

cursos pesqueros como del ecosistema en general.

### Consideraciones finales

Dentro del concepto de uso múltiple de los embalses, la pesca no ha constituido hasta el presente un parámetro al cual se dé la relevancia que posee. En el futuro cercano, con los grandes represamientos en pisos térmicos cálidos, se debe considerar el ordenamiento pesquero (protección, manejo y desarrollo) como uno de los fines secundarios de mayor importancia, extendido además hacia el total del recurso hidrobiológico, presente en las regiones que han sufrido o sufrirán transformaciones relacionadas con los represamientos.

Aunque este panorama actualmente ha variado en el país, hasta ahora no se han generado esfuerzos suficientes y necesarios para cumplir este cometido. Las empresas que tienen a su cargo los grandes proyectos de generación hidroeléctrica principalmente, deberán dar el merecido y justificado interés a los programas de ordenamiento pesquero en los embalses y su área de influencia.

Es imperioso comprender que la investigación relacionada con la problemática general de los embalses, no sólo deberá contemplar lo relacionado con el recurso pesquero, debe dirigirse también al conocimiento integral del componente biológico y a la dinámica de funcionamiento de estos cuerpos de agua. Para ello es indispensable conocer las características y condiciones antes del represamiento, durante el proceso de inundación y en la etapa de operación de la represas.

Solamente a través de programas continuados de investigación, que cuenten con una orientación clara de los objetivos que se desean obtener, se podría adquirir la información científica indispensable para la formulación de los planes de ordenamiento en los embalses de Colombia. La poca experiencia que en general existe en el país con referencia a estas acciones y programas, resalta aún más estos planteamientos, teniendo en cuenta el rápido incremento del área de agua embalsada en los próximos años. □

# EL CAFETO, LA ROYA Y EL CAFE

Marco Quijano\*

La denominación "Bioquímica Inorgánica" puede parecer contradictoria a muchos, debido a que la Bioquímica se asocia generalmente con la "Química Orgánica". A pesar que las síntesis de la úrea, lograda por Woehler en 1828, demostró que la Química Orgánica es necesariamente biológica, se han seguido asociando los fenómenos bioquímicos más a la Química Orgánica que a otras ramas de la Química.

La Bioquímica Inorgánica en sentido estricto se puede definir como la aplicación de los principios de la Química de Coordinación de los metales a problemas biológicos. En este artículo se utiliza en un sentido más amplio, el cual incluye efectos biológicos y post biológicos de elementos químicos, en especial el manganeso y el cobre en el campo del café.

Entre los diversos elementos químicos que hacen parte de la Química Inorgánica, pero que tienen una acción biológica, están aquellos que se encuentran en pequeñas concentraciones al nivel de trazas en los seres vivos y que son esenciales para la vida. Sobre ellos se ha escrito lo siguiente: "probablemente no existe una sola reacción catalizada por enzimas en la cual bien sea la enzima, el sustrato o el producto o la combinación de ellos, no sea influenciada de manera muy directa y altamente específica por los iones inorgánicos que la rodean y modifican" (Mahler, 1961).

Se ha comparado la sensibilidad del hongo *A. niger* a dosis de iones, con la sensibilidad de una técnica de análisis de elementos de las más modernas, la espectrometría de emisión con fuente de plasma. Es asombrosa la sensibilidad de *A. niger*, superior a la

del método físico-químico para los elementos estudiados, excepto el magnesio.

En los casos que nos interesan los elementos trazas, en especial el cobre y el manganeso, tienen especial importancia para la práctica agrícola e industrial, asociada con la potencia de su acción biológica al nivel de los biocatalizadores que son las enzimas y de su papel como catalizadores en fenómenos no biológicos, por ejemplo:

- Los productos más usados para el control químico de la roya del cafeto son derivados del cobre. Compuestos de cobre y manganeso hacen parte de varios fungicidas comerciales.
- El manganeso y el cobre son nutrientes esenciales. Sus niveles óptimos son necesarios para una fertilización apropiada.
- Estos elementos se encuentran en la semilla del cafeto, en los granos de café. En el café verde la actividad de la polifenol oxidasa que es una metaloenzima de cobre, y el contenido del manganeso, se ha asociado con la calidad de la bebida. Los dos elementos pueden jugar un papel notable en la industria del café: para la conservación durante el almacenamiento, en la torrefacción como catalizadores de las reacciones químicas que se producen cuando se calienta el grano y se genera el olor, sabor y color que nos gusta y en la preparación de extrac-

\* Químico, PhD en Ciencias. Director Laboratorio de Investigaciones sobre la Química del Café y los Productos Naturales, LIQC, de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Calle 26 No. 37-28. Bogotá.

tos industriales de café por los cambios químicos que pueden ocasionar.

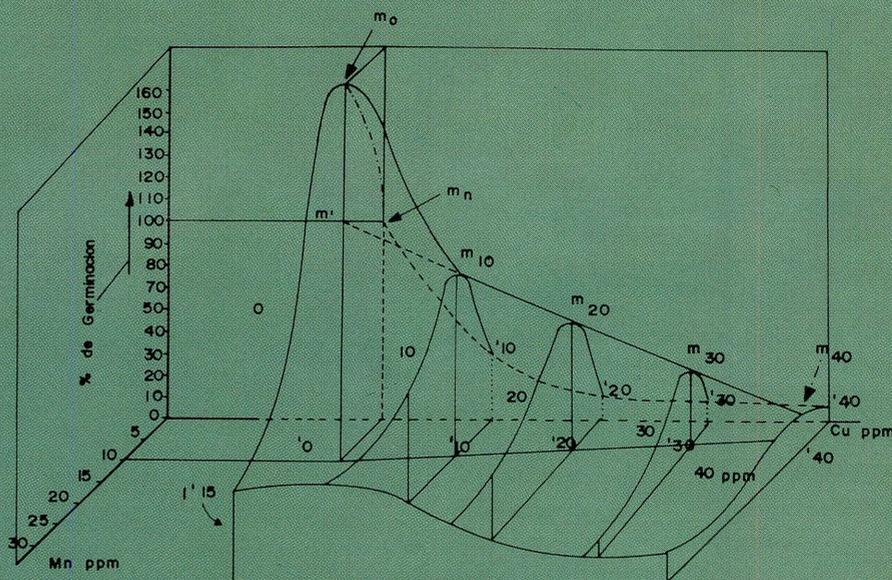
Las anteriores consideraciones muestran que para el perfeccionamiento del control químico de la roya del cafeto, para el diseño de fertilizantes para el cafeto o para el mejoramiento de operaciones asociadas con el procesamiento industrial y la calidad de la bebida, el conocimiento del rol que juegan estos elementos y la elucidación de sus mecanismos de acción, tienen indudable importancia.

En la evolución de nuestros conocimientos sobre los constituyentes químicos del aroma del café, los progresos en el análisis y caracterización de trazas de compuestos orgánicos en la cromatografía de gases, de líquidos y en la espectrometría de masas, permitieron dar un salto impresionante. De unos ochenta componentes conocidos en la década de los años sesenta pasamos a más de mil en la actualidad. Progresos similares, no tanto sobre el número como sobre el papel que juegan los elementos trazas y su distribución a escala microscópica, son posibles hoy gracias a los desarrollos correspondientes en el análisis instrumental.

La figura da un ejemplo de los resultados obtenidos en el estudio de los efectos combinados del cobre y del manganeso sobre la germinación de esporas de la roya del clavel. El comportamiento de las esporas de la roya del cafeto es prácticamente idéntico. La acción del cobre inhibitoria de la germinación es bien conocida y aprovechada en el control químico. Hasta hace poco no se conocía el potente efecto estimulante que ejerce en un cierto rango de concentraciones el manganeso sobre la germinación. Este resultado nos ha permitido ir más lejos en la comprensión de estos fenómenos. Basándose en las diferencias de las características bioquímicas del cobre y del manganeso pudimos establecer una serie de hipótesis sobre

sus mecanismos de acción en la germinación de esporas, probablemente sobre enzimas del ciclo de Krebs, generador de la energía inicial necesaria para el arranque del proceso de germinación. Nuestras recientes investigaciones sobre los efectos de tales iones en la actividad de enzimas del ciclo de Krebs, tienden a darnos razón. Comparando las relaciones de concentraciones de elementos químicos en esporas de royas y en los espacios intercelulares de las hojas que parasitan, se mostró que el espacio intercelular es la base de la nutrición mineral de tales hongos y que este fe-

Investigaciones paralelas han mostrado que estos iones pueden suministrarse por otras vías que no sean necesariamente las clásicas de fumigación. Hasta cierto punto se comportan como antibióticos, lo cual también ha sido descrito en otros casos, Shao, Foy (1982). También observamos que las esporas se enriquecen bastante en ciertos elementos químicos como el silicio con el consiguiente empobrecimiento en este elemento de las regiones infectadas de la hoja. Además que ciertos compuestos de cobre penetran con mayor rapidez y facilidad que otros por la pared de la espora y son



Efecto del manganeso, Mn, sobre la tasa de germinación de esporas de la roya del clavel, *U. dianthi*, las cuales fueron previamente tratadas con cobre, Cu.

nómeno se refleja en la constitución de las reservas nutricionales necesarias para la continuación de su ciclo vital, en las reservas de la espora, que es la semilla. Esporas deficientes en manganeso germinan mal y son más sensibles a factores adversos incluidos los iones de cobre. Este es un mecanismo de defensa por bloqueo nutricional que puede usar el cafeto, el cual había sido enunciado en la literatura, Hancock, Huismann (1981), pero no se había observado en la práctica.

mucho más activos como inhibidores de la germinación.

Estas informaciones deberían servir para perfeccionar aspectos del control químico de la roya. El papel de los elementos mencionados en la tecnología del café, es un punto que se tratará en otra ocasión. Esperamos que esta breve descripción haya dado una idea sobre la importancia del rol de elementos trazas en una agroindustria como la del café. □

## Investigaciones sobre bioquímica inorgánica