

Productividad ecológica

Apellidos, nombre	Pachés Giner, Maria AV (mapacgi@upvnet.upv.es)
Departamento	Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente
Centro	Universitat Politècnica de València

Resumen de las ideas clave

La productividad de un ecosistema se refiere a su capacidad para generar biomasa o energía mediante la fotosíntesis y ponerla a disposición para otros miembros de la comunidad en un periodo dado. Este parámetro es un indicador clave del funcionamiento ecológico, ya que refleja el potencial del ecosistema para producir y sostener vida a través de la acumulación de materia. Además, sirve como un estimador de la riqueza y de la eficiencia energética del sistema.

En este artículo definiremos los conceptos de biomasa y productividad primaria, y explicaremos los diferentes tipos de productividad primaria que existen. Además, se analizarán los valores característicos de estos parámetros en diversos ecosistemas del planeta. Finalmente, se abordarán los principales factores que limitan la productividad y la acumulación de biomasa en los distintos ambientes.

Objetivos

Una vez que el estudiante lea con detenimiento este documento, será capaz de:

- Describir el concepto de productividad primaria en un ecosistema y clasificar los distintos tipos de productividad primaria.
- Explicar la relación entre productividad y biomasa en los ecosistemas.
- Identificar los factores limitantes de la productividad en los medios terrestres y acuáticos.

Introducción

Todas las entidades biológicas, tanto los organismos como las comunidades que forman la Naturaleza, necesitan materia para su construcción y energía para sus actividades. De esta forma, la vida es un proceso constante de intercambio de materia y energía.

A la masa de organismos por unidad de superficie de terreno (o de agua) se la denomina biomasa y se expresa en unidades de energía (joule m^{-2}) o de materia orgánica (toneladas ha^{-1}).

La mayor parte de la biomasa de las comunidades está formada casi siempre por las plantas, que son las productoras primarias debido a su capacidad casi exclusiva de fijar el carbono en la fotosíntesis.



Casi exclusiva porque existe en la naturaleza fotosíntesis bacteriana y quimiosíntesis que pueden contribuir también a la formación de nueva biomasa...pero esta contribución es habitualmente insignificante.

La biomasa incluye a los cuerpos de los organismos, aunque parte de ellos pueden estar muerto. Por ejemplo, en los bosques la mayor parte de la biomasa está constituido por la corteza de los árboles que son tejidos muertos (necromasa). Solo la fracción viva de la biomasa es capaz de generar nuevo crecimiento.

Productividad en los ecosistemas

La conversión de la energía solar a energía química almacenada en los enlaces químicos de las moléculas orgánicas constituye la base de la productividad primaria generada por organismos fotótrofos. Se puede definir la productividad primaria (PP) como la cantidad de carbono inorgánico convertido a materia orgánica por organismos autótrofos o como la cantidad de energía transformada por los productores primarios para producir materia orgánica nueva. En ambos casos la productividad se expresa para un área o volumen determinado y por un intervalo de tiempo. En el primer caso podemos expresar la productividad primaria en términos de gramos de carbono fijado/m²/año, en el segundo por kilocalorías/m²/año.

No debe confundirse la productividad primaria (que es una tasa) con el término de cosecha en pie ("*standing crop*") que alude exclusivamente a la biomasa (gramos de materia orgánica seca) contenida en una comunidad o grupo de seres vivos en un momento dado.

Esta productividad primaria puede ser:

- Productividad primaria bruta (PPB): Velocidad total de la fotosíntesis, incluida la materia orgánica utilizada en la respiración. Comprende toda la materia orgánica vegetal producida, incluida la que se oxida por la respiración (R) por unidad de área o volumen y para un tiempo determinado.
- Productividad primaria neta (PPN): Velocidad de almacenamiento de la materia orgánica en los tejidos vegetales tras restar la gastada para la actividad respiratoria-descontando la que se oxida por la respiración. Esta representa la cantidad de energía disponible por unidad de área o volumen y para un tiempo determinado, para los organismos consumidores, incluidos los humanos. En los ecosistemas naturales, la respiración puede reducir la productividad neta a menos de la mitad de la productividad bruta.

En la siguiente tabla se muestran valores de Productividad Primaria Neta anual y Biomasa en diversas comunidades del mundo según Whittaker (1975).

Tipo de ecosistema		PPN por unidad de área (g m ⁻² o t km ⁻²)			Biomasa por unidad de área (kg m ⁻²)		
	Área (10 ⁶ km ²)	Límites normales	Media	PPN mundial (10 ⁹ t)	Límites normales	Media	Biomasa mundial (10 ⁹ t)
Pluviselva tropical	17,0	1000-3500	2200	37,4	6-80	45	765
Bosque estacional tropical	7,5	1000-2500	1600	12,0	6-60	35	260
Bosque siempre verde temperado	5,0	600-2500	1300	6,5	6-200	35	175
Bosque caducifolio temperado	7,0	600-2500	1200	8,4	6-60	30	210
Bosque boreal	12,0	400-2000	800	9,6	6-40	20	240
Zona de árboles y	8,5	250-1200	700	6,0	2-20	6	50
Sabana	15,0	200-2000	900	13,5	0,2-15	4	60
Prado temperado	9,0	200-1500	600	5,4	0,2-5	1,6	14
Tundra y zona alpina	8,0	10-400	140	1,1	0,1-3	0,6	5
Matorral desierto y semidesierto	18,0	10-250	90	1,6	0,1-4	0,7	13
Desierto extremo rocas arena y hielo	24,0	0-10	3	0,07	0-0,2	0,2	0,5
Terrenos cultivados	14,0	100-3500	650	9,1	0,4-12	1	14
Marismas y pantanos	2,0	800-3500	2000	4,0	3-50	15	30
Lagos y ríos	2,0	100-1500	250	0,5	0-0,1	0,02	0,05
Total continental	149		773	115		12,3	1837
Océano abierto	332,0	2-400	125	41,5	0-0,005	0,0005	1,0
Zonas de corrientes ascendentes	0,4	400-1000	500	0,2	0,005-0,1	0,02	0,008
Plataforma continental	26,6	200-600	360	9,6	0,001-0,04	0,01	0,27
Lechos de algas y arrecifes	0,6	500-4000	2500	1,6	0,04-4	2	1,2
Estuarios	1,4	200-3500	1500	2,1	0,01-6	1	1,4
Total marino	361		152	55,0		0,01	3,9
Total	510		333	170		3,6	1841

Tabla 1. Productividad primaria neta anual y biomasa en diversas comunidades del mundo según Whittaker, 1975.

Actividad 1: Analiza los valores de productividad y biomasa de la Tabla 1. Identifica cuál es el ecosistema más productivo y cuál es el menos productivo del planeta. Según los datos, ¿consideras que la productividad se encuentra distribuida uniformemente en el planeta? Al comparas los ecosistemas terrestres y acuáticos ¿qué conclusión principal puedes extraer? ¿crees que es fácil medir la productividad de un ecosistema en el océano? ¿Y debajo del suelo?

1.1. Variaciones entre productividad y biomasa

Existe una relación entre la productividad de los ecosistemas (tasa) y la cantidad de biomasa en un momento determinado, es decir, los kg producidos por año por kilo de cosecha en pie. Los cocientes entre productividad y biomasa de cosecha en pie de los principales ecosistemas de la Tabla 1 se muestran a continuación:

Ecosistemas	Productividad/ biomasa de cosecha en pie
Bosques	0,042
Otros sistemas terrestres	0,29
Comunidades acuáticas	17

Tabla 2 Relación entre productividad y biomasa de cosecha en pie para diferentes ecosistemas.

Este cociente indica la eficiencia con la que se renueva la biomasa por unidad de biomasa ya existente en un ecosistema. Los valores de la tabla indican que la relación más baja se da en los bosques, mientras que las más altas corresponden a los ecosistemas acuáticos con varios ordenes de magnitud de diferencia. Para los ecosistemas de bosques, estos valores tan bajos se deben a la gran proporción de biomasa muerta o por tejido vivo de sostén que no realiza la fotosíntesis. Es decir, aunque estos sistemas acumulan mucha biomasa, su capacidad de renovación es relativamente lenta. En cambio, en ecosistemas como prados y matorrales (0,29), una proporción mucho mayor de la biomasa está activa fotosintéticamente permitiendo una renovación más rápida.

Por último, en las comunidades acuáticas, cuando la productividad es debida al fitoplancton, no existe tejido de sostén, las células muertas no se acumulan y el output fotosintético por kg de biomasa es muy elevado (Begon, 1999).



No es lo mismo producir mucho que ser muy productivo. La productividad de un ecosistema determina cuanta producción queda disponible para que otros puedan usarla. Por tanto....

...aquellos ecosistemas que se han convertido en muy complejos, como por ejemplo selvas tropicales o arrecifes de coral (gran biomasa en términos absolutos) como tienen muchas estructuras que mantener, autoconsumen todo lo que producen, por lo que no pueden ser explotados sin ser destruidos.

1.2. Factores que limitan la productividad terrestre

La luz del sol, el dióxido de carbono, el agua y los nutrientes del suelo son los recursos necesarios para la producción primaria en los hábitats terrestres, mientras que la temperatura es una condición que influye altamente en la tasa fotosintética. De todos ellos, la concentración de CO₂ no suele desempeñar un papel significativo en la limitación de la producción en las comunidades terrestres.

Se sabe que, según la zona geográfica, entre 0 y 5 joules de energía solar alcanzan cada minuto un metro cuadrado de la superficie terrestre (Begon, 1999). Si toda esta energía fuera convertida en biomasa vegetal por la fotosíntesis (eficacia del 100% del porcentaje de radiación de onda corta adecuada para la fotosíntesis), existiría una producción enorme de materia vegetal. Sin embargo, en la realidad, la productividad es muy inferior al valor teórico máximo.

Se estima que el rendimiento máximo teórico de conversión de la energía solar por parte de las plantas es de un 11 por 100. En condiciones controladas se han alcanzados rendimientos muy próximos al citado anteriormente. No obstante, en plantas que crecen en condiciones naturales los rendimientos son mucho más bajos, no sobrepasando en muchas ocasiones el 1 por 100 (Fuentes, 1995). El hecho de que la luz no se utilice con eficiencia no significa necesariamente que no limite la productividad de la comunidad vegetal.

La escasez de agua suele ser a menudo un factor crítico, ya que este recurso es esencial, tanto como constituyente celular como en el proceso de la fotosíntesis. Sin embargo, parte del agua se pierde durante la transpiración debido a la apertura de los estomas para el intercambio de gases. En regiones áridas la disponibilidad de agua está estrechamente relacionada con la PPN, sin embargo, en aquellos ecosistemas más húmedos la productividad alcanza un límite más allá del cual no se incrementa significativamente.

La relación entre la PPN y la temperatura media anual existe, pero la explicación es compleja. El aumento de la temperatura conduce a un incremento de las tasas fotosintéticas brutas, pero también presenta una disminución progresiva de beneficios. Con el incremento de la

temperatura aumenta exponencialmente la respiración y la transpiración y por consiguiente aumentan la tasa con que la escasez de agua puede llegar a ser importante. Esta escasez de agua impacta directamente sobre la tasa de crecimiento vegetal y conduce al desarrollo de una vegetación menos densa. Una vegetación menos densa intercepta menos luz dejando que gran parte de la radiación incida directamente sobre el suelo desnudo. Este desaprovechamiento de la energía solar es una de las principales causas de la baja productividad en las zonas áridas.

Incluso cuando las condiciones de radiación, precipitación y temperatura son óptimas, la productividad puede ser baja si no existe en el suelo una comunidad biológica activa o si el suelo es deficiente en nutrientes minerales esenciales. De todos los nutrientes minerales el que mayor influencia ejerce sobre la productividad es el nitrógeno. No obstante, la deficiencia de otros elementos puede mantener la productividad de una comunidad por debajo de la teóricamente posible.



Una gran parte del globo produce menos de $400 \text{ gm}^{-2}\text{año}^{-1}$. Esto incluye más de un 30% de la superficie terrestre y un 90% de los océanos.

El océano abierto es un desierto marino. En el otro extremo, los sistemas más productivos se encuentran entre las zonas pantanosas, los estuarios, los lechos de las algas y arrecifes y en la tierra cultivada.

1.3. Factores que limitan la productividad acuática

En los sistemas acuáticos los factores que con mayor frecuencia limita la productividad primaria son la disponibilidad de nutrientes, la luz (relacionada con la profundidad) y la intensidad del ramoneo. Los nutrientes que resultan limitantes son en general en nitrógeno (principalmente en forma de nitrato) y el fósforo (en forma de fosfato). Esta es la razón por la cual las comunidades acuáticas más productivas del planeta se ubican allí donde las concentraciones de estos nutrientes son habitualmente altas.

En los lagos, los nutrientes provienen principalmente de la meteorización de las rocas y los suelos de su cuenca hidrográfica. La disponibilidad de estos nutrientes varía considerablemente entre diferentes lagos del planeta, y es el fósforo el nutriente que particularmente más influyente en la productividad. Además, en los sistemas lacustres, la intensidad de la luz —determinada por la latitud— y la duración de la estación de crecimiento también juegan un papel clave en la determinación de la productividad primaria.

En los océanos, los niveles elevados de productividad primaria están asociados a la entrada de los nutrientes que pueden proceder desde los estuarios -la escasa profundidad permite a menudo una producción importante por parte de las algas- y desde las corrientes ascendentes.

Estas corrientes, impulsadas por los vientos, reemplazan las aguas costeras superficiales por aguas profundas, frías y ricas en nutrientes, lo que estimula significativamente la productividad en esas zonas.

Los nutrientes pueden limitar la productividad de las comunidades acuáticas, pero también debe considerarse la profundidad de la masa de agua. Con la profundidad se atenúa la intensidad lumínica debido a que tanto las moléculas de agua, como la materia disuelta y en suspensión van absorbiendo la luz. Esta disminución exponencial de la luz afecta directamente a la PPB. La tasa de fotosíntesis se ve afectada por la disminución de la luz mientras que la tasa de respiración de los productores se mantiene constante en todas las profundidades. Este hecho implica la existencia de una profundidad a la cual la PPB es compensada exactamente por la respiración del fitoplancton. Este punto recibe el nombre de Punto de Compensación (Imagen 1) y corresponde a la profundidad en la que la fotosíntesis equivale a la respiración. Por encima de este punto, la PPN es positiva.

Mientras que en la superficie la luz es abundante, en zonas más profundas se vuelve limitada determinando así la extensión de la zona eufótica. Aunque esto podría parecer una paradoja, no lo es: las masas de agua con mayor concentración en nutrientes poseen una mayor biomasa de fitoplancton que absorbe la luz y reduce la disponibilidad de esta a profundidades mayores. Incluso lagos poco profundos, si son suficientemente fértiles, pueden carecer de algas en el fondo. Cuanto más rica en nutrientes es una masa de agua, tanto menos profunda será habitualmente su zona eufótica.

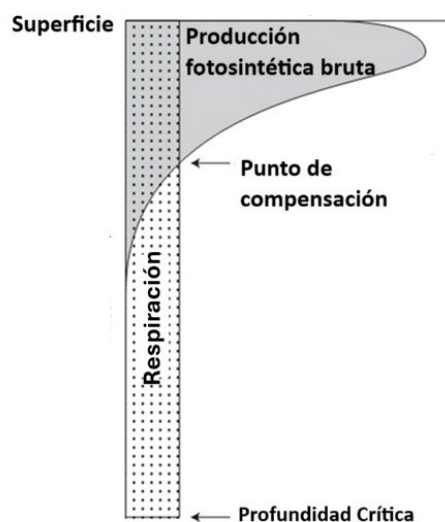


Imagen 1. Punto de compensación y producción primaria bruta en la columna de agua (adaptado de Killips et al., 2004)

Además, cabe señalar que cerca de la superficie, en los días muy soleados, puede producirse la fotoinhibición de la fotosíntesis. Esto ocurre porque una gran cantidad de radiación es absorbida por los pigmentos fotosintéticos a una tasa tal que ya no puede ser procesada por las vías normales de la fotosíntesis, lo que conduce a reacciones destructivas de fotooxidación.

Todos estos factores que limitan la productividad, tanto en ecosistemas terrestres como acuáticos, están cambiando rápidamente como resultado de la actividad humana, con implicaciones muy inciertas para la PPN a nivel global y local.



Cierre

A lo largo de este objeto de aprendizaje hemos analizado el concepto de biomasa y productividad primaria y sus unidades de medida. Además, hemos identificado y caracterizado los distintos tipos de productividad primaria que existen en los ecosistemas terrestre. Posteriormente, examinamos los valores de biomasa y productividad primaria en diversos ecosistemas del planeta para ejemplificar la relación que existe entre ambos parámetros.

Finalmente, examinamos los principales factores que limitan la tasa de productividad, tanto en ambientes terrestres como en marinos, destacando su influencia en el funcionamiento de los ecosistemas.

Bibliografía

- Begon, M., Harper, J. L., Townsend, C. R. 1999. Ecología: individuos, poblaciones y comunidades. Omega.
- Fuentes Yagüe, José Luis. 1995. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. ISBN: 84-491-0264-2.
- Killops, S. D., Killops, V. J. 2004. An introduction to organic geochemistry. Blackwell Publishing, Oxford, England.
- Pérez-Ruzafa, A. 2016. ¿Producción o productividad? Columna de la Academia por el Diario La Verdad.
- Whittaker, R.H., Likens, G.E. 1975. The Biosphere and Man. In: Lieth, H., Whittaker, R.H. (eds) Primary Productivity of the Biosphere. Ecological Studies, vol 14. Springer, Berlin, Heidelberg.