

PROCESOS DE DESCOMPOSICIÓN Y RETENCIÓN DE NUTRIENTES EN MANGLARES. UNA APROXIMACIÓN DESDE LA COMPLEJIDAD

Decomposition processes and nutrient retention in mangroves. An approach from complexity

Arturo Barrios

Universidad Central de Venezuela.
arturo.barrios@ucv.ve

RESUMEN

El ecosistema de manglar se forma en el límite entre la tierra y el mar, donde los bosques de mangles se caracterizan por tener árboles que poseen adaptaciones morfológicas y fisiológicas especiales para sobrevivir. Entre sus procesos se destaca su capacidad de captar y retener la materia orgánica. Dada su importancia, el presente trabajo plantea analizar algunos aspectos que afectan la productividad del ecosistema, como son los mecanismos de descomposición de materia orgánica, para así poder valorar los procesos ecológicos que se desenvuelven en los espacios del manglar. Para cumplir con este objetivo se desarrolló una investigación cualitativa, descriptiva de corte documental, con énfasis en los mecanismos de descomposición y retención de la materia orgánica. Como resultado se observó que hay un equilibrio y participación de los organismos que comparten el ambiente, partiendo desde la vegetación que favorece la comunidad heterotrófica por medio de la productividad primaria, a una trama compleja donde especies de herbívoros, detritívoros y carnívoros favorecen en la recolección de materia orgánica, a la vez que participa en la mecánica del suelo y del reciclaje de nutrientes a través de la comunidad microbiana. Finalmente se concluye que esta dinámica entre la producción y descomposición de materia orgánica sugiere un proceso complejo y escalonado, en donde el sustrato es transformado a una serie de componentes que son mineralizados y recuperados por parte de las plantas, y de donde se pueden observar como los procesos y relaciones ecológicas entre plantas, microorganismos y nutrientes aumenta la complejidad del sistema.

Palabras clave: comunidad detritívora, comunidad microbiana, procesos de descomposición, reciclaje de nutrientes, retención de nutrientes.

Keywords: detritus community, microbial community, decomposition processes, nutrient recycling, nutrient retention

INTRODUCCIÓN

Un concepto muy utilizado en áreas como la física y la biología es el que corresponde a los sistemas complejos. Este puede ser interpretado como un conjunto de elementos, cada uno capaz de interactuar con otros a través de reglas locales simples o mediante un nivel de organización inferior, que pueden dar surgimiento a propiedades emergentes caracterizados por una dinámica no lineal, con posibles bucles de retroalimentación (o feedback-loops) con el ambiente, produciendo un nivel de organización superior (Goodwin, 1994; Solé y Manrubia, 1996; Nicolis y Nicolis, 2012; Griffon *y col.*, 2015; Fuentes, 2018).

En este orden de ideas, la ecología no se escapa de ser evaluada bajo este enfoque no reduccionista y profundiza su investigación para dar detalle a las características y procesos de su objeto de estudio. En este caso,

se plantea como objetivo analizar algunos aspectos sobre los mecanismos de descomposición de materia orgánica, bajo el enfoque de sistema complejo, para así identificar variables y poder valorar los procesos ecológicos que se desenvuelven entorno al mantenimiento y nutrición de los suelos en los ecosistemas de manglar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplir con este objetivo se desarrolló una investigación cualitativa, descriptiva de corte documental, con énfasis en los mecanismos de descomposición y retención de la materia orgánica, de donde se destacaron componentes y se establecieron conexiones con el ecosistema manglar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primer lugar, uno de los factores que caracteriza la complejidad de los estuarios y los bosques de mangle que se desarrollan en éstos, es la concurrencia del mar y la tierra, que organiza una diversidad de hábitats que están sometidos a una alta inestabilidad espacio-temporal, debido a las condiciones únicas, producto de las características fisicoquímicas y fisiográficas del paisaje, donde se retroalimentan y se mantienen comunidades acuáticas y terrestres (Huaylinos *y col.*, 1983).

Como señalan Huaylinos *y col.* (1983), la heterogeneidad espacial y temporal es determinado por las condiciones creadas y mantenidas por factores a gran escala, entre los que resaltan los procesos de sedimentación del suelo, el arrastre de partículas y el patrón de flujo y almacenamiento de agua, afectan, entre otros, a las condiciones del ambiente acuático, a la cobertura vegetal, así como a la distribución horizontal y vertical de las comunidades presentes. Estos cambios a su vez responden a diferencias en el potencial biótico y la resistencia ambiental a los cambios de sus componentes.

En este orden de ideas, dentro de esta combinación de variedades de poblaciones se destaca el bosque del manglar que se resalta por tener una alta productividad primaria, capaz sostener dos tramas tróficas principales y resumidas como la ruta de la herbivoría (donde las plantas son el alimento de los herbívoros y estos a su vez el de los carnívoros) y la ruta detritívora, donde la biomasa muerta y fecal es el alimento de los organismos detritívoros y descomponedores, degradando estos compuestos hasta elementos nutritivos inorgánicos y que son recuperados por el sistema de las plantas (Lugo y Snedaker, 1974; Swift *y col.*, 1979; Twilley *y col.*, 1986; McKee, 1996; Bastardo, 1999; Kathiresan y Bingham, 2001; Bastardo, 2005; Alongi *y col.*, 2005; Kristensen *y col.*, 2008; Twilley *y*

Day, 2013; Saifullah *y col.*, 2015; Mendoza-Morales *y col.*, 2016). De manera que sistemáticamente surge un ciclo entre la productividad primaria, los procesos de descomposición y el reciclaje de nutrientes en el ecosistema.

Características generales del proceso de descomposición. Al hacer énfasis en el proceso de descomposición se puede detallar que esta transformación puede ser explicada a través de diferentes fases: (i) primero en el lavado, cuando se produce la pérdida de materia soluble, permitiendo la salida de compuestos orgánicos e inorgánicos de estructura poco complejas, que posteriormente es captado por el suelo o por otros organismos descomponedores; seguido de esto está (ii) la conminución, cuando la materia orgánica vegetal se reduce su tamaño por la fragmentación, producto de la acción de los factores físicos en el ambiente al igual que por la manipulación de organismos detritívoros, incluyendo procesos de ingestión, causando cambios en la composición física y química del material vegetal, lo que facilita la colonización microbiana y catabolismo celular; finalmente (iii) en el catabolismo, cuando se genera una serie de cambios en los componentes orgánicos complejos de la estructura vegetal por la acción de la actividad enzimática de microorganismos, al degradar y transformar la materia orgánica a moléculas sencillas, que luego puede ser atrapado en el suelo o en el humus o continuar su transformación hasta un estado disponible para su captación por las plantas y en consecuencia para el resto de la trama trófica. Este último grado de transformación corresponde a la mineralización, cuando la degradación llega a las formas más simples e inorgánicas de un elemento, así mismo se señala el proceso de inmovilización que ocurre cuando el elemento nutritivo es incorporado a la biomasa de un organismo (Swift *y col.*, 1979; Bastardo, 1999; Peña, 1996; Kathiresan y Bingham, 2001; Begon *y col.*, 2006).

Propiedades emergentes y aumento de la complejidad en el proceso de descomposición. Adicionalmente, la sinopsis antes mencionada resume un proceso altamente complejo que se ajusta a la definición de propiedad emergente, debido a que la misma esconde fenómenos que poseen características novedosas, que dependen de principios más básicos, pero que responden a un nivel de organización superior del sistema que la genera (Goodwin, 1994; Griffon *y col.*, 2015; Fuentes, 2018).

Por ejemplo, dada la naturaleza e interconexión con otros ecosistemas, los manglares pueden ser vistos como un sistema abierto que retroalimenta al ecosistema terrestre y al acuático que lo compone. Donde, por un lado, acepta aportes de agua y minerales, y por el otro, recibe grandes cantidades de materia orgánica, de origen animal y de origen vegetal por la diversidad de especies que interactúan con los bosques de mangle (Lugo y Snedaker, 1974; Mackey y Smail, 1996). Donde la conectividad y dinámica interna del ecosistema acuático influye en la

variabilidad de las condiciones del manglar; produciendo cambios en las propiedades físicas y químicas del agua, por ejemplo en los sustratos, a través de cambios en la disponibilidad de nutrientes y en el oxígeno, así como en la calidad del sedimento y el pH, llegando además a definir el flujo y mantenimiento de la materia orgánica dentro y fuera del ecosistemas (Twilley *y col.*, 1986; Peña, 1996; Holguin *y col.*, 2001; Alongi, 2002; Poi de Neiff *y col.*, 2006; Ghizelini *y col.*, 2012).

Sumado a esto, la comunidad animal posee una compleja intervención en el ecosistema acuático, donde cumplen con múltiples funciones y se relacionan con diferentes niveles tróficos afectando el flujo de materia y energía. En este orden de ideas, se han registrado ejemplos en el que cangrejos intervienen en la modificación de la hojarasca con el transporte y uso de la misma en sus madrigueras, cambiando la estructura y composición del suelo. De esta manera las estructuras mencionadas favorecen la creación de microhabitats que enriquecen los suelos en carbono y nutrientes, así como sirven para aumentar la superficie de interface agua – sedimento, conservando espacios aireados y aptos para la descomposición microbiana, lo que permite el flujo de productos nitrogenados y favorece la incorporación de nutrientes en la comunidad vegetal (Smith *y col.*, 1991; Twilley *y col.*, 1997; Vopel y Hancock, 2005; González *y col.*, 2015).

Finalmente, la comunidad microbiana es de gran importancia en los procesos de descomposición y procesos biogeoquímicos. Siendo responsable en intervenir en la disponibilidad de nutrientes para el resto de la trama trófica, principalmente por las capacidades metabólicas de la misma para transformar sustancias complejas hasta moléculas sencillas, participando así desde la nutrición y la salud vegetal hasta la estructuración y en la fertilidad del suelo (Zack *y col.*, 1994; Antia, 1995; Crawford, 1995; Lodge, Hawksworth y Ritchie, 1996; Atlas y Bartha, 2002; Bastardo, 2005; Holguin, Vásquez y Bashan, 2001; Kirk *y col.*, 2004; Gobalakrishnan *y col.*, 2014; Malaver *y col.*, 2014b). Sin embargo, este componente microbiológico es altamente sensible a las condiciones fisicoquímicas del ambiente acuático y terrestre, lo que se infiere que cambios en esta puede afectar desde tramas tróficas hasta relaciones de uso del hábitat (Lodge, Hawksworth y Ritchie, 1996; Alongi, 2002; Kirk *y col.*, 2004; Ghizelini *y col.*, 2012; González *y col.*, 2015).

Algunas otras variables que afecta el proceso de descomposición.

En este sentido se puede observar que la dinámica del ecosistema es compleja y fluctuante, partiendo de variables en los factores abióticos del ambiente, como la calidad del agua y sedimentos, disponibilidad oxígeno y nutrientes, entre otros. Este, a su vez, afecta al componente biótico, con cambios en la composición de especies que se establecen en la región, incluyendo a los organismos detritívoros, descomponedores y en especial a la diversidad de microorganismos heterotróficos que ataca y coloniza los diferentes sustratos a degradar y reciclar. Seguido a esto, hay que sumar

otras variables que aumenta la heterogeneidad del sistema, como puede ser la complejidad de la materia orgánica que ingresa al mismo, en función de aspectos como la cantidad de compuestos solubles y compuestos complejos; incluyendo azúcares digeribles, hemicelulosa, lignina, compuestos aromáticos, que nuevamente se relacionan con la tasa de descomposición y la capacidad de recuperar nutrientes en el ecosistema (Swift *y col.*, 1979; Lodge *y col.*, 1996; Bastardo, 1999; Poi de Neiff *y col.*, 2006; Begon *y col.*, 2006; Fioretto *y col.*, 2008).

Siguiendo con este orden de ideas, se tienen otras variables que influyen en la tasa de descomposición. Como es la estructura vertical de la columna de agua que segmenta la comunidad microbiana y los procesos metabólicos en aeróbicos y anaeróbicos, siendo predominante esta última en condiciones sumergidas. De esta manera, se distribuyen los organismos que dependen de la materia orgánica según variables como la disponibilidad de aceptores de electrones en la región aeróbica y anaeróbica, la concentración y complejidad de la materia, diferenciando la comunidad que se conforma cuando los compuestos entran en el sistema, de la comunidad que se establece cuando hay mayor grado de degradación (Alongi *y col.*, 1993; Holguin *y col.*, 2001; Reddy y DeLaune, 2008; González *y col.*, 2015).

De lo antes planteado, debido a la complejidad del sustrato, junto con la estrategia reproductiva y capacidad metabólica por parte de la comunidad microbiana, se sugiere la acción conjunta de poblaciones al coexistir las especies utilizando diferentes recursos y ocupando diferentes nichos, así como a través de la colonización y el desplazamiento de especies por medio de una sucesión ante el cambio de la calidad del sustrato (Swift *y col.*, 1979; Lodge *y col.*, 1996; Bastardo, 1999; Begon *y col.*, 2006; Poi de Neiff *y col.*, 2006; Fioretto *y col.*, 2008).

Estas diferencias pueden determinar la participación de los microorganismos al ser prolongada o momentánea. Así, sustancias solubles en agua y otros compuestos orgánicos simples son los primeros en ser liberados en la descomposición y en favorecer el crecimiento de los microorganismos de rápido crecimiento. En consecuencia, resaltan las bacterias que son de pequeño tamaño y poseen una estrategia reproductiva rápida que les permiten alcanzar elevadas densidades en poco tiempo. Seguido a estos, los hongos se diferencian por poseer diez veces el tamaño de las bacterias, reproducirse por espora y poseer hifas que les permiten penetrar y atacar moléculas más complejas del sustrato vegetal (Swift *y col.*, 1979; Bastardo, 1999; Fioretto *y col.* 2008).

CONCLUSIONES

A modo de resumen, los manglares son ecosistemas que surgen en condiciones únicas en relación al flujo de la materia y energía. Sus características físicas y la composición de especies agregan aspectos para

reflexionar su naturaleza de sistema complejo. Sin embargo, haciendo énfasis en el proceso de descomposición, éste es clave para el reciclaje y mantenimiento de nutrientes en el ecosistema. De ahí la necesidad de estudiar como la tasa de descomposición se relaciona con numerosas variables, entre ellas la presencia y la actividad microbiana, las cuales son sensibles a variables bióticas y abióticas que sirven a su vez como indicador del estrés ambiental.

Aun así, la descomposición de la materia orgánica es una característica continua del sistema y permite el reciclaje de la misma dentro del ecosistema, demostrando una gran capacidad de resiliencia a pesar de los cambios (Bastardo, 1999; Kathiresan y Bingham, 2001; Holguín *y col.*, 2001), así como manifiesta una necesidad de monitoreo para garantizar los procesos ecológicos y el mantenimiento de actividades humanas asociadas al ecosistema.

LITERATURA CITADA

- Alongi, D. M., P. Christoffersen y F. Tirendi. 1993. The influence of forest type on microbial-nutrient relationships in tropical mangrove sediments. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 171 (2): 201–223. Doi: 10.1016/0022-0981(93)90004-8.
- Alongi, D. M., B. F. Clough y A. I. Robertson. 2005. Nutrient-use efficiency in arid-zone forests of the mangroves *Rhizophora stylosa* and *Avicennia marina*. *Aquatic Botany* 82(2): 121–131. Doi: 10.1016/j.aquabot.2005.04.005.
- Alongi, D. M. 2002. Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation* 29 (03): 331–349. Doi: 10.1017/S0376892902000231.
- Antía, A. 1995. Estudio ecológico de las comunidades microbianas heterotróficas de un suelo en condiciones naturales y sometido a manejo agrícola. Tesis Doctoral, Universidad Central de Venezuela – Facultad de Ciencias, Venezuela.
- Atlas, R. y R. Bartha. 2002. *Ecología Microbiana y Microbiología Ambiental*. 4ta. Edición. Editorial Addison Wesley. España.
- Bastardo, H. 1999. El proceso de descomposición y su importancia ambiental. Trabajo de Ascenso, Universidad Central de Venezuela. Caracas – Venezuela.
- Bastardo, H. 2005. Algunos aspectos del proceso de descomposición y la microbiología Ambiental. *Acta Biol. Venez.* 25(1-2): 91–97.
- Begon, M., C. R. Townsend y J. L. Harper. 2006. *Ecology: From Individual to Ecosystems*. 4ta Edición. Blackwell Publishing. Oxford. Reino Unido.
- Crawford, R. 1995. Preface. En *Bioremediation: Principles and Applications (Biotechnology Research)* (R. Crawford y D. Crawford, Eds.). Cambridge University Press. New York. Estados Unidos. Págs.: 1 – 12.
- Fioretto, A., S. Papa, A. Pellegrino y A. Fuggi. 2008. Leaf Litter Decomposition Dynamics in Mediterranean Area. En: *Soil Ecology Research Developments* (Tian-Xiao Liu, Eds.). Nova Science Publishers, Inc. ISBN: 978-1-60021-971-9. pp: 31 – 61.

- Fuentes, M. A. 2018. Complejidad, emergencia y cambio teórico. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina
- Ghizelini, A. M., L. C. S. Mendonça-Hagler y M. Andrew. 2012. Microbial diversity in Brazilian mangrove sediments - A mini review. *Brazilian Journal of Microbiology* 43(4): 1242-1254. Doi:10.1590/S1517-83822012000400002
- Gobalakrisnan, R., C. Aarthi, K. Kamala, K. Sivukumar y L. Kannan. 2014. Seasonal variations in the culturable diversity and population density of the total heterotrophic and pathogenic bacteria, in the coastal waters of the Andaman Sea, India. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences* 43(8).
- González, E. J., N. Malaver y J. A. Naveda. 2015. Los ecosistemas acuáticos y su conservación. En: *Agua en Venezuela: Una Riqueza Escasa* (A. J. Gabaldón, A. Rosales, E. Buroz, J.R. Córdova, G. Uzcátegui y L. Iskandar, Eds.). Fundación Empresas Polar. Caracas - Venezuela. ISBN 978-980-379-354-8. Cap 6: 189-254.
- Goodwin, B. 1994. *How the Leopard Changed Its Spots: The Evolution of Complexity*. Touchstone, Nueva York.
- Griffon, D., K. Jaffe y C. Andara. 2015. Propiedades emergentes, eficiencia y redes de termiteros. *Acta Biol. Venez.* 35(2): 233-248
- Holguin, G., P. Vázquez y Y. Bashan. 2001. The role of sediment microorganisms in the productivity, conservation, and rehabilitation of mangrove ecosystems: An overview. *Biology and Fertility of Soils* 33(4): 265-278. doi:10.1007/s003740000319
- Huaylinos, W., E. Quispitúpac, y N. Martínez. 1983. Variabilidad fisicoquímica y fisiográfica del ecosistema de manglar San Pedro-Vice (Piura-Perú). *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas* 6(11): 7-19.
- Kathiresan, K. y B. L. Bingham. 2001. Biology of mangroves and mangrove Ecosystems. *Advances in Marine Biology* 40: 81-251. Doi:10.1016/S0065-2881(01)40003-4
- Kirk, J.L., L.A. Beaudette, M. Hart, P., Moutoglis, J.N., Klironomos, H. Lee y J.T. Trevors. 2004. Methods of studying soil microbial diversity. *Journal of Microbiological Methods* 58: 169-188.
- Kristensen, E., M. Holmer y N. Bussarawit. 1991. Benthic metabolism and sulfate reduction in a southeast Asian mangrove swamp. *Marine Ecology Progress Series MESEDT*. 73 (1): 93 - 103.
- Lodge, D.J., D.L. Hawksworth y B.J. Ritchie. 1996. Microbial Diversity and Tropical Forest Functioning. En: *Biodiversity and Ecosystem Processes in Tropical Forests* (Orians, G. H., R. Dirzo y J. H. Cushman, Eds). Springer-Verlag. Berlin Heidelberg Ecological Studies, Vol. 122. Cap 5: 69-100.
- Lugo, A. E. y S. C. Snedaker. 1974. The Ecology of Mangroves. *Annual Review of Ecology and Systematics* 5(1):39-64
- Mackey, A. P. y G. Smail. 1996. The decomposition of mangrove litter in a subtropical mangrove forest. *Hydrobiologia* 332(2): 93-98. Doi:10.1007/BF00016688
- Malaver, N., M. Rodríguez y V. H. Aguilar. 2014. Un diagnóstico de la calidad microbiológica del agua de la laguna de Tacarigua, estado Miranda, Venezuela. *Acta Biol. Venez.* 34(2): 203-226.
- McKee, K. L. 1996. Mangrove Ecosystems: Definitions, distribution, zonation, forest structure, trophic structure, and ecological significance. En: *Mangrove Ecology: A Manual for a Field Course* (Feller I. y M. Sitnik, Eds.). Smithsonian Institution, Washington, DC. pp. 1-6.
- Mendoza-Morales, A. J., G. González-Sansón y C. Aguilar-Betancourt. 2016. Producción espacial y temporal de hojarasca del manglar en la laguna

- Barra de Navidad, Jalisco, México. *Revista de Biología Tropical* 64(1): 275–289. Doi:10.15517/rbt.v64i1
- Nicolis, G. y C. Nicolis. 2012. *Foundations of Complex Systems: Emergence, Information and Prediction*. World Scientific. Singapore. ISBN-13 978-981-4366-60-1
- Peña Colmenares, C. T. 1996. Estimación de la tasa de descomposición de *Montrichardia arborescens* L. Shott (Araceae) “*in vitro*”. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas – Venezuela.
- Poi de Neiff, A., J. J. Neiff y S. L. Casco. 2006. Leaf litter decomposition in three wetland types of the Paraná River floodplain. *Wetlands* 26(2): 558–566.
- Reddy R. K. y R. D. DeLaune. 2008. *Biogeochemistry of Wetlands*. Science and Applications. CRC Press. Londres. Reino Unido.
- Saifullah, A. S. M., A. H. M. Kamal, M. H. Idris, A. H. Rajae y M. K. A. Bhuiyan. 2015. Phytoplankton in tropical mangrove estuaries: role and interdependency. *Forest Science and Technology* 1–10. Doi:10.1080/21580103.2015.1077479
- Smith, T., K. Boto, S. Frusher y R. Giddins. 1991. Keystone species and mangrove forest dynamics: the influence of burrowing by crabs on soil nutrient status and forest productivity. *Estuar Coast Sci.* 33: 419 – 432.
- Solé, R. V. y S. C. Manrubia. 1996. *Orden y Caos en Sistemas Complejos. Aplicaciones*. Ediciones UPC SL, Barcelona.
- Swift, M. J., O. W. Heal y J. M. Anderson. 1979. *Decomposition in terrestrial ecosystems* (Vol. 5). Univ of California Press.
- Twiley, R. R. y J. W. Day Jr. 2013. Mangrove Wetlands. En: *Estuarine Ecology* (Day, J. W., B. C. Crump, W. M. Kemp y A. Yáñez-Arancibia, Eds.). 2nd Edition. Wiley-Blackwell. Doi:10.1016/0921-8009(91)90019-B. Cap 7: 165–202.
- Twilley, R. R., A. E. Lugo y C. Patterson-Zucca. 1986. Litter production and turnover in Basin Mangrove Forests in Southwest Florida. *Ecology* 67(3): 670–683.
- Twilley, R., M. Pozo, V. Rivera-Monroy, R. Zambrano y A. Boderó. 1997. Litter dynamics in riverine mangrove forest in the Guayas River Estuary, Ecuador. *Oecologia* 111: 109 – 112.
- Vopel, K y N. Hancock. 2005. Marine ecosystems more than just a crab hole. *Water and Atmosphere* 13 (3): 18 – 19.
- Zak, J., M. Willing, D. Moorhead y H. Wildman. 1994. Functional diversity of microbial communities: A quantitative approach. *Soil Biology and Biochemistry* 26: 1101-1108.