

UN PANTANO CONSTRUIDO DEL MONITOREO A LA ACCIÓN

Un proyecto de monitoreo de calidad de agua se convirtió en un experimento utilizando pantanos construidos para tratar el legado tóxico de una mina de oro abandonada.

Por **Dan Kowal**

Traducido por **Lola Varas**

Áreas: Ciencias, matemáticas, artes de lenguaje

Conceptos claves: Drenaje ácido de mina, pantanos construidos, fito remediación, pH, metales pesados, adsorción, precipitación.

Habilidades: Uso el método científico, observación, tomar medidas científicas, síntesis de datos y análisis, habilidades de presentación.

Ubicación: En el exterior

Tiempo: 1 día al mes para preparar el equipo, ir al sitio y completar el muestreo: 1 hora de clase por semana.

Materiales: Equipo de monitoreo de calidad de agua.

Colorado, como su nombre lo indica y durante el otoño, tiene montañas de color rojo debido a los sauces que hay a lo largo de sus riveras. Y es el color rojo el que atrajo a un grupo de estudiantes a un pequeño riachuelo en una montaña cerca de Denver en 1991.



Dan Kowal

“Las rocas lucen oxidadas” dijo uno. “Lucen como el guarda choques del carro viejo de mi papá” dijo otro. Sus observaciones eran correctas. Era óxido de hierro – en otras palabras, herrumbre. ¿Pero de donde venía? ¿Era malo para el riachuelo? De ser así ¿qué se podía hacer? Incentivando la curiosidad de los estudiantes y los profesores al mismo tiempo, estas preguntas llevaron a un curso de monitoreo del río realizado por niños de entre 12 y 14 años y un experimento innovador de ocho años de duración usando un pantano construido para tratar el drenaje ácido de una mina abandonada.

En 1992, los estudiantes de The Logan School for Creative Learning en Denver empezaron a monitorear el riachuelo mediante un programa llamado Rivers of Colorado Water Watch Network, o River Watch. Auspiciados por la División de Vida Silvestre de Colorado y con el apoyo financiero obtenido de las licencias estatales para pescar, el programa les proporciona a las escuelas un equipo de prueba de calidad de agua, una computadora y un análisis de laboratorio de metales pesados. A su vez, los estudiantes recolectan datos sobre los riachuelos o ríos en su cuenca de acuerdo a estrictos protocolos de muestreo y pruebas.

Mientras que sus sesiones en clase se enfocaban en la interpretación de las pruebas y los análisis de datos, los estudiantes del River Watch visitaban el riachuelo cada mes para hacer pruebas de metales pesados, pH, alcalinidad, dureza, temperatura y oxígeno disuelto. Luego de dos años, los datos del muestreo de los estudiantes indicaron que las concentraciones de zinc, cobre y hierro en el riachuelo sobrepasaban las normas estatales para la supervivencia de vida acuática. Al enterarse de las operaciones de minas de oro en el pasado en el área cercana a Denver denominada Gamble Gulch, los estudiantes sospecharon de la existencia de una mina abandonada corriente arriba. Investigaciones posteriores confirmaron sus sospechas: el agua procedente de la mina tenía un pH de 3.0, y una investigación de una muestra de agua demostró que la diversidad de la cantidad de especies caía de 28 a 1 luego de que el torrente principal del riachuelo pasaba por la mina.

Convencidos de que tenían un problema en sus manos, los estudiantes de River Watch empezaron a buscar posibles soluciones. Un taller sobre drenaje ácido de minas llevado a cabo por el U. S. Geological Survey inició a la clase en un proceso de tratamiento de tecnología reducida pero que requiere mucha mano de obra usando piedra caliza para elevar el Ph y pantanos construidos para eliminar los metales pesados. El proceso ha sido desarrollado por el Colorado School of Mines y el éxito de sus experimentos inspiró a los estudiantes de Logan para empezar a

diseñar un sistema de pantano para probar si podría ser un medio efectivo para remover metales pesados del riachuelo. La Facultad de la Escuela de Minas y los estudiantes graduados ayudaron en el proceso de diseño, la División de Colorado de Vida Salvaje proporcionó la ayuda financiera y la División de Colorado de Minerales y Geología proporcionó la ayuda en especie.

Los Estudiantes del River Watch en 1994 limpiaron el terreno para la construcción de cuatro sistemas de tratamiento de pantano. Junto con las brigadas de trabajo de verano y otoño conformadas por padres, estudiantes y profesores, así como las familias de otra escuela ubicada río abajo, el proyecto se terminó en el verano de 1996. Durante este tiempo la clase continuó recolectando datos en diferentes sitios del arroyo, que ingresaban a una computadora y la enviaban a la División de Colorado de Vida Salvaje. Además de escribir informes analíticos de sus hallazgos, los estudiantes prepararon y obtuvieron una donación del Grupo de Trabajo 319, un comité coordinado por el Departamento de Salud de Colorado que proporciona fondos a proyectos de limpieza de fuentes de contaminación. Este dinero les permitió terminar el proyecto.

El sistema de pantano

Los principales componentes del sistema de pantanos fueron un canal subterráneo, una balsa de decantación, y cuatro celdas de pantano. Donde el agua de mina emanaba de una galería de desagüe (una entrada que es casi horizontal) el sistema de tratamiento empezaba con una desviación del agua a través de una canal de desagüe lleno de piedra caliza triturada (ver diagrama)

Este canal subterráneo cubierto de Hypalon (material para cubierta de las balsas) era de



aproximadamente 7.5 metros de largo, 60 centímetros de ancho y 30 centímetros de profundidad (24 pies de largo, 2 pies de ancho y 1 pie de profundidad). Al pasar el efluente a través del canal subterráneo, el carbonato de calcio en la piedra caliza elevaba el pH del agua sobre 4.9. Este aumento en el pH permitía a la bacteria catalizar la adsorción de metales pesados en los substratos del pantano de estiércol y fertilizante orgánico.

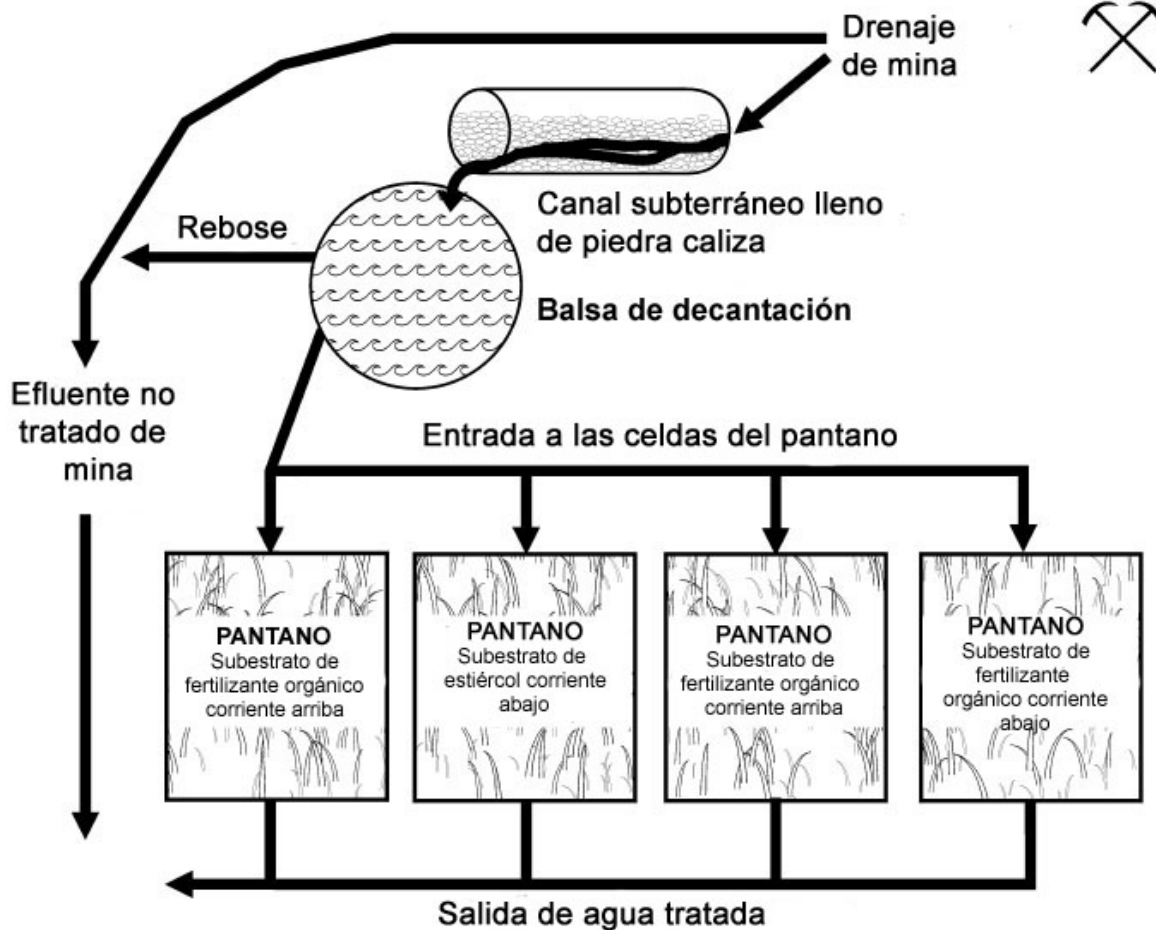
Emergiendo del canal subterráneo el efluente se recolecta en la balsa de decantación cubierta de Hypalon de aproximadamente 4.5 metros (15 pies) de diámetro y 1 metro (3 pies) de profundidad. Este embalse permitía la precipitación del óxido de hierro antes de que el efluente ingrese a las celdas del pantano, impidiendo así que el precipitado del óxido de hierro atasque el sistema.

La balsa estaba equipada con una tubería de rebose para prevenir los derrames durante el deshielo en primavera o en caso de un bloqueo causado por desperdicios en las tuberías que se acumulaban en los pantanos. Un sistema de tuberías compuesto de tubos de PVC de 3/4 de pulgada drenaba la balsa mediante gravedad que se alimenta a cuatro celdas de pantano separadas.

Las paredes de las celdas de pantano fueron construidas con vías de ferrocarril, planchas de metal y cubierta de Hypalon. Cada celda era de 2.5 por 2.5 por 1.2 metros de profundidad (8x8x4 pies) y contenía 5.5 metros cúbicos (200 pies cúbicos) o de estiércol o fertilizante de estiércol. Las bacterias en el estiércol reaccionaban con el agua para remover los metales pesados de la solución. También se añadió piedra caliza triturada – 6.4 metros cúbicos (25 pies cúbicos) a cada celda de pantano – para ayudar a elevar el nivel de pH. Las válvulas controlaban la tasa de flujo hacia cada celda a 3.8 litros (un galón por minuto.) Esta tasa de flujo predeterminada aumentó la longevidad del sub estrato que permaneció reactivo por un año por lo menos.

Desde el inicio, los estudiantes deseaban probar la eficacia de las diferentes configuraciones de pantanos para filtrar metales pesados. Para probar las diferencias en la reactividad entre substratos, dos de las celdas tenían estiércol y dos tenían abono de estiércol. Los estudiantes también

Diseño de un Sistema de Pantanos



deseaban establecer si la dirección del flujo de agua a través de los sub estratos influenciaría la remoción de metales pesados. Por lo tanto, se configuraron dos diferentes regímenes de flujo para cada sub estrato. En sistemas de corriente arriba el agua ingresaba a través de tubos perforados al fondo de una célula, subía a través del sub estrato y salía de la celda a través de una tubería de salida. Una cama de grava rodeaba los tubos perforados y los tubos de salida de las celdas corriente arriba para filtrar la basura. En sistema corriente abajo, el agua entraba a la parte superior de la celda y goteaba a través del sustrato. La presión de agua enviaba el efluente tratado de la mina a través de tubos perforados en el piso de la celda hacia arriba a través de una tubería de salida sólida. Una cubierta de 15 centímetros (6 pulgadas) de paja aislaba cada celda.

Resultados

Los estudiantes establecieron que los pantanos construidos reducían en forma significativa la concentración de metales pesados. Según los datos recolectados de Septiembre a Diciembre de 1996, cada pantano artificial reducía las cantidades de zinc, hierro y cobre bastante por debajo de los umbrales de toxicidad para peces y otra vida acuática. El pH aumentó a niveles más favorables de entre 6.0 y 8.0. En el otoño de 1997, los estudiantes presentaron sus hallazgos preliminares a la Fuerza de Tarea 319 y la siguiente primavera la clase proporcionó una actualización de su progreso a la Comisión de Control de Calidad de Agua de Colorado. Mientras tanto, los estudiantes mantenían su programa de muestreo mensual.

Desarrollando perspectivas

Luego de que los datos recolectados durante varios años demostraron que la tecnología de pantanos puede ser un enfoque viable para desintoxicar el drenaje ácido de mina, muchos

estudiantes se preguntaron, “¿Por qué no podemos limpiar este arroyo?”

Sin embargo, estaba claro que el procesar el agua de todo el arroyo necesitaría un sistema de pantanos mucho mayor que el sitio de estudio a pequeña escala; también requeriría experiencia, fondos y cooperación de una diversidad de partes interesadas con diferentes perspectivas.

Además, existía la duda de si tal esfuerzo tendría éxito a gran escala. El problema de limpiar el arroyo fue elegido como el punto central en un proyecto orientado a obtener mayor información y desarrollar perspectivas. En este proyecto, los estudiantes del River Watch se unieron con investigadores expertos en computación y de ciencias cognitivas de la Universidad de Colorado en Boulder que buscaban un modelo de aprendizaje cooperativo a través del uso de la computadora.

Los alumnos fueron divididos en cuatro grupos que representaban al gobierno, dueños de terrenos, compañías mineras y ambientalistas. Durante un año los grupos recolectaron información y entrevistaron a mentores adultos a fin de desarrollar su perspectiva en la factibilidad de usar pantanos construidos para limpiar arroyos completos contaminados por drenaje ácido de mina. Al final del año, los estudiantes expresaron sus puntos de vista en un debate muy interesante. El resultado fue el consenso de dos hallazgos:

- Los pantanos artificiales por si solos no son la solución total del problema de drenaje ácido de mina sino que son una parte de la estrategia que puede combinarse con otros enfoques.
- La Ley Ambientalista de Estados Unidos que protege los recursos hídricos (La Ley de Agua Limpia) debe enmendarse de forma tal que los “buenos samaritanos” que intentan limpiar vías de agua no sean responsables en caso de que sus esfuerzos no funcionen.

Terminación del Proyecto

Al final del año escolar 2000 el proyecto de pantanos construidos terminó, pero no antes de haber dado lugar a una diversidad de estudios interesantes.

Documentación

Dick Frazer, un minero de aproximadamente noventa años, que aún continuaba trabajando en su mina en Gamble Gulch, a menudo se detenía para revisar el progreso de los estudiantes. Dado que Dick conocía



toda la historia minera del Gulch, sus visitas les proporcionaban a los estudiantes un rico contexto histórico para su trabajo. Ellos planificaron y filmaron una entrevista con él, y con la ayuda de una instalación de producción fílmica, produjeron *The History of Gamble Gulch*. La cinta fue donada a la Sociedad Histórica de Colorado.

Tierras y fitoremediación

En la fase final del proyecto, la clase River Watch aseguró una donación de 319 participantes de Mano de Obra para llevar a cabo experimentos de tierra y planta en las cuatro celdas de tratamiento de pantanos. Como parte del cierre del sistema de pantanos, se hizo un muestreo de tierra para determinar si el contenido de metales pesados del sustrato sobrepasaban los lineamientos federales y estatales en cuyo caso, el estiércol o abono tendría que ser llevado a una instalación para tratamiento de desperdicios peligrosos. (Afortunadamente el sub estrato de las celdas no debió ser removido dado que los resultados del muestreo estaban muy por debajo de los estándares de seguridad). El muestreo del suelo también les proporcionó a los estudiantes información de respaldo para experimentos de plantas que involucraban fito remediación, el proceso de usar plantas para limpiar la polución. Los estudiantes estaban interesados en dos aspectos

- ¿Cómo absorben los metales pesados a las plantas del pantano?
- ¿Qué parte(s) de la planta – raíces, ramas o frutos- son más efectivas para concentrar los metales pesados?

En el verano los alumnos plantaron diversos tipos de hierbas en las celdas. A finales del otoño, cosecharon estas plantas que hicieron analizar en un laboratorio ambientalista local. Los alumnos

¿QUÉ ES DRENAJE ÁCIDO DE MINAS?

Mientras que la lluvia ácida ha captado los titulares durante las recientes décadas, una forma menos publicitada del ácido ha estado constantemente matando los riachuelos de este continente por más de un siglo. El drenaje ácido de minas, un efluente producido por las operaciones mineras, ha contaminado las cuencas en las Montañas Rocosas desde las exploraciones iniciales de plata y oro; y en áreas de minería de carbón como Pennsylvania, es el problema ambiental más serio que afecta los ecosistemas acuáticos.

El drenaje ácido de minas típicamente consiste en agua muy ácida con altas concentraciones de metales pesados. El proceso se inicia con la excavación de rocas que contienen compuestos de sulfuro, siendo la más común, la pirita de hierro, u "oro de los tontos". Cuando se expone al aire y al agua, los sulfuros se oxidan y forman ácido sulfúrico, que disuelve los metales pesados como el hierro, cobre, plomo, zinc y cadmio en las rocas. El efluente resultante o el drenaje ácido de minas buscan su salida a los ríos y riachuelos a través de filtraciones o corrimientos superficiales. Su acidez y altas concentraciones de metales pesados crean un entorno que es tóxico a los peces y otra vida acuática.

Las enormes cantidades de rocas de desecho – las culpables del drenaje ácido de minas, se generan en las operaciones mineras porque el metal que se extrae para el uso puede constituir una cifra tan baja como un por ciento del material excavado.

Las estadísticas del gobierno canadiense en 1991 indicaron que la minería en Canadá estaba generando aproximadamente dos millones de toneladas métricas de rocas de desecho y coluviales por día, todos con el potencial de causar drenaje ácido de minas. Si esta roca se deja expuesta al aire y al agua, continúa descomponiéndose durante décadas.

Se estima que en los Estados Unidos el drenaje ácido de minas abandonadas ha contaminado 19,300 kilómetros (12,000 millas) de arroyos y ríos y 73,000 hectáreas (180,000 acres) de lagos y reservorios.

Dada la magnitud del problema, el drenaje ácido de minas no va a limpiarse con facilidad. El neutralizar el efluente con cal reduce su acidez y precipita los metales pero causa un barro tóxico que es, en sí, un problema de contaminación. El sumergir completamente las rocas de desecho detiene la oxidación que causa la oxidación de sílfides que forman ácido y los coluviales que contienen ácidos en lagunas impermeables pueden detener la filtración en las vías de agua; sin embargo, ambos métodos requieren el mantenimiento perpetuo de las estructuras de contención.

Otra estrategia –la de cubrir los desperdicios mineros con cultivos y tierra – no es una garantía contra el agua superficial que se filtra a través de zonas activas ácidas y agua subterránea contaminante.

En la búsqueda de formas para tratar el drenaje ácido de minas, el potencial para los pantanos construidos para neutralizar y remover metales de los efluentes de las minas ha estado atrayendo el interés durante la década pasada. Se han llevado a cabo ensayos solamente a pequeña escala y todavía queda mucha investigación por hacerse. Pero como ecosistemas auto sustentables, los pantanos pueden ofrecer el remedio a largo plazo que se requiere para este problema ambiental de largo plazo.

Gail Littlejohn co-editor

Referencias

Consejo de Minería ambiental de Columbia Británica. "Drenaje Ácido de Minas". En línea en Marzo, 1998 en www.miningwatch.org.

Mills, Chris. "Una introducción al Drenaje Ácido de Rocas". En línea en Enero 2004 en <http://technology.infomine.com/enviromine/ard/Introduction/ARD.HTM>.

Sobolewski, André "Pantanos para el Tratamiento del Drenaje de Minas". En línea en Enero 2004 en <http://technology.infomine.com/enviromine/wetlands/welcome.htm>.

trabajaron en cinco grupos cada uno enfocado en un metal pesado diferente para analizar el comportamiento de cada planta. Los resultados se presentaron en un informe ante el Grupo de Trabajo 319.

¿Un proyecto repetible?

La dedicación, perseverancia y deseo de aprender son ingredientes clave para asumir un proyecto de esta magnitud. Como en cualquier proyecto escolar que dura varios años, el profesor es la clave para asegurar continuidad, manteniendo

El proyecto de pantanos demostró un esfuerzo comunitario que no podría haber logrado la escuela solamente. Su éxito se logró inicialmente identificando las fuentes potenciales de experiencia técnica y monetaria y el apoyo en especies. Las asociaciones con las agencias

frescas las metas del programa y dirigiendo la actividad estudiantil hacia el pequeño hito que llevará a las metas finales. Afortunadamente en la clase de River Watch existía usualmente un grupo clave de estudiantes que tomaban el curso durante dos años. Los estudiantes que repetían el curso enseñaban a los recién llegados los procedimientos de pruebas de calidad de agua y el esquema general del proyecto. La oportunidad de asumir roles de liderazgo les daba a los estudiantes un sentido de propiedad y responsabilidad.

estatales y el respaldo de mentores a través de universidades locales fueron invaluable. Especialmente, la División de Minerales y Geología, una agencia estatal responsable de reclamación de minas, puso a la escuela en contacto con los propietarios de tierras para iniciar el proyecto. Los científicos de todas las

instituciones fueron accesibles y respondieron las preguntas de forma puntual. Con este tipo de ayuda, nunca tuvimos la sensación que debíamos ser expertos para llevar a cabo el proyecto. Todo requirió de mucho esfuerzo. El tener 60 o más voluntarios – estudiantes, familias, profesores y muchos otros – ayudó a la clase a terminar el proyecto relativamente sin costo. El costo del sistema de tratamiento de pantanos estuvo dentro de los \$ 6,000. La parte costosa del proyecto fue el tiempo.

Cada año emergía una oportunidad de aprendizaje diferente para la clase River Watch. Mientras que planificar nuevos materiales en ocasiones era una tarea pesada para la profesora, el cambio anual mantenía al proyecto intrigante para todos los involucrados. Su duración e investigaciones no intencionales llevaron a los estudiantes a un activo proceso de aprendizaje que les será muy útil en el futuro. Un antiguo estudiante de River Watch, por ejemplo, ha liderado un esfuerzo para que el campus de su universidad se torne “verde” con dispositivos de uso eficiente de la energía en los edificios actuales y estándares ambientales rigurosos para nuevos edificios.

El primer grupo de estudiantes River Watch que trabajaron en el diseño y construcción del pantano no tuvieron la oportunidad de ver su conclusión. Pero su espíritu investigador construyó las bases para futuras investigaciones. Por esta razón, siempre he preguntado a las sucesivas clases de River Watch si han notado una vista, un olor, un sonido o un sabor que parecía fuera de lugar. ¿Investigaban o hacían preguntas? Entonces les dije que los pantanos construidos empezaron con la curiosidad de unos pocos estudiantes que notaron el color rojo en un riachuelo de la montaña.

Dan Kowal, un antiguo profesor en The Logan School for Creative Learning en Denver Colorado, ahora trabaja como programador de páginas Web para la Administración Atmosférica Oceanográfica Nacional del Centro Geofísico Nacional donde sus habilidades continúan respaldando la educación ambiental.

Lola Varas es una traductora Inglés – Español de Guayaquil, Ecuador que colabora con nosotros.