

Contaminación por Nitrógeno: Demasiado de una buena cosa



De izquierda a derecha A. Chalmers, Gail Littlejohn, Paul McKay

por **David A. Bainbridge**

Traducido por Laura L. Velázquez

Áreas de conocimiento: ecología y ciencias del ambiente, historia, matemáticas.

Conceptos clave: contaminación por nitrógeno en ecosistemas acuáticos y terrestres, eco-toxicidad, biodiversidad, sistemas dinámicos, cambio global, huella ecológica.

Habilidades: utilización del método científico, utilización de fórmulas, establecimiento de experimentos, observación, toma de medida, síntesis y análisis de datos.

Lugar: laboratorio, exterior, invernadero o lámpara de crecimiento.

Tiempo: Aproximadamente 1 día para preparar, varias semanas para muestrear; 1 hr de clase por semana.

Materiales: semillas de pasto nativo e invasivo (la semilla nativa se suministra y el jardín la suministra o acumula), suelo arenoso, fertilizante nitrógeno, contenedores de plantas de 1 galón, agua, botes plásticos de bebida, bolsas de papel, perforadora, sellador para acuario, tubo de diámetro pequeño, muy resistente, transparente; perlita y semillas de pasto "rye grass" en una cacerola de 10 cm x 20 cm; agua de estanque filtrada; kit de experimentación de oxígeno disuelto "LaMotte" o "Hach"; *Euglena*, una especie de algas verdes disponibles en las casas de ciencia.

Nosotros con frecuencia escuchamos juicios que expresan preocupaciones debidas a exóticos riesgos ambientales como clorofluorocarbonos en la atmósfera, plutonio en los satélites, mercurio y cadmio en las baterías, o pesticidas y herbicidas en nuestra agua subterránea. Pero resulta cada vez más claro que las disrupciones en la mayoría de los procesos básicos pueden causar problemas ambientales igualmente severos. El incremento en los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera y la destrucción del ozono estratosférico son dos ejemplos. Otro es la contaminación por nitrógeno, la cual parece ser cada vez más un desastre ambiental tanto en el agua (donde ha sido ampliamente reconocida) como en la tierra.

A pesar de que el gas nitrógeno (N_2) conforma el 78 % del aire que respiramos, es con frecuencia el factor limitante en el crecimiento de las plantas porque esta amplia reserva de nitrógeno atmosférico no puede ser utilizada directamente como nutriente. El gas nitrógeno es convertido en formas químicas que pueden ser utilizadas por las plantas a través de un proceso de fijación del nitrógeno que es llevado a cabo por bacterias. Éstas incluyen cianobacterias que viven libremente en el suelo y en el agua, y bacterias que forman y viven en

nódulos sobre las ramas de ciertas plantas (las bacterias *Rhizobium* en las leguminosas como los frijoles, chícharos y el trébol; y bacterias filamentosas llamadas actinomicetes en alisos, bayas de los búfalos, lilos montañeses y otros cuantos arbustos y hierbas perenes). Si usted abriera un nódulo de una rama de algún trébol o planta de frijol, si éste está fijando el nitrógeno, será rojo por dentro. Estos benéficos socios o simbiosis, convierten el gas nitrógeno del aire en amoníaco (NH_3) biológicamente disponible. Los iones amonio (NH_4) han de ser entonces convertidos en nitritos (NO_2) y luego en nitratos (NO_3) por bacterias aeróbicas.

Después que el nitrógeno ha desempeñado su propósito en organismos vivientes, vastas armadas de descomponedores convierten los compuestos orgánicos ricos en nitrógeno, los desperdicios, las partículas usadas y los cuerpos muertos de vuelta en compuestos más simples que están disponibles para otras plantas y microorganismos. Otras bacterias especializadas, en su mayor parte bacterias anaeróbicas en el suelo y en los sedimentos superficiales de los lagos, océanos, pantanos y ciénagas, luego convierten estas formas inorgánicas de nitrógeno de vuelta en gas nitrógeno, el cual es liberado a la atmósfera para empezar el ciclo otra vez. El nitrógeno es también fijado por cualquier relámpago, quizá un kilogramo por rayo. Esto constituye el ciclo del nitrógeno de vital importancia.

Durante los tiempos preindustriales, se ha asumido que el nitrógeno cíclico ha estado más o menos en balance: medidas de óxido de nitrógeno (N_2O) en antiguas burbujas de gas atrapado en hielo glacial muestran concentraciones que rondan las 285 partes por millón (ppm). Hace unos 200 años, la actividad humana empezó a sacar este sistema de balance. Desde que empezó la Revolución Industrial, el nivel de óxido nítrico en la atmósfera ha aumentado a aproximadamente 310 ppm.

Numerosos factores tienen que ver con el dramático incremento de nitrógeno en el



La combustión de combustible fósil es el mayor contribuidor para la contaminación por nitrógeno en Norte América y otras regiones industrializadas.

ambiente. A nivel global, el único recurso más amplio de nitrógeno añadido es el nitrógeno fertilizante manufacturado, el cual es hecho utilizando grandes cantidades de gas natural. Sólo en 2006, más de 98 millones de toneladas de fertilizante nitrógeno fueron utilizadas a lo largo del mundo para incrementar el crecimiento del cultivo. Estos cultivos son proporcionados como alimento a animales y personas, que crean desperdicios ricos en nitrógeno. Más de dos billones de toneladas de estiércol húmedo de animal son producidas cada año sólo en los Estados Unidos. Gran parte de éste no es tratado, y el avance hacia la producción industrial de carne y huevos resulta en la concentración de

enormes cantidades de estos desperdicios ricos en nitrógeno en áreas pequeñas. La falla de tan sólo una laguna almacenadora de desperdicio de puerco en Carolina del Norte resultó en la liberación de 25 millones de galones de material rico en nitrógeno en los canales locales. Cuando accidentes como éste ocurren, o cuando las inundaciones invaden las lagunas de estiércol o colectan material rico en nitrógeno de los campos, puede resultar una extensa contaminación no sólo en agua dulce sino también en regiones costeras río abajo. El nitrógeno también se concentra en ciudades y pueblos, tanto en desperdicios humanos como en los que dejan las mascotas y los fertilizantes de pasto. La mayoría de sistemas de tratamiento para aguas residuales remueve únicamente la mitad del nitrógeno de los desperdicios humanos, y el residuo de agua de lluvia de los pastos fertilizados y los campos de golf no es usualmente tratado del todo. Como el residuo de la tierra de labranza fertilizada, éste conduce los compuestos de nitrógeno directamente hacia ríos y lagos locales. Estas fuentes sin sentido son muy difíciles de controlar, a pesar de esto el uso de topes de vegetación natural y árboles a lo largo de los cauces es muy útil.

TABLA 1
Impacto del exceso de nitrógeno en la biodiversidad

Impacto a corto plazo			
Años	Entrada de nitrógeno---	Num. de especies en el terreno	
6	33 especies	28 especies	28 especies
16	43 especies	30 especies	16 especies

Impacto a largo plazo			
Años	Entrada de nitrógeno	Num. de especies en el terreno	
21	48 especies	27 especies	15 especies
47	39 especies	24 especies	no disponible
63	31 especies	16 especies	8 especies
93	20 especies	16 especies	3 especies

Datos de los estudios en la estación experimental de Rothamsted, Inglaterra.

En una escala global, la plantación de inmensos acres de cultivos de leguminosas ha desempeñado también un papel en el problema de la contaminación por nitrógeno mediante el incremento de la fijación biológica del nitrógeno. Se ha calculado que cultivos como los chícharos y los frijoles añaden 34 millones de toneladas de nitrógeno biológicamente disponible al ambiente, cada año.

El mayor problema en las áreas más desarrolladas es el nitrógeno añadido al ambiente a partir de la quema de combustibles fósiles, estimado en 20 millones de toneladas métricas por año. Quemar carbón y madera moviliza el nitrógeno en el combustible, mientras que el gas quemado, el diesel y el gas natural añaden nitrógeno al oxidar el gas nitrógeno en la atmósfera. En los estados Unidos, más de 3.2 millones de toneladas de nitrógeno son depositadas desde la atmósfera cada año como deposición húmeda en el fango, lluvia y nieve, o como deposición seca en gotitas, gases y partículas. Las mayores fuentes de óxido nítrico en Norte América son las plantas de energía a base de carbón –y aceite- y las industrias, muchas de las cuales contaminan amplias áreas en dirección del viento. En la zona, automóviles, trocas, camiones, aviones, sopladores de hojas, podadoras y las motos acuáticas son con frecuencia las fuentes más significantes. Estos óxidos nítricos se combinan para formar partículas que caen como polvo o son arrastradas y depositadas en la lluvia. Gran parte del polvo negro que se asienta en los carros en las áreas urbanas está compuesto por partículas ricas en nitrógeno. Estas pequeñas partículas se acumulan. La tasa promedio de depósito en Europa central es ahora de 15 kilogramos por hectárea al año. Estudios en El Reino Unido muestran que una especie se pierde por cada 2.5 kilogramos de nitrógeno

añadido por terreno de cuatro metros cuadrados. En áreas dominadas por automóviles como el sur de California, el depósito anual de nitrógeno puede alcanzar casi los 80 kilogramos por hectárea, considerablemente más que la aplicación promedio mundial de fertilizante nitrógeno en cultivos. Si usted manejara 16,000 kilómetros al año, podría estar añadiendo tanto como 32 kilogramos de contaminación por nitrógeno a su ambiente local.

Tal como el nitrógeno más ampliamente conocido incrementa los gases en el invernadero, los niveles incrementados de nitrógeno a su vez pueden tener profundos efectos en el mundo biológico; pero gracias a que éste es un componente natural de los ecosistemas, por mucho tiempo no ha sido reconocido como un problema. La idea de que muchas concentraciones consideradas altas serían benéficas, fue reforzada cuando los estudios sobre el nitrógeno en varios ecosistemas mostraron aumentos en el crecimiento y la productividad. Pero los estudios sobre su impacto típicamente evalúan cambios en cinco años únicamente, periodo que resulta muy corto para revelar cambios lentos y acumulativos. Donde el efecto del exceso de nitrógeno ha sido estudiado por periodos largos, se demuestra que su impacto ha sido nada menos que catastrófico. Al favorecer a las plantas, algas y organismos que son altamente responsivos al nitrógeno, el exceso de nitrógeno reduce la diversidad y limita la habilidad de los ecosistemas para lidiar con el estrés.

Un estudio que empezó en los mil ochocientos cincuenta en la estación experimental de Rothamsted en Inglaterra, ha mostrado declines dramáticos en la diversidad de los terrenos de los campos con nitrógeno a niveles sin las tasas de deposición actuales. Como lo muestra la tabla 1, estos cambios han

Emisiones de Óxido de Nitrógeno

(E.U.)

Vehículos 38 %

Generación de electricidad 22%

Equipo 21%

Combustión de combustible fósil 11%

Procesos industriales 5%

Uso de fertilizante nitrógeno (A Nivel Mundial)

Año	Millones de toneladas
1970	31.8
1980	60.9
2000	88.0
2006	98.2

ocurrido lentamente y no habría sido mera apariencia que el estudio hubiera continuado sólo por pocos años. Durante los primeros 15 o 20 años, la diversidad de especies se incrementó en la mayoría de terrenos con nitrógeno añadido. Pero a largo plazo, se observaron impactos muy negativos, con una diversidad disminuyente de 30 especies a tres en terrenos que recibieron la entrada más alta de nitrógeno.

Un estudio de 12 años en los campos de Minnesota mostró declines semejantes y cambios en la composición de la comunidad. La riqueza de especies cayó el 50% y el pasto perenne fue reemplazado por pastos invasores europeos. Reportes recientes de Suiza, donde el depósito llega a exceder los 100 kilogramos por hectárea, son igualmente alarmantes. En algunas áreas, los benéficos hongos micorrizales han producido organismos no fructíferos (champiñones) durante los últimos seis años. Esto habrá profundizado los efectos sobre los ecosistemas de bosque.

En ecosistemas acuáticos, los problemas causados por exceso de nitrógeno son igualmente graves, a pesar de que han tomado varios años para desarrollarse. Altos niveles de nitrógeno causan que los canales se vuelvan eutróficos, una condición en la cual los nutrientes excesivos permiten el rápido crecimiento tanto de las algas como de los microbios que se alimentan de ellas. Cuando estos organismos mueren, bacterias descomponedoras digieren la materia orgánica muerta y consumen grandes cantidades de oxígeno en el proceso. Niveles más bajos de oxígeno pueden, en cambio, matar peces y

microorganismos. En aguas eutróficas, la diversidad de especies tiende a disminuir, y organismos menos deseados, como variedades tóxicas de alga, tienden a incrementarse. Este exceso de nitrógeno conduce directa o indirectamente a problemas como el peligroso brote del microbio tóxico *Pfiesteria piscicida* en Chesapeake Bay y a lo largo de la costa este de los Estados Unidos. El brote parece ser el resultado de añadidos de nitrógeno de granjas masivas de aves y cerdos, pero también refleja el depósito de nitrógeno proveniente del aire y el residuo de campos de granjas.

¿Qué puede hacerse con respecto al nitrógeno? Desafortunadamente, las soluciones no son fáciles. Podemos reducir las emisiones de óxido nítrico de las plantas de energía y los carros. Podemos conducir menos millas, andar en bicicleta, mudarnos cerca de donde trabajamos, y evitar el uso de máquinas de motores de dos tiempos como las podadoras, los vehículos para nieve y las motonetas.

Podemos comer menos carne y escoger carne de res y de pollo de campo en vez de la de animales industrialmente producida. Podemos limitar el uso de fertilizante nitrógeno y adoptar prácticas agrícolas que dependan más de la materia orgánica y la fijación biológica del nitrógeno. Donde sea apropiado, podemos añadir al suelo materiales lentos en su descomposición ricos en carbono (como el aserrín) para contrarrestar el nitrógeno añadido. Podemos también preservar y construir tierras húmedas para filtrar el exceso de nitrógeno del agua.

Se necesitan urgentemente estudios de los efectos a largo plazo del nitrógeno sobre los ecosistemas y canales, debido a que representan nuevos esfuerzos para reducir futuros impactos. También es importante que los equipos interdisciplinarios cooperen en estudios entre los países donde ocurre la contaminación de las derivas, como entre Canadá y los Estados Unidos, los Estados Unidos y México, y Escandinavia y el Reino Unido. En el presente, sin embargo, la inversión para tal investigación es mínima. En los Estados Unidos, el programa de investigación ecológica a largo plazo de la Fundación Nacional de Ciencia recibe sólo \$10 millones al año—menos que una tercera parte de lo que cuesta operar un mediocre equipo de beisbol de las ligas mayores y aproximadamente lo mismo que realizar una carrera internacional de autos por un año. La inversión debería ser al menos de \$500 millones y podría aumentar al imponer una multa de impacto del nitrógeno sobre las ventas de gasolina, operaciones del aeropuerto y tráfico de barcos. El impuesto de unos cuantos centavos por galón a la gasolina proporcionaría millones de dólares para estudios a largo plazo del impacto y restauración ambiental y el tratamiento para la compensación de la contaminación por nitrógeno.

El problema de la contaminación por nitrógeno proporciona un buen ejemplo para enseñar acerca de la naturaleza insidiosa de ciertos tipos de daño ambiental, y resalta la importancia de monitorear a largo plazo los cambios y la necesidad de consideración de la sustentabilidad en cualquier cosa que hagamos. También demuestra el impacto acumulativo de varias acciones pequeñas y la necesidad de considerar la contaminación por nitrógeno como parte de nuestra huella ecológica. Finalmente, apunta al valor de la simple investigación de bajo costo en un tiempo en el que mucha gente considera las super computadoras y los super colisionadores la vanguardia de la ciencia. La mejor investigación que tenemos sobre los impactos del nitrógeno fue realizada con un papel y lápiz y 100 años de cuidadosa observación.

David A. Bainbridge es Ayudante de Profesor y Coordinador de estudios ambientales en la Universidad Internacional de Estados Unidos en San Diego, California.

Laura L. Velázquez es estudiante de la licenciatura en Letras Clásicas y se desempeña como traductora.

Notas

1. C. J. Stevens, N. B. Dise, J. O. Mountford and D. J. Cowing, "Impact of Nitrogen Deposition on the Species Richness of Grasslands," *Science* 303 (2004): 5665:1876–1879.
2. W. Brenchley, *The Park Grass Plots*, Rothamsted Experimental Station, Hertfordshire, England, 1956.
3. D.A. Wedin and D. Tilman, "Influence of Nitrogen Loading and Species Composition on the Carbon Balance of Grasslands," *Science* 274 (1996), pp. 1720–1721.

Referencias

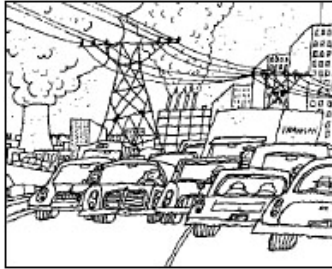
- Allen, E. B., P.E. Padgett, A. Bytnerowicz and R. A. Minnich. "Nitrogen deposition effects on coastal sage vegetation of southern California." In A. Bytnerowicz, M.J. Arbaugh and S. Schilling, eds. *Proceedings of the International Symposium on Air Pollution and Climate Change Effects on Forest Ecosystems, Riverside, California*. General Technical Report PSWGTR 164, Albany, California, Pacific Southwest Research Station, USDA Forest Service, 1996.
- Ayers, R.U., W.H. Schlesinger and R.H. Socolow. "Human Impacts on the Carbon and Nitrogen Cycles." In R. Socolow, C. Andrews, F. Berkhout and V. Thomas, ed. *Industrial Ecology and Global Change*. Cambridge University Press, 1997, pp. 121–156.

Investigando la contaminación por nitrógeno: Actividades y modelos

La contaminación por nitrógeno desde los conmutadores de la escuela: Un estudio al análisis de impacto

Propósito:

Los estándares para las emisiones de gases de automóviles están dados en gramos de



NO₂ por milla o por kilómetro. En lo que respecta a su peso molecular, el NO₂ está conformado por un 30 por ciento de nitrógeno. Podemos entonces calcular la contribución que hacen los carros a la contaminación por nitrógeno estimando la distancia recorrida cada año. En los E.U. el total anual es la asombrosa cantidad de 3.2 trillones de kilómetros (2 trillones de millas). Si usted condujera 16,000 kilómetros al año, estaría añadiendo tanto como 32 kilogramos de contaminación por nitrógeno a su ambiente local.

Que los estudiantes determinen, como un proyecto de clase, con cuánto nitrógeno para el ambiente local contribuyen sus familias al manejar sus carros. Pida a los estudiantes que calculen cuántos kilómetros manejan sus familias cada año y, si es posible, que encuentren cuántos gramos de NO₂ producen sus carros por kilómetro. Los carros más viejos pueden producir más de 2 gramos por km, mientras que en los mejores carros nuevos la cantidad puede ser tan pequeña como 0.12 gramos por km. Que los estudiantes utilicen el siguiente cálculo para determinar su impacto individual, y luego el promedio de kilómetros recorridos y los datos de las emisiones para determinar el promedio de impacto de la clase en conjunto.

Gramos de nitrógeno por año= (Número de carros) x (promedio de km recorridos por año) x (promedio de gramos de emisiones de NO₂ por km) x 0.30

Respuesta del nitrógeno en especies nativas e introducidas

Propósito:

Al principio un exceso de nitrógeno puede parecer que beneficia a



los ecosistemas al incrementar su productividad, pero a largo plazo puede reducir su biodiversidad al favorecer plantas, algas y organismos que son altamente responsivos al nitrógeno. El siguiente experimento prueba si algunas especies de plantas locales son más responsivas que otras al exceso de nitrógeno.

Materiales: 15 contenedores de cinco litro(o un galón); suelo arenoso; al menos 15 semillas de dos arbustos o pastos locales, una especie nativa y una especie introducida; fertilizante para plantas domésticas.

Procedimiento:

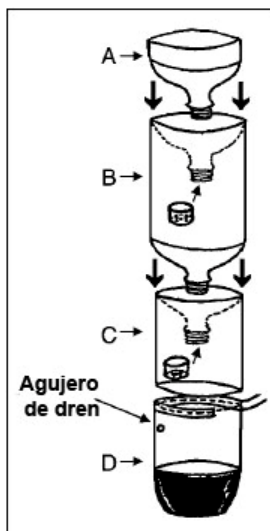
1. Llene los contenedores con el suelo arenoso que tiene pocos nutrientes.
2. En cada recipiente, plante tres semillas de arbusto o pasto nativo y tres semillas de especie no nativa (seis semillas por recipiente).
3. Divida los recipientes en cinco grupos de tres. Rocíe cada grupo de tres recipientes con alguna de las siguientes dosis de fertilizante: ninguna (control), la mitad de la dosis recomendada, la dosis recomendada, dos veces la dosis recomendada, y tres veces la dosis recomendada.
4. Monitoree la germinación y el crecimiento. Haga tablas de datos sobre factores como la tasa de germinación y peso de las plantas. Al final del experimento, seque y pese las plantas para obtener datos sobre biomasa. Calcule los significados de cada variable y analice la significancia de cualesquiera diferencias observadas.
5. Discuta el impacto potencial de contaminación por nitrógeno sobre la biodiversidad en su región. ¿Qué especies

parecer ser favorecidas en condiciones de exceso de nitrógeno?

Modelo de descarga de nutrientes

Propósito: este modelo de descarga de nutrientes ilustra cómo la aplicación de fertilizantes sobre la tierra influencia el crecimiento de plantas y algas en ecosistemas acuáticos a través del residuo y la infiltración. El modelo permite a los estudiantes generar e investigar preguntas relacionadas a lo que puede suceder a los ecosistemas acuáticos si los nutrientes aplicados sobre la tierra son directamente descargados en un río o lago o arroyo que no posee una zona amortiguadora de plantas de orilla que los absorban. La descarga de exceso de agua del bote receptor en un aplanado de pasto "rye grass" ilustra las diferencias en el crecimiento de plantas de marisma que reciben el agua rica en nutrientes. Remover el agua del experimento y controlar los botes para el análisis de oxígeno disuelto permite a los estudiantes investigar el efecto del enriquecimiento nutritivo sobre un parámetro químico que es extremadamente importante para los organismos aeróbicos acuáticos. Esto puede servir como punto de discusión sobre cómo la vegetación de orilla y de tierras húmedas ayuda a contrarrestar el potencial impacto sobre lagos y ríos.

Materiales y equipo: tres botes de refresco de plástico transparente de dos litros; perforadora, sellador para acuario, tubo muy resistente, transparente de diámetro de 1/2 pulgada; perlita y semillas de pasto "rye grass" en una cacerola de 10 cm x 20 cm; agua de estanque filtrada; kit de



experimentación de oxígeno disuelto "LaMotte" o "Hach"; *Euglena*, una especie de algas verdes disponibles en las casas de ciencia.

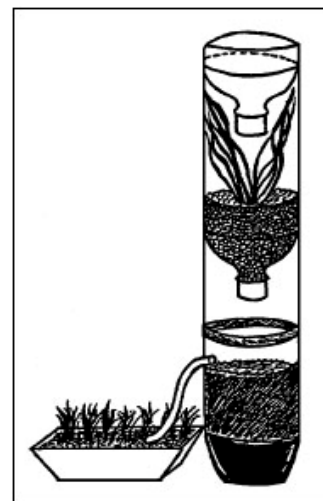
Construyendo los modelos: Realice al menos dos modelos, uno para las condiciones del experimento y otro para ser el control. Para cada modelo,

corte y ensamble tres botes de refresco de plástico transparente como sigue:

1. Corte la parte superior de dos botes, dejando una pequeña pestaña de 3 cm sobre la parte superior de un bote (vea la sección A en el diagrama) y una pestaña más grande de 15 cm en el otro (sección B). Perfore o haga agujeros en las tapas y colóquelas en los canales de las partes superiores cortadas.
2. Inserte la pequeña pestaña de la parte superior (sección A) en la parte que tiene la pestaña grande (sección B), como se muestra en el diagrama.
3. Use la mitad de la parte inferior de un bote cortado como receptora del bote (sección D). Forme un agujero de drenaje para el exceso de agua empleando un clavo caliente o una perforadora sencilla. Posicione el agujero aproximadamente a 5 cm del borde superior del bote receptor.
4. Para elevar la porción superior del modelo lo suficientemente arriba para que el agua caiga dentro del bote receptor, pegue una sección de 12 cm de un tercer bote en el bote receptor (vea sección 3).
5. Cree un "marisma" para cada modelo plantando semillas de pasto rye grass en un sustrato de perlita en una cacerola de 10 cm x 20 cm. Inserte un tramo de tubo transparente en el agujero de desagüe y coloque el tubo de manera que escurra dentro de la cacerola. Selle el tubo en el orificio de desagüe con sellador para acuario.

Entrada de nutrientes

1. Ponga perlita lavada dentro de la mitad superior de cada modelo. Plante los sustratos de perlita con semillas de pasto rye grass que han sido remojadas durante una hora para



- acelerar la germinación.
2. Cubra cada modelo con una bolsa de papel durante tres días. Mantenga las semillas humedecidas con agua destilada.
 3. Luego de que las semillas han germinado, remueva las bolsas de papel. Vierta 60 ml de agua de estanque en el embudo superior de cada modelo de modo que escurra a través de la perlita en el bote receptor en el fondo. Si desea acelerar el crecimiento de las algas, contamine el agua en los botes receptores con iguales cantidades de cultivo de *Euglena*, una especie de algas verdes.
 4. Exponga los modelos a una fuente de luz, como una lámpara de crecimiento o una lámpara fluorescente, o si está realizando el experimento durante la primavera, sitúe los modelos en la ventana. Asegúrese de que los modelos de prueba y control reciban la misma cantidad de luz.
 5. Haga una solución de fertilizante de reserva añadiendo 2 gramos de fertilizante para plantas domésticas a un litro de agua destilada. Luego haga una solución más débil de reserva del 5 % (5:100). Cada 2 o 3 días, añada 20 ml de agua destilada al modelo control. Si hay disponible agua de lluvia limpia, puede emplearla en lugar del agua destilada tanto en la solución fertilizante como en el control. Esto estimulará una situación natural en donde el agua de lluvia arrastra el fertilizante hacia el agua subterránea y luego hacia los lagos, ríos o marismas.
 6. en tres o cinco semanas, las algas habrán crecido tanto en el modelo experimental como en el control; sin embargo, los modelos nitrogenados tendrán mayor crecimiento. Discuta cómo podría responder cada modelo durante un periodo largo de tiempo. Compare el crecimiento de las plantas en los marismas y discuta cómo los nutrientes influyen a las plantas del marisma y qué hacen los marismas para contrarrestar el residuo de nutrientes de tierra.

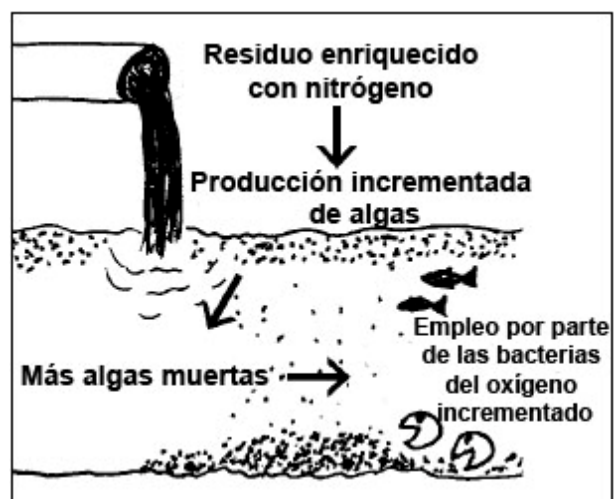
Prueba de oxígeno disuelto: Los nutrientes incrementan el crecimiento de algas. Como todas las células vegetales, las algas producen oxígeno durante las horas de día a través de la fotosíntesis y también emplean el oxígeno del agua para llevar a cabo la respiración aeróbica. Durante la noche y durante los días nublados,

estas plantas utilizan más oxígeno que el que producen. Luego de que las plantas mueren, oxígeno adicional es necesitado por las bacterias que descomponen el material orgánico muerto. En lagos y estanques enriquecidos con nutrientes donde prolifera el crecimiento de algas, los niveles de oxígeno disuelto pueden caer tan bajo que los peces y otros organismos acuáticos no pueden sobrevivir.

Luego de que se ha desarrollado un obvio crecimiento de plantas en el bote experimental enriquecido con nutrientes (en 3-5 semanas), los modelos pueden ser utilizados para ilustrar cómo las poblaciones incrementadas de plantas acuáticas pueden disminuir la cantidad de oxígeno disuelto en el agua:

1. Remueva el agua tanto del bote experimental como del control utilizando una jeringa. descargue con gentileza el agua dentro de una BOD (Demanda bioquímica de oxígeno) de 60 ml o más pequeña para experimentar con el oxígeno disuelto con un kit experimental de LaMotte o Hach o tiras de prueba Chemetrics.
2. Compruebe el agua de cada modelo luego de que ambos han sido expuestos un día entero a la luz de día. Compruebe de nuevo luego de que los modelos han sido cubiertos o puestos a la sombra por 12 hrs, asegurándose de que queden como muestra tan pronto como sean removidos de la sombra.

Actividad matemática ampliada: Pese el agua de estanque en cada experimento. Filtre y seque los materiales. Pese los materiales secos para encontrar su biomasa. ¿Cuál es el radio para la biomasa del agua contaminada?



Discusión: Compare los cambios en los niveles del oxígeno disuelto en cada modelo. ¿En qué modelo hubo una disminución mayor en el oxígeno disuelto durante el periodo oscuro? ¿Qué modelo tuvo el mayor nivel de oxígeno disuelto luego de un día completo de luz? Que los estudiantes expliquen las diferencias que observen. Discutan las implicaciones de perder los merismas, que actúan como amortiguadores al tomar los nutrientes que entran a los ríos y lagos como residuo. Discuta las formas en que las actividades humanas sobre la tierra aceleran el proceso de eutrofización en los canales.

“La contaminación por nitrógeno desde los conmutadores de la escuela” y “Respuesta del nitrógeno en especies nativas e introducidas” fueron desarrollados por David A. Bainbridge. El modelo de descarga de nutrientes fue desarrollado por el Dr. Kevin Curry, biólogo en el Bridgewater State College en Bridgewater, Massachusetts. El acompañamiento para las instrucciones y actividades fue desarrollado por Barbara Waters y Faith Burbank para el programa de Massachusetts Bays Watershed de educación para la enseñanza.