultánea de su estructura y función (Bradshaw, 1984). Este modelo asume un incremento directo en la funcionalidad del ecosistema de acuerdo con un incremento en la complejidad de la estructura (Cortina et al., 2006). Sin embargo, los humedales costeros como los Pantanos de Villa no estarían siguiendo este patrón propuesto. El presente estudio muestra que luego de un año de ocurrido un incendio el humedal costero tiene una recuperación rápida de la cobertura vegetal, pero una recuperación lenta de la captura de carbono, mostrando que no hay una recuperación simultánea de la estructura y funcionalidad del ecosistema.

Investigar la problemática de los incendios en humedales es importante para realizar un manejo sostenible del ecosistema cuando son afectados por estas perturbaciones, especialmente en áreas desérticas, en donde los incendios se pueden volver recurrentes y severos. Esto puede ocasionar que el ecosistema ingrese a estadios irreversibles provocando la pérdida de biodiversidad y servicios ecosistémicos como el almacenamiento de carbono. Los resultados obtenidos pueden aportar a realizar un manejo adecuado de estos ecosistemas cuando son impactados por fuego y se requiera implementar medidas de gestión basado en evidencia para la recuperación del ecosistema.

Declaración de ética: los autores declaran que todos están de acuerdo con esta publicación y que han hecho aportes que justifican su autoría; que no hay conflicto de interés de

ningún tipo; y que han cumplido con todos los requisitos y procedimientos éticos y legales pertinentes. Todas las fuentes de financiamiento se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se ha realizado gracias al financiamiento otorgado por la Dirección General de Investigación y Desarrollo de la Universidad Científica del Sur. Asimismo, la investigación no se hubiera podido realizar sin el apoyo de SERNANP y PROHILLA, quienes facilitaron el permiso de investigación para el presente estudio. Un agradecimiento a Fernando Gil por el apoyo en la elaboración del mapa. Finalmente, agradecemos a los guardaparques y estudiantes que nos ayudaron durante el trabajo de campo y procesamiento de las muestras en laboratorio.

Información sobre la contribución: D. W. Ramirez escribió la primera versión del trabajo y realizó los análisis. G. Lértora, R. Vargas y H. Aponte realizaron aportes y revisiones críticas al manuscrito. D. W. Ramirez, G. Lértora, y H. Aponte participaron de la concepción del proyecto. Todos los autores participaron en la ejecución de la investigación.

RESUMEN

Introducción: Los humedales se encuentran entre los ecosistemas más productivos, pero actualmente están siendo degradados o eliminados a un ritmo acelerado por múltiples actividades antrópicas. En la costa central de Perú, los humedales sufren incendios recurrentes, y los efectos poco estudiados incluyen el nivel de emisiones y el secuestro de carbono por quema.

Objetivo: Estimar el carbono en la biomasa aérea afectada por el fuego y el carbono recuperado por la vegetación al cabo de un año.

Métodos: Trabajamos en el humedal costero Los Pantanos de Villa (Lima, Perú) y comparamos áreas quemadas (32 cuadrantes, 1 m²) y no afectadas (33 cuadrantes).

Resultados: La vegetación afectada fue predominantemente herbácea y dominada por *Phragmites australis*, *Schoenoplectus americanus*, *Typha domingensis* y



Cladium jamaicense. El incendio afectó 1 147.0 t de biomasa vegetal que almacenó 381.8 t de carbono, generando la emisión de 1 397.1 t de CO₂ a la atmósfera. Al cabo de un año se había recuperado el 79 % de la cobertura vegetal, pero solo el 26 % de la biomasa vegetal viva y el 12.8 % del carbono contenido en la vegetación.

Conclusiones: Los indicadores apropiados de la resiliencia de los humedales al fuego deben considerar que los humedales afectados por el fuego recuperan rápidamente la cobertura vegetal, pero no el almacenamiento de carbono y la biomasa vegetal.

Palabras clave: costa; fuego; humedal; carbono; vegetación.

REFERENCIAS

- Aller-Rojas, O., Moreno, B., Aponte, H., & Zavala, J. (2020) Carbon storage estimation of *Lessonia trabeculata* kelp beds in Southern Peru, an analysis from the San Juan de Marcona region. *Carbon Management*, 11(5), 525–532.
- Ampuero, W., & Aponte, H. (2020). Estimación del carbono almacenado en un juncal de *Schoenoplectus americanus* en el humedal costero Los Pantanos de Villa (Lima-Perú). *Arnaldoa*, 27(1), 267–281.
- Aponte, H., & Ramirez, D. W. (2011). Humedales de la costa central del Perú: estructura y amenaza de sus comunidades vegetales. *Ecología Aplicada*, 10(1), 31–39.
- Aponte, H., & Cano, A. (2013). Estudio florístico comparativo de seis humedales de la costa central del Perú, Actualización y nuevos retos para su conservación. *Revista Latinoamericana de Conservación*, 3(2), 15–27.
- Aponte, H., & Ramirez, D. (2014). Riqueza florística y estado de conservación del Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla, Callao, Perú. *The Biologist*, 12(2), 270–282.
- Aponte, H., Pérez-Irigoyen, P., & Armesto, M. (2014). Notas sobre el uso y mercado de *Schoenoplectus americanus* “junco” en la costa central del Perú, implicancias para su manejo y conservación. *Científica*, 11(3), 218–229.
- Aponte, H., Ramirez, D. W., & Vargas, R. (2017). First stages of the post-fire natural regeneration of vegetation in the Ventanilla wetlands (Lima-Peru). *Ecología Aplicada*, 16(1), 23–30.
- Aponte, H., Ramirez, D. W., Lértora, G., Vargas, R., Gil, F., Carazas, N., & Liviác, R. (2015). Incendios en los humedales de la costa central del Perú, ¿una amenaza frecuente? *Científica*, 12(1), 70–81.
- Bickford, W. A., Needelman, B. A., Weil, R. R., & Baldwin, A. H. (2012). Vegetation response to prescribed fire in mid-atlantic brackish marshes. *Estuaries and Coasts*, 35(6), 1432–1442.
- Bixby, R. J., Cooper, S. D., Gresswell, R. E., Brown, L. E., Dahm, C. N., & Dwire, K. A. (2015). Fire effects on aquatic ecosystems, an assessment of the current state of the ciencia. *Freshwater Science*, 34(4), 1340–1350. <https://doi.org/10.1086/684073>
- Bradshaw, A. D. (1984). Ecological principles and land reclamation practice. *Landscape Planning*, 11(1), 35–48.
- Braswell, A. E., May, C. A., & Cherry, J. A. (2019). Spatially-dependent patterns of plant recovery and sediment accretion following multiple disturbances in a Gulf Coast tidal marsh. *Wetlands Ecology and Management*, 27(2-3), 377–392.
- Bremner, J., & Jenkinson, D. (1960). Determination of organic carbon in soil (I). *Journal of Soil Science*, 11(2), 394–402.
- Cano, A., & Young, K. R. (1998). *Los pantanos de Villa, biología y conservación*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.
- Cortina, J., Maestre, F. T., Vallejo, R., Baeza, M. J., Valdecantos, A., & Pérez-Devesa, M. (2006). Ecosystem structure, function, and restoration success: are they related? *Journal for Nature Conservation*, 14(3-4), 152–160.
- Cronk, J. K., & Fennessy, M. S. (2001). *Wetland plants, biology and ecology*. Lewis Publisher.
- Cunniff, P., & AOAC International. (1997). *Official methods of analysis of AOAC International* (16th Ed). AOAC International.
- Darrah, S. E., Shennan-Farpon, Y., Loh, J., Davidson, N. C., Finlayson, C. M., Gardner, R. C., & Walpole, M. J. (2019). Improvements to the Wetland Extent Trends (WET) index as a tool for monitoring natural and human-made wetlands. *Ecological Indicators*, 99(2019), 294–298.
- Diaz, S. X., & Molano, M. A. (2001). Cuantificación y valoración económica de la captura de CO₂ por plantaciones del género Eucaliptus establecidas por el preca en las cuencas carboníferas de Cesar, Valle del Cauca-cauca y Altiplano Cundiboyacense. *Colombia Forestal*, 7(14), 87–101.
- Davidson, N. C. (2014). How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research*, 65(10), 934–941.
- Ehrenfeld, J. G. (2008). Exotic invasive species in urban wetlands, environmental correlates and implications for wetland management. *Journal of*

- Applied Ecology*, 45(4), 1160–1169. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01476.x>
- Escutia-Lara, Y., Lara-Cabrera, S., & Lindig-Cisneros, R. A. (2009). Efecto del fuego y dinámica de las hidrófitas emergentes en el humedal de la Mintzita, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 80(3), 771–778.
- Fischer, J., Peterson, G. D., Gardner, T. A., Gordon, L. J., Fazey, I., Elmqvist, T., Felton, A., Folke, C., & Dovers, S. (2009). Integrating resilience thinking and optimization for conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 24(10), 549–554.
- Friedmann, B., Pauli, H., Gottfried, M., & Grabherr, G. (2011). Suitability of methods for recording species numbers and cover in alpine long-term vegetation monitoring. *Phytocoenologia*, 41(2), 143–149.
- Gómez-Sánchez, E., de las Heras, J., Lucas-Borja, M., & Moya, D. (2017). Ajuste de metodologías para evaluar severidad de quemado en zonas semiáridas (SE peninsular): incendio Donceles 2012. *Revista de Teledetección*, 49(2017), 103–113. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7121>
- Guillén, G., Morales, E., & Severino, R. (2003). Adiciones a la fauna de protozoarios de los Pantanos de Villa, Lima, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 10(2), 175–182.
- Gunderson, L. H. (2000). Ecological resilience: in theory and application Annual Review of *Ecology and Systematics*, 31(1), 425–439.
- Hayashi, M. & van der Kamp, G. (2007). Water level changes in ponds and lakes, the hydrological processes. In E. A. Johnson, & K. Miyinishi (Eds.), *Plant disturbance ecology, the process and the response* (pp. 311–339). Academic Press.
- Hernández, M. E. (2010). Suelos de humedales como sumideros de carbono y fuentes de metano. *Terra Latinoamericana*, 28(2), 139–147.
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., & Pidgeon, E. (2014). *Coastal blue carbon, methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows*. International Union for Conservation of Nature.
- Iannacone, J., & Alvarino, L. (2007). Diversidad y abundancia de comunidades zooplanctónicas litorales del humedal Pantanos de Villa, Lima, Perú. *Gayana*, 71(1), 49–65. <http://dx.doi.org/10.4067/S07117-65382007000100006>
- IBM Corp. (2017). *IBM SPSS Statistics for Windows* (Version 25.0). IBM Corp.
- Icochea, J. (1998). Lista roja preliminar de los anfibios y reptiles amenazados del departamento de Lima. En A. Cano, & K. Young (Eds.), *Los Pantanos de Villa, Biología y Conservación* (pp. 85–95). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.
- INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales). (1998). *Plan maestro del Refugio de Vida Silvestre Pantanos de Villa*. Ministerio de Agricultura de Lima, Perú.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2006). *Guidelines for national greenhouse gas inventories*. Cambridge University Press.
- Jones, S., Schutte, C. A., Roberts, B. J., & Thorne, K. M. (2022). Seasonal impoundment management reduces nitrogen cycling but not resilience to surface fire in a tidal wetland. *Journal of Environmental Management*, 303(2022), 114153.
- Keeley, J. E. (2009). Fire intensity, fire severity and burn severity, a brief review and suggested usage. *International Journal of Wildland Fire*, 18(1), 116–126.
- Kotze, D. C. (2013). The effects of fire on wetland structure and functioning. *African Journal of Aquatic Science*, 38(3), 237–247. <http://dx.doi.org/10.2989/16085914.2013.828008>
- León, B., Cano, A., & Young, K. R. (1995). La flora vascular de los pantanos de Villa, Lima, Perú, adiciones y guía para las especies comunes. *Serie Botánica*, 38(1995), 1–39.
- Lértora, G. (2015). Incendio en el humedal de Villa, lecciones por aprender. *Científica*, 12(2), 154–162.
- Mitra, S., Wassmann, R., & Vlek, P. (2005). An appraisal of global wetland area and its organic carbon stock. *Current Science*, 88(1), 25–35.
- Mitsch, W. J., & Gosselink, J. (2015). *Wetlands* (5th Ed). John Wiley and Sons.
- Pacheco, V., Zevallos, A., & Cervantes, K. (2015). Mamíferos del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa, Lima-Perú. *Científica*, 12(1), 26–41.
- Paredes, W. (2012). *Spiders from Pantanos de Villa reserved zone (Lima, Perú)*. Lap Lambert Academic Publishing.
- Passos, T. R. G., Adriana, A. G., Nóbrega, G. N., Otero, X. L., & Ferreira, T. O. (2016). Comparison of the quantitative determination of soil organic carbon in coastal wetlands containing reduced forms of Fe and S. *Geo-Marine Letters*, 36(2016), 223–233.
- Pereira, P., Bodí, M. B., & Balfour, V. (2011). Cuando acaban las llamas y el humo. *Métode. Science Studies*, 70(2011), 89–94.
- Pulido, V. (1998). La zona reservada de los pantanos de Villa en el contexto de la conservación de los humedales en el Perú. En A. Cano, & K. Young (Eds.),



- Los pantanos de Villa, biología y conservación* (pp. 147–159). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.
- QGIS Development Team. (2016). *Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project* (Version 2.14.2). [www.http://qgis.osgeo.org](http://qgis.osgeo.org)
- Ramirez, D. W., & Cano, A. (2010). Estado de la diversidad de la flora vascular de los Pantanos de Villa (Lima - Perú). *Revista Peruana de Biología*, 17(1), 111–114.
- Ramirez, D. W., Aponte, H., Lértora, G., & Gil, F. (2018). Incendios en el humedal Ramsar Los Pantanos de Villa (Lima-Perú), avances en su conocimiento y perspectivas futuras. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(1), 347–360.
- Ramsar (Convención de Ramsar sobre los Humedales). (2018). *Perspectiva mundial sobre los humedales: Estado de los humedales del mundo y sus servicios a las personas*. Gland (Suiza). Secretaría de la Convención de Ramsar. https://www.ramsar.org/sites/default/files/flipbooks/ramsar_gwo_spanish_web.pdf
- Rocha, M., Santos-Júnior, C. C., Damasceno-Júnior, G. A., Pott, V. J., & Pott, A. (2015). Effect of fire on a monodominant floating mat of *Cyperus giganteus* Vahl in a neotropical wetland. *Brazilian Journal of Biology*, 75(1), 114–124.
- Rocheffort, L., Isselin-Nondedeu, F., Boudreau, S., & Poulin, M. (2013). Comparing survey methods for monitoring vegetation change through time in a restored peatland. *Wetlands Ecology and Management*, 21(1), 71–85.
- Salvia, M., Ceballos, D., Grings, F., Karszenbaum, H., & Kandus, P. (2012). Post-fire effects in wetland environments: landscape assessment of plant coverage and soil recovery in the Parana River Delta Marshes, Argentina. *Fire Ecology*, 8(2), 17–37.
- SERNANP (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado). (2009a). *Informe 006-2009 incendio en Sector Sur del Refugio de Vida Silvestre los Pantanos de Villa*. SERNANP, Perú.
- SERNANP (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado). (2009b). *Informe 003-2009 incendio en Sector Sur del Refugio de Vida Silvestre los Pantanos de Villa*. SERNANP, Perú.
- SERNANP (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado). (2014). *Informe 030-2014 de evaluación sobre superficie afectada por el incendio al interior del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa*. SERNANP, Perú.
- Smith, S. M., Newman, S., Garrett, P. B., & Leeds, J. A. (2001). Differential effects of surface and peat fire on soil constituents in a degraded wetland of the northern Florida Everglades. *Journal of Environmental Quality*, 30(6), 1998–2005.
- Van der Valk, A. G. (2007). Development of post-disturbance vegetation in prairie wetlands. In E. A. Johnson, & K. Miyinishi (Eds.), *Plant disturbance ecology: the process and the response* (pp. 353–379). Academic Press.
- Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R., & Kinzig, A. (2004). Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society*, 9(2), 5.
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1934), 29–38.
- Young, K. (1998). El ecosistema. En A. Cano, & K. Young (Eds.), *Los Pantanos de Villa, biología y conservación* (pp. 03–20). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.
- Zhang, G., Yu, X., Li, Y., Liu, Y., Zhang, H., Jia, Y., & Xia, S. (2019). Effects of burning on carbon utilization of soil microorganisms and plant growth of *Carex breviuspis* communities at Lake Poyang wetlands, China. *Wetlands*, 39(2019), 1–15.