

PROPUESTA DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN SITIOS CON DOMINANCIA DE *Acrotrichum aureum*, PARA RECUPERAR LA COBERTURA DE MANGLE

El diseño que se ha establecido para aplicar las técnicas de restauración, en un bosque de mangle desplazado por *Acrotrichum aureum* Linn, consecuencia de los cambios en la hidrología, dinámica de los sedimentos y calidad del agua a través de los años; se fundamenta principalmente, en reestablecer los intervalos de las condiciones físicas (hidroperíodo y distribución micro topográfica) y químicas (salinidad y potencial redox), fuera de los límites mínimos y máximos de tolerancia de las plantas de *A. aureum*; pero lo más cercanos, a los intervalos óptimos de las especies de mangle que se registran en áreas adyacentes al sitio por restaurar. Esto mediante la creación de **escenarios** con frecuencia y amplitud de inundación y tiempo de residencia del agua menores, mayor tiempo de desecación e influencia marina; y por ende, mayores fluctuaciones en las concentraciones de la salinidad, de lo registrado actualmente. Lo anterior, basado en las respuestas fisiológicas que exhiben las plantas de *A. aureum* a los cambios ambientales que se proponen crear; tales como, la disminución de la tasa fotosintética y germinación de los gametofitos, así como variación en la presión osmótica del agua en el tejido ante las condiciones que se proponen generar, principalmente conforme aumente la salinidad y el tiempo de exposición de este parámetro y la inundación.

Es relevante mencionar, que la restauración que se propone se considera como “*restauración activa*” (Warner *et al.* 2012), pues el sitio seleccionado ha sido perturbado seriamente por las diversas actividades humanas y eventos hidrometeorológicos a lo largo de tiempo; y por ello, se requiere las acciones del hombre mediante técnicas de ecología e ingeniería, para retornar la estructura y función del ecosistema lo mas cercano posible a un escenario preexistente. Sin embargo, este tipo de restauración es más compleja, costosa y con menor grado de éxito, por la imposibilidad de eliminar el factor de estrés, comparado con la “*restauración pasiva*” donde solo se requiere eliminar el factor de estrés (Warner *et al.* 2012; Agraz Hernández *et al.* 2007). A su vez es esencial considerar que el desarrollo tecnológico que se propone probar en el sitio a restaurar, deberá manejarse a escalas experimentales (piloto); inicialmente, con el fin de definir el factor-respuesta e intervalo, reconocer las condiciones preexistentes y optimizar la técnica en un diseño de mayor control; para incrementar el conocimiento, el éxito y la optimización de los recursos. Lo anterior, con el objetivo de implementar a mayor escala en futuro cercano programas de restauración. Asimismo, es necesario definir dentro del desarrollo tecnológico la generación del conocimiento, desde una línea base para el entendimiento de las respuestas fisiológicas de los manglares, con diferentes grados de conservación y especies en relación a las condiciones ambientales. Situación que se implementará con el monitoreo del bosque de mangle que se establezca como referencia durante la restauración.

Por otra parte, es importante mencionar que los costos de la restauración a nivel mundial son muy variables, dependiendo de los precios de los materiales, pago de jornal y desplazamiento al sitio de restauración (navegación_vía terrestre_distancia), dependiendo del número de hectáreas, el tipo de impacto y el tiempo que ha transcurrido después este. El nivel de conocimiento que se disponga del sitio y especies, además del número de años que contemple cada restauración. Con respecto a los costos de restauración, estos difieren a

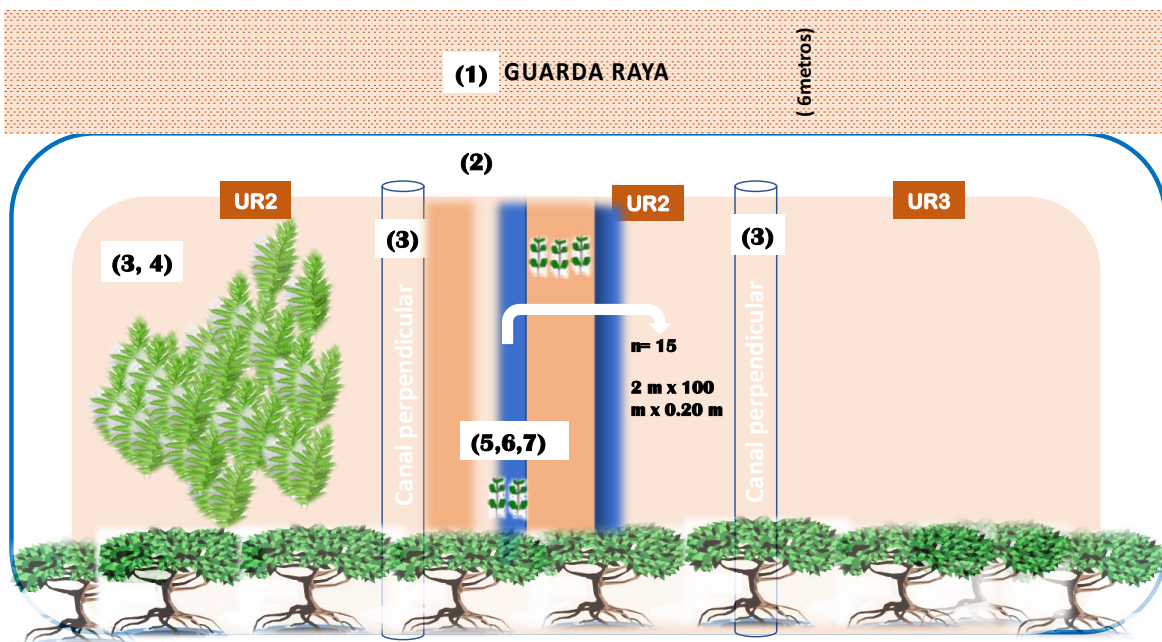
partir de las técnicas que se asignen “*ad hoc*” a cada sitio,” justo a la medida”, para incrementar el éxito de la restauración. Al respecto, a nivel internacional se han desarrollado restauraciones con costos desde \$34 dólares ha⁻¹ hasta \$216,000 dólares ha⁻¹ en países como Malasia, Tailandia, Estados Unidos, Honduras y México (Chan, 1996; Teas, 1977; Lewis 1982; Reyes y Tovilla, 2002; Agraz Hernández et al. 2010). Ejemplo de ello, son los programas de restauración que se han efectuado en México, donde dependiendo de las técnicas aplicadas, se han cotizado desde \$2,700 dólares ha⁻¹ hasta \$10,000 dólares ha⁻¹ donde se contemplo la excavación de canales (rehabilitación hídrica), la reforestación por voleo, *in situ* o mediante la producción de plántula bajo condiciones de vivero, con costos promedio de \$13,500 dólares ha⁻¹ (Agraz Hernández *et al.* 2017). Sin incluir técnicas hídricas que apoyen al control de las especies invasoras y la remoción de estas, sin eliminar los factores de estrés; donde estos incrementan considerablemente los costos de restauración, sumado con la generación del conocimiento y la prueba piloto para adecuar las técnicas al sitio. Cabe destacar que el costo beneficio de cualquier tipo de restauración para recuperar la cobertura de mangle, se basa en retornar los servicios ecosistémicos que provee estos ecosistemas a mediano y largo plazo. Al respecto, el IPCC (2014) indica que a nivel internacional se reconoce la gran capacidad que tienen los manglares para secuestrar carbono, 4 veces mayor a otros ecosistemas forestales (Alongi, 2012), debido a su alta productividad expresada en biomasa, producto de la fotosíntesis, así como por la baja tasa de degradación de la materia orgánica que presentan estos ecosistemas, con respecto a los terrestres e incluso otros humedales (Pendleton *et al.*, 2012; Ademe *et al.* 2015); ofreciendo con ello muchos servicios ecosistémicos, como la exportación del material defoliado (materia orgánica), que funciona como alimento para comunidades de peces de gran valor comercial (Giri *et al.* 2011). Asimismo, derivado de la gran capacidad que los suelos de mangle presentan para almacenar carbono, participan en la mitigación de los efectos del cambio climático (Kauffman *et al.* 2013).

Ante lo expuesto, resulta innovador el desarrollo de esta propuesta, pues no solo generará línea base de los parámetros fisicoquímicos del agua intersticial y del comportamiento hidrológico en un bosque de mangle con presencia de las especies características del humedal de Terraba Sierpe; sino también, el tener la oportunidad de aplicar técnicas que pudiesen ser optimizadas a baja escala, para que en un futuro pudiesen ser aplicadas a gran escala considerando el desplazamiento de las especies invasoras, la recuperación de la cobertura de mangle y los servicios ecosistémicos. Esto mediante una visión integral, considerando el estrés que actualmente enfrenta todo el humedal de Terraba Sierpe. Pues hay que recordar que la ecología de la restauración es considerada como una ciencia que desarrolla y prueba teorías para guiar a la restauración ecológica. Es relevante mencionar, que el éxito del programa de restauración y la permanencia de la cobertura de mangle que se recupere, estará en función de las acciones que el Gobierno de Costa Rica lleve a cabo a través del tiempo, principalmente en el manejo de la calidad del agua, regulación de los asentamientos urbanos, deforestación y autorizaciones de apertura de canales de navegación con un previo estudio integral-hídrico.

Desarrollo técnico de la propuesta de restauración: Con la finalidad de establecer barreras físicas que impidan la regeneración de los individuos de *A. aureum*, y se restauren las condiciones hidrológicas, propias de las especies de mangle que cohabitaban en el área a restaurar; se efectuará la excavación de un canal artificial perimetral de 2 m de ancho x 1.0

m de profundidad x 800 m de largo, dividido por dos canales perpendiculares de 2 m de ancho x 1 m de profundidad x 100 m de largo cada uno; todo ello en una área total de 6 ha y un total 2,400 m³ (**Figura 1**). Los canales establecerán condiciones hídricas continuas de flujo y reflujo, con mayor amplitud de inundación, con respecto a la condición actual. En cada unidad se llevarán a cabo actividades de tumba y mataraza durante la época de menor precipitación; posteriormente, se quemarán los individuos de *A. aureum* y extraerá el sistema radicular de estos. Previo a ello, se hará una guarda raya con un ancho de 6 m x 800 m de largo, con un total de 4800 m², con la finalidad de evitar la propagación del fuego, durante la quema de los individuos de *A. aureum*. Posteriormente, se llevará a cabo la nivelación de la topografía, mediante la excavación de 15 zanjas de 2 m de ancho x 0.20 m de profundidad x 100 m de largo, por unidad, intercaladas por una sección de 4 m de ancho; 45 en total por las 6 ha (**Figura 1**). En cada unidad serán reforestadas aproximadamente 4,444 plántulas de *Laguncularia racemosa* o la especie que se determine con base a la distribución microtopográfica de las diferentes especies de mangle que se registren en el bosque de referencia. La nivelación microtopográfica se llevará a cabo de manera simultánea durante la excavación de los canales, mediante la dispersión de los sedimentos extraídos.

Las plántulas serán producidas en condiciones de vivero bajo productos biorracionales, que no contaminan el ambiente. Debido a que estos productos proveen las mejores condiciones, de nutrimento, oxigenación radicular y humedad, para optimizar el crecimiento y fortalecer el sistema radicular de las plántulas durante la estancia en el vivero. De la misma manera, para las secciones de 4 m, se establecerá la especie por reforestar con base al análisis microtopográfico o de ser el caso se dejará descubierto para que la regeneración natural del mismo sitio, lo invadan con especies endémicas (**Figura 1**).



Este diseño podría tener ajuste dependiendo de los resultados microtopográficos y comportamiento del cauce del río. UR#: Unidad de restauración de 2 ha.

Figura 1. Diseño del desarrollo tecnológico del área de restauración.

Diagnóstico y seguimiento: de manera simultanea, se llevará a cabo antes y posterior a la restauración los análisis fisicoquímicos del sedimento. Así como, el monitoreo de los parámetros fisicoquímicos del agua intersticial.

Beneficios sociales: durante el desarrollo de la restauración se verá beneficiada la comunidad con el pago de jornales, pues se contratarán para la excavación de los canales y nivelación topográfica, construcción de guarda raya, tumba y mataraza, quema, producción de plántula en vivero, reforestación y durante el monitoreo ambiental.

El pago de jornal se cálculo por dia \$10,000 colones día⁻¹ de 5 a 7 horas, incluyendo el descanso para alimentos.

Los costos estimados por hectárea, para la restauración son de € 31.504,00

Actividad	Costo en EUROS
Guarda raya	\$ 5,031.00
Tumba y mataraza	\$ 42,957.00
Quema	\$ 2,580.00
Extracción del sistema radicular	\$ 9,675.00
Excavación del canal perimetral y canales intermedios	\$ 3,870.00
Herramientas	\$ 5,600.00
Vivero, incluyendo la reforestación	\$ 13,884.27
Combustible y transporte acuático	\$ 11,700.40
TOTAL	\$ 94,513.67

ASPECTOS AMBIENTALES POR CONSIDERA

Cabe destacar que derivado de las actividades que se plantean desarrollar para la restauración en cuestión, se considera que esta debe estar exenta de una manifestación de impacto ambiental, pues se demuestra que su ejecución no causará desequilibrios ecológicos. Puesto que el proyecto no ocasionará impactos negativos hacia los elementos suelo, fauna, agua, atmósfera y vegetación; al contrario con la restauración y el mejoramiento hidrológico del sitio, se mejorará las condiciones ambientales, recuperará los servicios ecosistémicos e incrementará la cobertura vegetación, como ya fue mencionado con anterioridad. Asimismo, no se generará impactos adversos que atenten contra los recursos naturales en el área y hacia humedales adyacentes, por lo que se considera que el proyecto es viable de desarrollarse en el sitio propuesto y quedar exento de la presentación de la manifestación de impacto.

Figura 1. Diseño de las unidades de restauración, estableciendo canales artificiales, planicies de inundación y disminución del nivel topográfico para la reforestación de *Laguncularia racemosa* (como especie potencial). UR#: Unidad de restauración de 2 ha. **1)** Guarda raya; **2)** Excavación de un canal perimetral; **3,4)** Tumba y matarraza; **4)** Quema; **5)** Nivelación topográfica; **6)** Reforestación; **7)** Monitoreo.

Mes/año	Nov. 2018	Ene	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agost	Sept	Oct	Nov
Diagnóstico ambiental	X											
Guarda raya		X										
Excavación del canal perimetral e internos		X										
Tumba y matarraza		X										
Quema de Negra Forra												
Nivelación topográfica, en zonas de reforestación		X										
Vivero, incluyendo la reforestación						X			X			

Referencias

- Adame, M. F., Hermoso, V., Perhans, K., Lovelock, C. E., & Herrera-Silveira, J. A. (2015). Selecting cost-effective areas for restoration of ecosystem services. *Conservation Biology*, 29(2), 493-502.
- Agraz-Hernández, C. M., J. Osti., J. Jiménez., C. García., R. Arana., E. Chan., L. González., A. Rodríguez. 2007. Restauración con manglar: Criterios y técnicas hidrológicas, de reforestación y forestación. Universidad Autónoma de Campeche, Comisión Federal de Electricidad, Comisión Nacional Forestal. ISBN: 968-5722-54-4. 132 p.
- Agraz Hernández C.M.; Arriaga V. 2010. Restauración del manglar en la Laguna de Términos. En: Carabias J., Sarukhán, de la Maza J., Galindo Leal C. (editores). Patrimonio Natural de México. Cien Casos de Éxito. CONABIO. SEMARNAT. 150-154 pp.
- Agraz Hernández CM, Osti Sáenz J, Reyes Castellano J., Martínez Muñoz G., Chan Keb C, Expósito Díaz, G., Conde Medina KP. “Restauración Ecológica en el Ecosistema de manglar en la zona aledaña al Centro de Comunicación y Cultura de la Conservación (CCCC) Isla Jaina, mediante el empleo de modelos de circulación hidrodinámica en el Municipio de Hecelchakán, Campeche en 1277 ha”. Comisión Nacional Forestal, Universidad Autónoma de Campeche. 2012-2022
- Alongi, D. M. (2012). Carbon sequestration in mangrove forests. *Carbon management*, 3(3), 313-322.
- Chan, H. T. (1996). Mangrove reforestation in Peninsular Malaysia: a case study of Matang. *Restoration of Mangrove Ecosystems. International Society for Mangrove Ecosystems, Okinawa, Japan*, 64-75.
- Chargoy, M. A. R., & Hernández, C. T. (2002). Restauración de áreas alteradas de manglar con *Rhizophora mangle* en la costa de Chiapas. *Madera y Bosques*, 8, 103-114.
- Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L. L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., ... & Duke, N. (2011). Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20(1), 154-159.

IPCC. 2014. *Supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. Hiraishi W., T. Krug, K. Tanabe, N. Srivastava, J. Baasansuren, M. Fukuda y T. G. Troxler (eds). Published: IPCC, Switzerland. 354 p.

Kauffman, J. Boone, Daniel C. Donato, and María Fernanda Adame. *Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares*. Vol. 117. CIFOR, 2013.

Lewis, R.R. 1982. Mangrove forests. Pp. 153-172. In: R.R. Lewis (Ed.). *Creation and restauración of Coastal Plant communities*. CRC Press, Boca Raton, Florida USA.

Pendleton, L., Donato, D. C., Murray, B. C., Crooks, S., Jenkins, W. A., Sifleet, S., ... & Megonigal, P. (2012). Estimating global “blue carbon” emissions from conversion and degradation of vegetated coastal ecosystems. *PloS one*, 7(9), e43542.

Teas, H. J. (1977). Ecology and restoration of mangrove shorelines in Florida. *Environmental Conservation*, 4(1), 51-58.

Warner, B.G.; C.M. Agraz-Hernández; F.J. Flores-Verdugo (1999). *Creación y restauración de humedales. Manual para el Manejo y la Conservación de los humedales en México*. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP. US. Fish & Wildlife Service. Wetlands International. Arizona Game & Fish. ISBN 968-7464-01-1.