



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

Ya sea en el tórrido desierto de Australia, en el clima relativamente fresco del Japón, en la llanura del río Po en Italia, o en el Himalaya a tres mil metros sobre el nivel del mar, el arroz crece, porque se ha logrado adaptar a un número de condiciones ambientales y pareciera poder hacerlo en todo el mundo. Para ser más precisos: encontramos arrozales en 89 países, en seis de los siete continentes; únicamente en el frío extremo de la Antártida no hallaremos una sola planta de arroz.

### LA COMIDA ESTÁ SERVIDA: EL ARROZ SE COME EN TODO EL MUNDO

En la actualidad, se producen aproximadamente 600 millones de toneladas de arroz; el 90% de la producción se encuentra en Asia. Así, el arroz es el alimento básico para casi la mitad de la población mundial. El cultivo hace a la impronta de muchas culturas y comarcas, como en la isla de Bali, Indonesia, o las Filipinas, donde gigantescas terrazas de cultivo caracterizan el paisaje (Fig. A). En muchas regiones,

## Chimeneas de metano

### Cómo el cultivo de arroz arruina el clima

Desde hace milenios, los seres humanos aprecian la rusticidad y la versatilidad de este cereal. Si bien los expertos todavía no están seguros cuándo y dónde se cultivó arroz por primera vez, existen indicios de que en Asia ya se lo cultivaba sistemáticamente hace unos 8.000 años. Se sabe con certeza, que los chinos ya contaban con arrozales hace unos 5.000 años. A través de la India y de Persia, el cereal llegó a las fértiles llanuras del Éufrates y a Egipto. En el siglo IV a.C., Alejandro Magno lo llevó al Mediterráneo durante sus campañas militares. En España, los moros cultivaban arroz en el año 1.000 d.C. Los italianos y los españoles comenzaron a establecer sus propios arrozales en el siglo XVI. En la misma época, los europeos llevaron el arroz a Centro y Sudamérica; en el siglo XVII, finalmente también los norteamericanos comenzaron a cultivar este cereal.

el arroz incluso es apreciado como una suerte de objeto de adoración divina: para los habitantes de Bali, la planta de arroz representa a la diosa de la vida y de la fertilidad. Los científicos estiman que hay unas 120.000 **variedades de arroz** diferentes en todo el mundo, aunque apenas se cultivan unas pocas. El arroz es una gramínea anual que, según la especie, alcanza hasta 1,50 metros de altura y se parece bastante a la avena. Presenta un tallo delgado, del cual penden espigas de unos 30 centímetros de largo que albergan entre 50 y 150 granos de arroz. La variedad de arroz más rústica es la que se cultiva a secano y que puede ser cultivada incluso a 2.000 metros de altura sobre el nivel del mar sin riego artificial. Pero las cosechas de estas variedades no son particularmente abundantes. En cambio, con las variedades de arroz que se cultivan en tierras húmedas o inundadas, los campesinos logran





Foto: Ulrike Harms / Instituto Max Planck de Microbiología Terrestre

**B**

diez toneladas por hectárea. A cargo de la coordinación de estos trabajos estuvo el Instituto Internacional de Investigación del Arroz - IRRI (en inglés: *International Rice Research Institute*), con sede en las Filipinas. Es el instituto científico dedicado al desarrollo de nuevas variedades de arroz más renombrado del mundo. Los científicos acompañaron los trabajos con la creación de un banco genético, que hoy comprende semillas de unas 80.000 diferentes variedades de arroz. Con varios miles de intentos de cruzamiento por año – convencionales y recientemente también con la ayuda de la ingeniería genética - los investigadores intentan desarrollar variedades de arroz cada vez “mejores”, es decir, no sólo seguir incrementando el rinde de las cosechas, sino también encontrar variedades que sean más sustentables en sentido ecológico.

Sucede que la gigantesca producción mundial de arroz es una bendición para la humanidad, pero también un peligro para el clima planetario. La razón: principalmente allí, donde se produce arroz por inundación, grandes cantidades de metano (CH<sub>4</sub>) son liberadas a la atmósfera. El metano es un **gas de efecto invernadero** que tiene un efecto 21 veces mayor que el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el representante más famoso y más significativo en volumen de este tipo de gases. Éstos funcionan como los vidrios de un invernadero, ya que permiten el paso de la luz solar y retienen la irradiación de calor que emite la Tierra. Sin los gases de efecto invernadero liberados naturalmente, nuestro planeta sería inhabitable, ya que la temperatura promedio de la superficie terrestre sería de -18° C en lugar de los +15° C actuales. Pero desde que se inició el siglo XX, el hombre comenzó a

producir cantidades adicionales de gases de efecto invernadero, por ejemplo, por combustión de carbón, petróleo y gas. Hoy, casi todos los climatólogos coinciden en que este **efecto invernadero antropogénico** repercute de manera importante en el clima mundial, y a menudo en perjuicio de las personas.

El **metano** es un gas incoloro e inodoro que surge en la naturaleza siempre que los microorganismos atacan material orgánico vegetal y lo descomponen. Como el metano es combustible (**Fig. B**), mezclado con oxígeno puede producir explosiones de metano en las minas. Por otra parte, es un importante componente del gas natural. Las fuentes naturales de metano más importantes son los humedales, los estómagos del ganado y los arrozales inundados (**véase la Tabla al pie de la página**). En estos lugares, las bacterias metanogénicas o arqueas (*Archaea*, según el nombre científico de los microorganismos que producen metano) encuentran óptimas condiciones para su crecimiento, es decir, bajas concentraciones de oxígeno. Apenas se presentan mayores cantidades de oxígeno, otros microorganismos pueden entrar en competencia y oxidar el material orgánico a CO<sub>2</sub>. Sólo cuando son consumidos los oxidantes como el oxígeno, las **arqueas** pueden dar inicio a su producción de metano.

▲ El metano producido en botellones de cultivo por bacterias metanogénicas se puede quemar en el laboratorio.

→ rendimientos máximos. Las plántulas se suelen colocar en campos que están inundados artificialmente hasta el momento de cosecha. Es decir, durante tres a cinco meses permanecen de forma prácticamente ininterrumpida bajo el agua. Según la región, la técnica de cultivo y la variedad de arroz, el mantener los campos inundados tiene un “costo” de 3.000 a 10.000 litros de agua por kilogramo de arroz obtenido. Mientras que hoy en día, en Europa y en los EE.UU., el cultivo de arroz se ha mecanizado, en las principales zonas de cultivo de Asia está estrechamente relacionado con mucho trabajo manual y pesado: por cada hectárea cultivada con arroz, un campesino debe caminar unos 50 kilómetros en el agua.

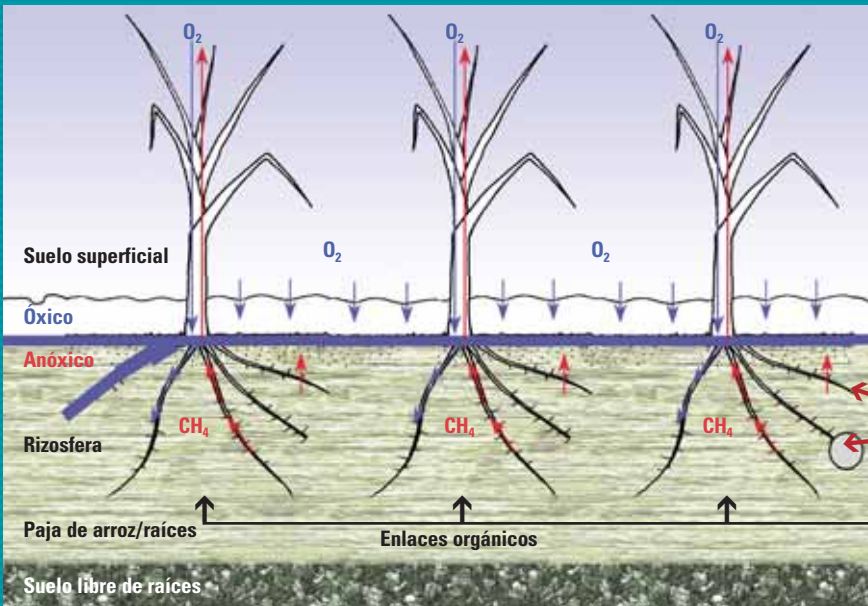
**CULTIVO DE ARROZ: EN MUCHOS SENTIDOS SE SOSPECHA RÉCORD**

Como la población mundial se incrementa sin cesar y este aumento poblacional conlleva un aumento en la demanda de arroz, sus productores siempre trataron de cultivar plantas que tuvieran un rinde cada vez mayor. Mientras que con las variedades salvajes sólo podían cosechar aproximadamente 200 a 300 kilogramos de arroz por hectárea, a medida que pasaron los milenios se lograron cruzar variedades logrando rindes de hasta 3 toneladas por hectárea. A mediados de la década de 1960, los científicos anunciaron la llamada **revolución verde**: habían desarrollado una variedad de arroz, con un rendimiento de hasta

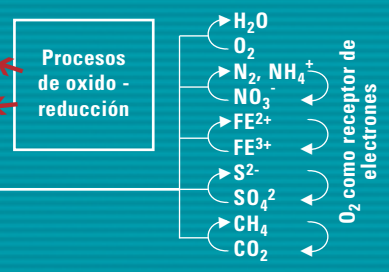
**LAS BACTERIAS AMAN LOS BAÑOS DE LODO**

En los campos de arroz inundados, estas bacterias retozan en el lodo. Vale decir que cuanto más tiempo estén inundados los campos, tanto menores serán las concentraciones de oxígeno y de otros agentes oxidantes acelerando la producción del gas metano. Ralf Conrad, director





Representación esquemática de un campo de arroz inundado. El oxígeno del aire no sólo ingresa al suelo a través del contacto con el agua de riego, sino también a través del parénquima aerífero de la planta de arroz y por la zona del suelo ocupada por las raíces de la planta, llamada rizosfera. Aquí, el oxígeno puede ser utilizado para diversas reacciones metabólicas. El suelo libre de raíces no posee oxígeno (es anóxico) y se caracteriza por el desarrollo de procesos de degradación que no requieren  $O_2$ .



del Instituto Max Planck de Microbiología Terrestre con sede en Marburg y sus colaboradores, investigan en detalle qué procesos microbiológicos y químicos son responsables de este proceso. “Únicamente conociendo en detalle estos mecanismos, podremos buscar otros enfoques para reducir las emisiones de metano de los campos de arroz y, así, contribuir a la protección del clima”, explica el microbiólogo.

**INVESTIGADORES SOPLAN EN EL TUBO**

Los científicos analizaron, por ejemplo, cómo el metano que las bacterias producen en el lodo, llega desde los campos a la atmósfera. En principio, hay tres posibilidades: burbujas de gas pueden “borbotear” hacia la superficie como en una botella de gaseosa. En segundo lugar, el gas podría difundir a través de la capa de agua que se encuentra sobre el lodo, o bien – y esta sería la tercera posibilidad – el gas metano se vale de los tallos de las plantas de arroz para llegar a la atmósfera como si estos fueran chimeneas.

Los investigadores de Marburg iniciaron sus ensayos de campo en los arrozales de la llanura del río Po, en Italia. ¿Cuánto metano se libera por medio de las diversas vías que se acaban de describir? Para obtener una respuesta, primero fue necesario aplicar la curiosidad que le es innata a la perseverancia científica. Los científicos desarrollaron “trampas” de Plexiglas en forma de ortoedros de 1,20 m de altura, que colocaron en campos inunda-

dos. Mediante esclusas comandadas electrónicamente regularon con precisión el suministro de aire externo y en los momentos en que las trampas permanecían cerradas, medían las cantidades de gas producidas. Para ello, periódicamente extraían muestras de gas y analizaban su composición.

En plantas de arroz intactas, los científicos calcularon cuánto metano libera el sistema en su totalidad. A continuación, quitaron todas las plantas de arroz de algunos recipientes de Plexiglas y analizaron cuánto metano llegaba al aire desde el suelo lodoso. Repitieron este ensayo después de haber tendido delgadas redes de nylon debajo de las trampas de metano para impedir que las burbujas de aire lleguen a la superficie del agua. Además, a po-

cos milímetros de la superficie del agua, hundieron embudos invertidos entre las plantas de arroz y midieron cuánto metano se liberaba por sus extremos. El resultado arrojó que aproximadamente el 90% del metano abandona el suelo lodoso del arrozal a través de los tallos (véase el recuadro superior) y que sólo el 10% asciende en forma de burbujas de gas, mientras que la difusión es prácticamente despreciable.

Realizando experimentos con plantas de arroz en invernaderos y en laboratorios (Fig. C), Ralf Conrad y sus colaboradores pudieron develar muchos otros misterios en torno a la producción de metano. Así, por ejemplo, pudieron detectar que cerca del 20% del metano que producen las arqueas ya se oxida en el suelo →



Foto: Wolfgang Filser

► En el laboratorio, el arroz crece hasta dentro de un tubo de ensayo.

→ formando dióxido de carbono. A consecuencia de ello, no llega el 100%, sino únicamente el 80% del gas de efecto invernadero a la atmósfera, diferencia por demás significativa. También descubrieron que las bacterias responsables de esta reconversión son extremadamente sensibles a la fertilización nitrogenada de los arrozales. Mientras que bajo estas condiciones la oxidación de metano se incrementa, la producción de metano por parte de las arqueas se reduce; ambos fenómenos conllevan a una menor liberación de gas metano.

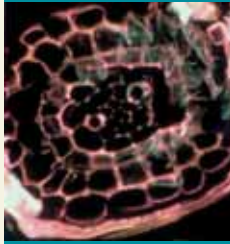
## PRODUCTORES DE METANO EN SECO

El método de cultivo, las características del suelo y el clima no sólo influyen en el rendimiento del arroz, sino también en la cantidad de emisiones de metano. Para poder realizar comparaciones exactas, el IIRRI inició una campaña internacional de mediciones: en arrozales de cinco países asiáticos diferentes (China, India, Tailandia, Indonesia y Filipinas) se instalaron ocho estaciones de medición. Cada una de ellas contaba con una "trampa" de Plexiglas, similar a la que habían utilizado los científicos de Marburg en Italia. También en este caso el flujo de aire se regulaba mediante esclusas y se analizaban muestras de gas en forma periódica. Un emprendimiento que, por cierto, no fue tan sencillo, porque en medio de los arrozales y lejos de cualquier tomacorriente, los científicos tuvieron que valerse de grupos electrógenos para hacer funcionar sus computadores y muchos otros dispositivos eléctricos.

Después de varios años de estudio, resultó que, ante todo, el modo en que los campesinos trabajan sus campos influye en mayor medida en el volumen de metano producido. Si, por ejemplo, dejaban que la paja de arroz se pudriera en los campos, las arqueas encontraban mucho alimento y producían muchísimo metano. Si en cambio, los campesinos secaban por poco tiempo los campos durante el período de cultivo, la emisión de metano se reducía en forma signifi-

## IDENTIFICACIÓN DE BACTERIAS PRODUCTORAS DE METANO

En la rizosfera de la planta de arroz encontramos diversas especies de arqueas metanogénicas. La pregunta es qué grupo de bacterias de esta especie es responsable de la producción de metano. Para determinarlo, en un invernadero los investigadores del Instituto Max Planck de Marburg insuflaron dióxido de carbono marcado con el isótopo <sup>13</sup>C a un conjunto de macetas rellenas con suelo de arrozales inundados. De este modo, los productos de la fotosíntesis de las plantas de arroz también quedaron marcados



◀ Vista en corte del parénquima aerífero de una raíz de la planta arroz

con el isótopo pesado de carbono <sup>13</sup>C. Como se esperaba, se formó metano pesado que es liberado a la atmósfera. Pero no sólo el metano, sino también las arqueas que lo forman fueron marcadas por los productos de fotosíntesis con carbono pesado: lo incorporan al ARN de sus ribosomas que puede utilizarse para la determinación taxonómica de bacterias. Quedó demostrado que sólo un grupo determinado de *Archaea* estaba marcado: las llamadas *Archaea Rice-Cluster-1 (RC-1)*. Hasta la fecha, estas bacterias todavía no pudieron ser aisladas: por el momento sólo existe un cultivo de enriquecimiento. Los científicos de Marburg ahora quieren secuenciar el genoma de esta *Archaea RC-1* enriquecida para, así, obtener una idea más acabada de las capacidades de estos grupos de microbios, importantes para la emisión de metano de arrozales.

cativa. En los laboratorios de Marburg, este fenómeno fue analizado en detalle. Conrad y su equipo cultivaron plantas de arroz en un invernadero. Pasadas seis semanas y poco antes de la floración, drenaron el agua de los recipientes en los cuales estaban las plantas y dejaron que el lodo se secase durante dos días. Después volvieron a inundar los mini arrozales. Durante todo el experimento, los investigadores extrajeron muestras de gas y analizaron el contenido de metano. Sus pruebas de laboratorio confirmaron los resultados de las mediciones del IIRRI: inmediatamente después de drenar el agua la liberación de metano se intensificaba. Al drenarla, repentinamente se liberaba todo el metano atrapado debajo de la superficie de ésta. Pero cuando las plantas de arroz nuevamente estuvieron bajo agua, la emisión de metano se redujo drásticamente.

Para sorpresa de los microbiólogos de Marburg, este efecto se mantuvo durante cuatro semanas hasta finalizar el experimento. Pero Ralf Conrad tiene una explicación para el fenómeno: "Durante el breve desagüe, el lodo se ventila bien, lo que permite que el oxígeno oxide las sales de hierro y otras sustancias. Asimismo, estas sustancias son buenos oxidantes, constituyendo un "veneno" para las bacterias que suspenden su producción y recién pueden reiniciarla plenamente, cuando los oxidantes en el lodo se han consumido, proceso que puede demandar semanas". En comparación con las pruebas control, la producción de metano se redujo un 50% en los campos que fueron secados durante un corto tiempo. En cambio, se produjo una mayor descomposición del material orgánico en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), cuyas emisiones se incrementaron un 50%. A pesar de ello, sería beneficioso para el

clima que más campesinos procedieran a drenar periódicamente sus arrozales, ya que el metano – como se mencionara – es un gas de efecto invernadero mucho más potente que el dióxido de carbono. ¡La emisión del metano "ahorrado" por el secado de los campos habrá multiplicado cerca de una docena de veces la magnitud del efecto invernadero generado por el dióxido de carbono producido en su lugar!

## TECNOLOGÍA GENÉTICA VERDE PARA PROTEGER EL CLIMA

En la actualidad, aproximadamente 2.500 millones de personas se alimentan a base de arroz. Los científicos del IIRRI en Filipinas estiman que esta cifra preparará a unos 3.500 millones para el año 2025. Por eso, intentan desarrollar variedades de arroz y métodos de cultivo con los que se logre un rendimiento todavía mayor al mismo tiempo que, en lo posible, se dañe lo menos posible el medio ambiente y el clima mundial. La investigación básica, como la que realizan Ralf Conrad y sus colaboradores del Instituto Max Planck de Microbiología Terrestre de Marburg, puede hacer grandes aportes para lograr este cometido.

## PRODUCTORES DE ARROZ

1. China	177 Mill. de tn.
2. India	117 Mill. de tn.
3. Indonesia	52 Mill. de tn.
4. Bangladesh	38 Mill. de tn.
5. Vietnam	34 Mill. de tn.
6. Tailandia	26 Mill. de tn.
7. Myanmar	22 Mill. de tn.
8. Filipinas	13 Mill. de tn.
9. Japón	11 Mill. de tn.
10. Brasil	10 Mill. de tn.

2002 Fuente: IIRRI

## 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 Hänslers

**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

BASF  
The Chemical Company



200 AÑOS  
BICENTENARIO  
ARGENTINO



Ministerio de  
Ciencia, Tecnología  
e Innovación Productiva  
Presidencia de la Nación