



A comienzos de julio de 1997, el sistema de baja presión "Zolska" ocasionó torrenciales lluvias sobre las regiones montañosas de la República Checa y Polonia dejando un vasto y desolador paisaje de inundaciones. Sobre las montañas de Hrubý Jeseník precipitaron hasta 595 litros de lluvia por metro cuadrado; un tercio de la República Checa se encontraba bajo el agua. Murieron 65 personas y, sólo en Polonia, decenas de miles quedaron sin techo. La ola de inundaciones también afectó la región alemana del Oder. Los pobladores tuvieron que ser

Lo cierto es que las crecidas son fenómenos naturales recurrentes. El hecho de que en Alemania tengan consecuencias tan devastadoras es el resultado de la mala planificación urbana: cada vez más **áreas inundables** naturales desaparecen para dar lugar a nuevas zonas industriales y urbanas. De este modo, se pierde la importante capacidad de retención de agua local. En lugar de ello, los ríos incrementan su caudal. Para un mejor transporte fluvial se rectifica su cauce convirtiéndolos en autopistas para las masas de agua.

Cuando el bosque se convierte en océano

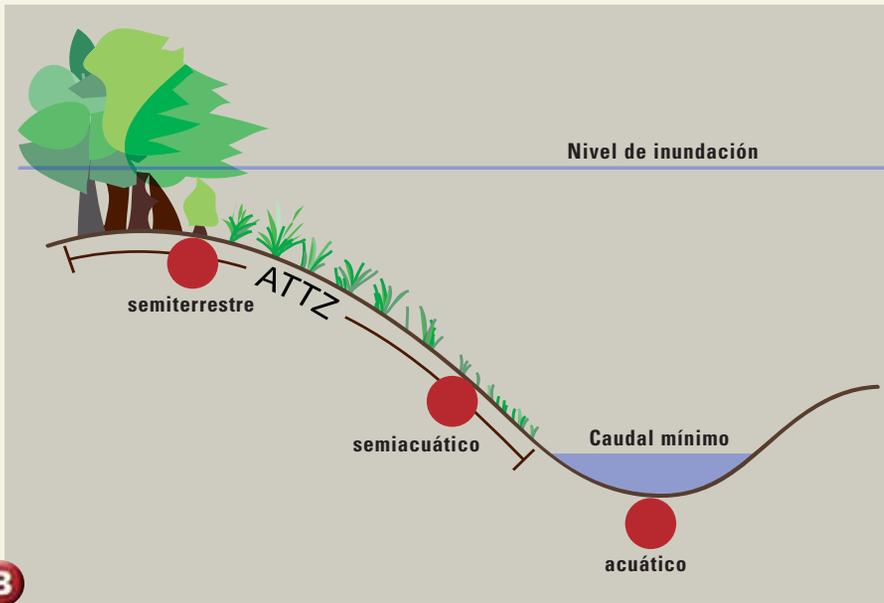
Investigar en la tierra aluvial del Amazonas

evacuados y el ganado puesto a salvo. El 27 de julio, en Francfort del Oder, el nivel del agua alcanzó una altura récord llegando a 6,57 metros. Se movilizaron varios miles de soldados del ejército alemán, miembros de la ayuda humanitaria para catástrofes y bomberos. Los daños causados por la inundación sumaron 500 millones de euros. Cinco años después, en el verano de 2002, las personas volvieron a ser víctimas de otra catástrofe por inundación. Esta vez, a lo largo del río Elba y de sus afluentes, cientos de miles de personas perdieron sus hogares y sus pertenencias.

En la Amazonia sucede algo completamente diferente: inmensas zonas de inundación, en su mayoría todavía intactas, caracterizan el paisaje y la vida de personas, animales y plantas (**Fig. A**). Durante el período de lluvias, que va de diciembre a mayo, aquí caen más de 2.000 mm de lluvia al año (en Alemania llueven entre 500 y 800 mm por año). En estas planicies, los ríos y arroyos no tienen capacidad para contener tanta →

A





▲ El pulso de inundación determina los procesos en las zonas de inundación. Los procesos bióticos (concernientes a la naturaleza viva) y los abióticos en la denominada zona de transición acuático-terrestre (por su sigla en inglés ATTZ, *Aquatic Terrestrial Transition Zone*) regulan la composición de especies, las redes tróficas y los ciclos de los nutrientes. Fotos sobre la derecha: a) período de crecida; b) período de sequía; c) artrópodos diminutos sobreviven los períodos de crecida que duran entre 5 y 7 meses dentro de un capullo sedoso, en la tierra aluvial de los ríos de aguas negras.



Foto: J. Adis

→ agua e inundan extensas regiones. El cauce principal del Amazonas, que a lo largo de 2.000 kilómetros tiene un ancho promedio de cinco kilómetros, en época de crecidas llega a tener una anchura de hasta 120 kilómetros. El río más caudaloso del planeta y sus numerosos afluentes inundan 300.000 km² de superficie hasta una altura de 15 metros. Durante el período de lluvias, una quinta parte del total de la región amazónica, aproximadamente 1,4 millones de km² de selva y sabana que equivalen a cuatro veces la superficie de Alemania, se halla temporalmente bajo el agua.

PASADOS POR AGUA EN EL ECUADOR

Para el ecosistema sería catastrófico que no existieran estas inundaciones naturales, ya que a lo largo de la evolución, la naturaleza de estas zonas se ha ido adaptando perfectamente a la alternancia entre períodos secos y húmedos (Fig. B). Algunas especies animales, como por ejemplo muchos ácaros del suelo e incluso los ciempiés que se escabullen en la tierra cuando el nivel del agua es bajo, pueden seguir viviendo bajo el agua. Otros animales, como lombrices, arañas u hormigas, migran hacia zonas no inundadas o hacia los árboles de los bosques inundados. Y, por último, existen otras especies de animales como los colémbolos o muchos escarabajos tigre que pasan por los llamados estados de latencia, sobreviviendo el suelo inundado durante varios meses en un estado fisiológico de inactividad en forma de huevos o

larvas. La pulga de agua pone huevos de resistencia poco antes de que la tierra se seque y las pulgas jóvenes recién eclosionan cuando se produce la siguiente crecida. Las personas que viven en las zonas de inundación construyen sus casas sobre pilotes previendo la situación. Pero no se toman estas y otras molestias para contrarrestar el avance de las inundaciones periódicas sin una razón importante: en el período seco, a orillas de los llamados **ríos de aguas blancas**, disponen de tierras particularmente fértiles. Estos ríos, como el Amazonas y algunos de sus afluentes, nacen en Los Andes geológicamente jóvenes, arrastrando consigo altas concentraciones de diminutas partículas de sedimentos y nutrientes disueltos. Por eso, la visibilidad es de hasta medio metro de profundidad como máximo. Estos ríos deben su nombre al color claro (ambarino) que poseen, parecido al del café con leche.

En cambio, los **ríos de aguas negras**, como el Río Negro en el norte de Amazonia, son de color marrón intenso como el té, a causa de los ácidos húmicos disueltos en el agua. Estos ríos recorren gigantescos bosques pantanosos y suelos arenosos, llevándose consigo las sustancias húmicas de esos terrenos. El agua no contiene partículas suspendidas —la visibilidad es de poco más que un metro— y, en comparación con la de los ríos de sedimentos, tiene muy pocos nutrientes. En época de crecidas, cuando los pobladores de las zonas de inundación no

pueden practicar la agricultura, muchos viven de la pesca. Durante el período de lluvias, gran cantidad de peces migran del cauce principal a las zonas inundadas, donde se especializaron para alimentarse de frutos, flores e insectos que caen de los árboles. Por ejemplo, el Tambaqui, un pariente de las pirañas, pero de mayor tamaño, llega a pesar hasta 30 kilos y es capaz de partir nueces duras con sus poderosos dientes. Pero, a diferencia de las pirañas, el Tambaqui es estrictamente vegetariano.

DEFORESTACIÓN DE LAS SELVAS TROPICALES

Sin embargo, la subsistencia de estos delicados ecosistemas se ve cada vez más comprometida: los modernos métodos de explotación agrícola desplazan el saber ancestral acerca del aprovechamiento sustentable de los animales y plantas en las zonas de inundación. El aumento vertiginoso de la población de Manaos y otras ciudades incrementa la demanda de alimentos y entre ellos, la carne. Por eso, cada vez más productores de ganado crían grandes rebaños de vacunos y búfalos de agua en las áreas de inundación. Para disponer de suficientes pasturas para el ganado, se desmontan extensas superficies de bosque. Además, cada vez más ejemplares gigantes de árboles añejos de la selva virgen son víctimas de la explotación forestal. Se calcula que anualmente Brasil pierde miles de millones de dólares debido a la deficiente extracción de la madera. Por cada metro cúbico de madera puesto en el mercado, se destruyen en promedio cinco metros cúbicos durante la tala. Un tronco de gran porte derriba hasta otros treinta árboles y abre un claro de hasta 600 m² en el estrato superior del dosel de la selva.

A los leñadores de los bosques inundables se les hace bastante fácil, puesto que para trabajar no necesitan usar caminos ni tractores. Talan los árboles durante el período de seca y en la siguiente inundación, el río acarrea fácilmente los troncos. Por eso, no sorprende que el 90% de la madera talada en el estado de Amazonas provenga de los bosques de inundación. Según estima la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), entre 1900 y 1975, casi la mitad de las selvas tropicales existentes en todo el mundo se transformaron en áreas de cultivo o se desertificaron. La superficie se redujo de 18 millones a 8,8 millones de km². Aproximadamente la mitad del bosque tropical remanente se encuentra en la región amazónica. Así y todo, desde agosto de 2002 hasta agosto de 2003, solamente en la parte brasilera, se deforestaron casi 24.000 km². Para Wolfgang Junk, director del Grupo de Trabajo de Ecología Tropical del Instituto Max Planck de Limnología con sede en Plön, la protección de las selvas tropicales es, por lo tanto, un asunto central. Junk está convencido: "Cuánto más sepamos acerca de los procesos biológicos concretos de estos ecosistemas únicos, mejores propuestas podremos hacer para su aprovechamiento ecológico". Por eso, los investigadores incluyeron la búsqueda de respuestas a múltiples preguntas en su agenda, como por ejemplo: ¿cómo logran los árboles en la Amazonia sobrevivir durante varios meses en el agua? ¿A qué cambios están sujetos la fotosíntesis y la tasa de crecimiento? y ¿cuánta madera se puede talar por año en esta región sin destruir de este modo los bosques en forma irreparable? Hace unos 35 años, Junk comenzó a investigar una nueva área de la biología: "Si bien disponíamos de conceptos para ecosistemas puramente acuáticos o terrestres, no había ninguno que explicara las condiciones dadas en ese tipo de

regiones que alternan periódicamente entre una región húmeda y una seca. En las zonas de inundación, ambos estados representan las dos caras de una misma moneda y no deben separarse."

AL RITMO DE LAS INUNDACIONES

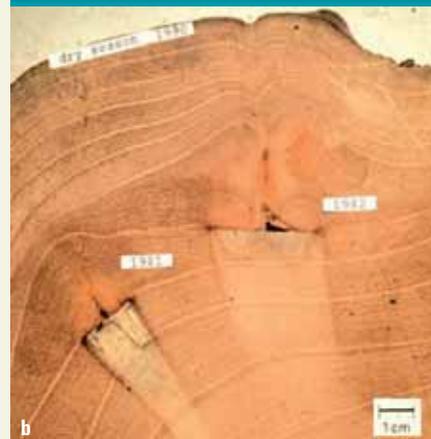
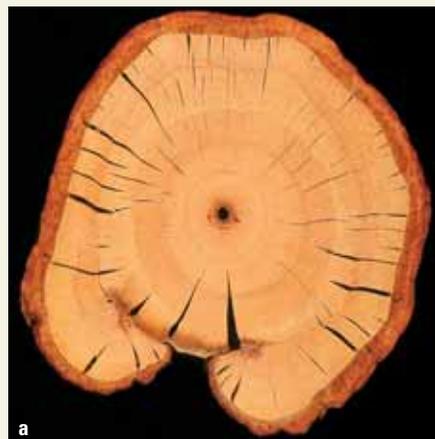
El investigador y sus colegas desarrollaron el denominado concepto del **régimen de pulsos de inundación**. Este concepto describe cómo la alternancia entre inundaciones y períodos secos determina la vida en las zonas inundables del mundo, del mismo modo que **el régimen de pulsos de temperatura y luz** se ocupa del cambio de estaciones y los cambios asociados en la naturaleza. "Dado que en los trópicos, las inundaciones se producen en forma regular—es decir que son predecibles— los animales y las plantas pueden adaptarse", explica Junk. "Aquí en Alemania, en cambio, se producen en forma irregular. Al fin y al cabo, ni las precipitaciones ni los deshielos son fenómenos que se puedan predecir con exactitud. Por esa razón, para los organismos es mucho más difícil aprovechar las crecidas." A fines de junio, principios de julio, en la Amazonia hay inundaciones regularmente; en cambio, en noviembre y diciembre el nivel del agua alcanza los niveles más bajos. Por eso, muchas especies de peces acumulan grandes reservas de grasa durante las inundaciones, dado que en ese momento, la oferta de alimentos es particularmente alta y, por lo tanto, la competencia entre los peces muy reducida. Cuando el agua se retira, los animales se alimentan poco o

nada. Al mismo tiempo, las hembras producen grandes cantidades de huevos, pero recién desovan cuando el nivel del agua vuelve a subir. De esta forma se aseguran de que los alevines salgan del huevo cuando existe otra vez suficiente agua y alimento.

En los últimos años, Wolfgang Junk y sus colaboradores estudiaron en detalle los aspectos más distintivos de la vida en las zonas inundables de la Amazonia, como así también, la forma en que los árboles se adaptan al régimen de pulsos de inundación. "En el invierno alemán, un manzano puede permanecer en el agua por un par de semanas sin que esto le cause grandes inconvenientes; en cambio en verano—es decir, durante la etapa de crecimiento— moriría al poco tiempo. El encharcamiento impide que el oxígeno llegue a las raíces del árbol. Eso ocasiona que las raíces más finas mueran ya que, a pesar de encontrarse en el agua, el árbol es incapaz de absorber más agua y se seca", puntualiza el ecólogo.

RESPIRAR BAJO EL AGUA

Más de mil especies de árboles en la Amazonia fueron desarrollando las más diversas estrategias de adaptación para contrarrestar las condiciones de crecimiento extremadamente desfavorables durante la etapa de inundación: cuando el agua de inundación penetra los poros del suelo, el intercambio gaseoso queda fuertemente restringido. Por este motivo, bajo condiciones tropicales, ya a las pocas horas se produce la falta de oxígeno en el suelo y,



ANILLOS DE CRECIMIENTO SIN CAMBIO ESTACIONAL

¿Cómo se forman los anillos en la madera de los árboles de los bosques de inundación? El aumento del diámetro de los árboles depende de diversos factores ambientales: en latitudes medias como las de Alemania, varía en función del pulso anual de la temperatura y de la luz. Mediante este proceso, se forman los llamados anillos de crecimiento. A fin de estudiar la causa de la formación de los anillos en los árboles de los bosques de inundación, durante tres años consecutivos y al finalizar cada período de inundación, los investigadores de Plön tallaban una "ventana" de aproximadamente 1 cm de largo en la corteza de un árbol. Con el tiempo, estas heridas causadas a los árboles volvían a sanar (**foto a**). A los diez años de iniciar el experimento, los científicos cortaron una rodaja del tronco en el lugar donde tiempo atrás habían realizado las heridas. En la **foto b** se pueden observar las heridas claramente. Su longitud prueba, en primer lugar, que durante la fase de inundación el árbol creció muy poco y, segundo, que aquí también los anillos se forman a ritmo anual. En consecuencia, es el pulso de inundación quien controla el crecimiento.

Con el fin de testear el comportamiento de los árboles que están completamente bajo el agua, en un invernadero los ecólogos tropicales criaron pequeñas plantas de semillas que habían recolectado cerca de Manaus. Colocaron dos árboles jóvenes en acuarios llenos de agua de lluvia a 28° C. Uno de los dos recipientes de vidrio era iluminado con luz artificial, el otro fue cubierto con una lámina oscura para que la planta que estaba en su interior quedara aislada de la luz. Los investigadores dejaron a los árboles bajo las mismas condiciones durante tres meses, filtrando únicamente el agua de manera continua. El resultado es sorprendente: pocos días después de emerger del agua ambas plantas, sus hojas funcionaban perfectamente, es decir, realizaban la fotosíntesis exactamente igual que antes del experimento. Actualmente, los investigadores de Plön estudian qué mecanismos les permiten a estas plantas estar sumergidas durante meses permaneciendo, además, en la oscuridad.

Foto: D. Waldhaff



→ como consecuencia, sube la concentración de compuestos tóxicos para las plantas como, por ejemplo, el metano. La interrupción de la oxigenación en el tejido de las raíces conlleva que las células no posean suficiente energía como para absorber el agua y los nutrientes. Algunas especies de árboles cubren su demanda energética mínima mediante **reacciones metabólicas anaeróbicas**, es decir, que se realizan en ausencia de oxígeno. Otras especies pueden mantener el nivel de energía de las células de las raíces mediante adaptaciones anatómicas y morfológicas: células en la corteza permeables a elementos gaseosos permiten que el oxígeno atmosférico sea absorbido y transportado internamente hacia los órganos inundados. Además, en condiciones de inundación, a la altura de la superficie del agua y directamente a partir del tronco se forman las llamadas **raíces adventicias**, que alcanzan una longitud de hasta 4 metros. El agua que las rodea las provee de oxígeno —debido a los remolinos que se forman, el agua de inundación es particularmente rica en oxígeno disuelto— y de esa forma logran cubrir la demanda de agua de la copa del árbol. Gracias a ello, incluso con inundaciones de hasta ocho metros muchas especies de árboles logran conservar sus hojas, activar la fotosíntesis y, por encima del nivel del agua, florecer y dar frutos y hojas nuevas.

Curiosamente, los troncos de los árboles de las selvas tropicales de inundación poseen anillos de crecimiento. En latitudes medias, estos anillos se forman porque los árboles crecen a distinta intensidad durante cada estación e intercalan un descanso en invierno. Pero en los trópicos no se producen cambios de estación, entonces, ¿cuál es el origen de

estos anillos? Los científicos de Plön pudieron demostrar que el régimen de pulsos de inundación también desempeña un papel decisivo en el crecimiento del árbol: únicamente en los períodos con un bajo nivel de agua, cuando las raíces se oxigenan bien, el diámetro de los troncos se incrementa para luego descansar durante las etapas de inundación (**Fig. C**). Esto quiere decir, que también las especies bien adaptadas sufren de estrés por inundación.

EL APROVECHAMIENTO DE LA TIERRA DE CARA AL FUTURO

Además de llevar a cabo este tipo de investigación básica, el equipo de Wolfgang Junk participa en el desarrollo de conceptos para el **uso sustentable** de los ecosistemas tropicales. Dos colaboradores del Instituto Max Planck de Plön se han instalado en Manaus con ese fin. Junto con unos doce colegas brasileros, emprenden viajes a las zonas de inundación que duran días y a veces semanas o meses. Junk también viaja al lugar tres o cuatro veces por año. “Allí examinamos de cerca distintas formas de aprovechamiento del suelo y las evaluamos”, explica el científico. En la Amazonia, 17 millones de pequeños productores luchan por su existencia. Según un estudio realizado por el Instituto de Economía Mundial de Kiel, Alemania, entre el 5 y el 10% de la renta nacional del Brasil proviene del bosque lluvioso; por lo tanto, no es tan simple prescindir de ello. Pero ¿qué sucede cuando, por ejemplo, los campesinos talan el bosque de inundación para que en las superficies que han quedado al descubierto durante el período seco pasten los animales? “De esa forma, los campesinos pueden vender más carne pero menos madera”, explica Junk. “Sin embargo, durante el período de lluvias disminuye

más que nada la cantidad de peces; en general, la **diversidad de especies** se reduce fuertemente y se incrementa el peligro de erosión hídrica, porque desaparecen lo que eran las barreras contra la corriente.” A eso se le agrega que la carga animal en esta región es muy baja. Por esta razón, el rendimiento de la cría de ganado extensiva en las áreas de inundación en general es muy bajo y este tipo de aprovechamiento del suelo a gran escala es, a fin de cuentas, poco recomendable. De modo similar los investigadores de Plön analizaron otras formas de agricultura, tal como son practicadas actualmente en los bosques de inundación —siempre con la intención de que, sobre todo, los políticos brasileros responsables de esta área traduzcan la mayor cantidad de resultados científicos en prácticas para la protección del medio ambiente. “Lamentablemente, no nos arrancan de las manos los datos obtenidos”, bromea Junk, “pero, algún día, el sufrimiento será tan grande que el cambio será forzoso”. Al menos en los últimos años, la superficie de las zonas protegidas se extendió a aproximadamente el 10% de la superficie total de la Amazonia.

PIE DE IMPRENTA

Sociedad Max-Planck, departamento de información y relaciones públicas, Hofgartenstraße 8, 80539 München / e-mail: presse@gv.mpg.de

Redacción: Dra. Christina Beck

Texto: Ute Hänslér

Traducción: Astrid Wenzel

Diseño: www.haak-nakat.de

La versión en español se hizo con el apoyo del DAAD y con fondos del Ministerio de Relaciones Exteriores de Alemania.



SIEMENS

DAAD Deutscher Akademischer Austausch Dienst
Servicio Alemán de Intercambio Académico

