

LA MATERIA ORGANICA DEL SUELO
COMO SUBSTANCIA QUELATORA NATURAL

II parte

evidencia adicional de que los Incas pueden haber usado una técnica que implica a la quelación por compuestos orgánicos de origen vegetal

por el Prof. ALBERT SCHATZ

Miembro académico de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de Chile, y profesor de Ciencias en Temple University, Philadelphia, Pennsylvania, EE.UU.

y la Prof. VIVIAN SCHATZ*

Profesora de Ciencias en Springside School, Philadelphia, Pennsylvania, EE.UU.

Durante la pedogénesis (i. e. la formación de suelo) lo que se llama material de suelo sufre cambios que lo transforman en un suelo propiamente tal. Un suelo maduro se halla en un estado de equilibrio dinámico con los factores bióticos y climáticos del ecosistema del cual es una parte. Las mismas clases de reacciones de desgaste biogeoquímicas que están en juego en la pedogénesis causan también la fertilidad del suelo. Por lo tanto la fertilidad de un suelo es en gran medida reflejo y función de continuos procesos de desgaste biogeoquímicos.

La importancia de la quelación como un mecanismo de desgaste en pedogénesis fue reconocida por primera vez en 1954¹. Desde entonces hubo un interés creciente en la capacidad de quelación de la materia orgánica del suelo^{2,3}. En cuanto a la fertilidad del suelo, las plantas son nutridas primariamente por la solución de suelo que baña sus raíces. Una función primordial de la materia orgánica en el suelo puede por lo tanto ser su rol de tampón de metales. En virtud de su capacidad de formar complejos metálicos, la materia orgánica del suelo afecta al pFe, pMo, pCu, pZn, p(PO₄), etc. en la solución del suelo. Para entender la fertilidad del suelo debemos pensar en los nutrientes de las plantas de esta manera, igual como pensamos de acidez en términos de pH.

*La Sra. Vivian Schatz ha sido Directora del Colegio Nido de Aguilas en Lo Barnechea.

Tal como un suelo normal y sano está en equilibrio con los factores climáticos y bióticos de su medio ambiente externo, está también en equilibrio interno respecto a los constituyentes en la solución de suelo y las condiciones que afectan la composición de esta solución. Ya que la materia orgánica del suelo puede influir grandemente las cantidades disponibles de muchos microelementos, está íntimamente involucrada en lo que aquí llamaremos "homeostasis del suelo" o el estado homeostático del suelo. Deficiencias de metales traza (es decir, un suministro inadecuado de microelementos en formas *accesibles*), un desequilibrio de nutrientes y ciertas otras condiciones que afectan adversamente el crecimiento de la planta constituyen perturbaciones de la homeostasis del suelo. En algunos casos que implican inadecuadas prácticas de abono u otras deficiencias en el manejo de las tierras, las "patologías del suelo" resultantes son comparables a las llamadas "enfermedades iatrogénicas". Estas son enfermedades causadas por la medicación y otras formas de tratamiento que los médicos prescriben.

La materia orgánica es por lo tanto un factor importante en la fertilidad del suelo, igual como lo es en la formación del suelo, porque lo mantiene en un estado homeostático adecuado. También remueve las cantidades excesivas de metales pesados, como cobre y plomo, sirviendo así de agente detoxificante. La materia orgánica del suelo obra de estas maneras gracias a su capacidad de complejar metales. Tales consideraciones motivaron la presente serie de trabajos sobre *La Materia Orgánica del Suelo como Substancia Quelatora Natural*.

Una leyenda de un pájaro y una planta

Al mismo tiempo que estudiábamos el extremadamente complejo sistema del suelo desde el ángulo de la quelación investigábamos también otros sistemas algo similares pero mucho más simples que el suelo propiamente tal. Así nos llegamos a interesar en la acción quelatora y erosionante ejercida sobre rocas por ácidos de líquenes y otros polihidroxipolicarboxilatos de origen vegetal que ocurren naturalmente⁴. También cautivó nuestra curiosidad una leyenda³ acerca de una planta de hojas rojas que tenía la capacidad de ablandar rocas y disolver espuelas metálicas de montar. De acuerdo a esta leyenda un cierto pájaro usaba esta planta para labrar cavidades en rocas. Los huecos le servían luego de nidos. Se supone que los Incas habían observado la técnica de este pájaro y empleaban la misma planta en sus propios trabajos de albañilería. Al cabo de un estudio considerable proponíamos lo que nos parecía una explicación bastante plausible para esta digestión de rocas en términos de la capacidad quelatora de ciertos constituyentes vegetales.

Nuestra primera publicación sobre esta técnica de los Incas apareció en el *Boletín de la Universidad de Chile* en 1967³.

Pero no obstante de toda la evidencia que presentábamos tendiente a dar validez a la leyenda, ha sido considerada sin embargo como "seguramente folklórica" por Robert F. Heizer, profesor de antropología y coordinador del departamento de investigación arqueológica en la Universidad de California⁵. Paradojalmente Heizer admitió sin embargo "el hecho que polihidroxipolicarboxilatos de ciertas plantas pueden servir como agentes quelatores para desgastar piedra y de este modo hacerlas más fáciles de trabajar".

Ahora uno de nuestros objetivos aquí es presentar evidencia adicional de que la leyenda podría ser verdad. Es importante hacer esto desde el punto de vista de la ciencia del compost de abonos porque el modo como los productos vegetales afectan a rocas y metales nos revela cómo la materia orgánica del suelo puede reaccionar con los minerales del suelo. Esto a su vez nos permite entender por qué razón los desperdicios sólidos compostados aumentan la fertilidad del suelo.

La planta ha sido encontrada

Cuando en 1965 presentamos evidencia tendiente a validar la leyenda³ no conocíamos ningún otro informe acerca de esta planta. Nosotros considerábamos entonces la posibilidad de que la planta podría ya no existir más, al menos no con sus hojas rojas características. Así desarrollamos una hipótesis que podría explicar su pseudo-desaparición al ser transformada en una planta con hojas típicamente verdes.

En 1967, empero, apareció una breve información en un diario chileno al efecto de que el Padre Jorge Lira, un sacerdote peruano que ha venido realizando estudios durante 40 años, había encontrado la planta que los Incas usaron para ablandar rocas⁶. La noticia mencionaba, sin entrar en detalles, a experimentos que el Padre Jorge Lira afirmó haber realizado exitosamente con la planta y pequeñas rocas, sin que se diera el nombre de esta planta. Decía además que el Padre Jorge Lira creía que los Incas no tallaban la roca de la manera usual, sino que empleaban esta planta para ablandarla. Al parecer ellos trabajaban entonces la superficie ablandada, como arcilla de las rocas.

Después de ver esta noticia empezamos inmediatamente a tratar de ubicar al Padre Jorge Lira a fin de intercambiar información con él. Nuestros esfuerzos, que se extendieron por un período de dos años, al fin tuvieron éxito. En una carta escrita el 7 de agosto de 1969 desde el Cuzco, Perú, la antigua capital del imperio incaico, él nos informó que la planta realmente existe. Se llama *Harakkch'ama* en quechua, la lengua india hablada en el Perú. Sin embargo es conocida bajo otros nombres en diferentes lugares. El Padre Jorge Lira nos dijo que esta planta particular, aunque

es esencial para el procedimiento, no es usada sola sino junto con otras plantas. El también nos envió un artículo que había escrito en 1961 y que sintetiza su trabajo en este campo⁷.

El pájaro pito

Nosotros debemos agradecimientos al profesor Alberto Medina del Instituto Cultural de Providencia, Santiago de Chile, por otro interesante relato temprano acerca del pájaro, la planta y la capacidad de esta última de disolver el hierro metálico. Este relato aparece en el primer tomo de la obra en dos volúmenes *Historia General del Reyno de Chile*⁸ escrita por el reverendo Padre Diego de Rosales, un jesuita que, nacido en España en 1600, fue a Chile en 1629, y vivió en diferentes partes del país durante por lo menos 45 años. La fecha y lugar de su muerte no son conocidos. El manuscrito completado por Rosales en 1670, con el correr del tiempo pasó a la posesión del bibliófilo español Pedro Salva, donde permaneció hasta 1856.

Pero la obra del Padre Rosales seguía conocida en Chile a pesar de no haber sido publicada. El famoso jesuita naturalista chileno Ignacio Molina estaba familiarizado con el manuscrito del Padre Rosales y se refirió a él en varios de sus propios escritos. El manuscrito fue traído de vuelta a Chile en 1856 por Benjamín Vicuña Mackenna, quien hizo un viaje especial a España para adquirirlo de Pedro Salva. Entonces don Benjamín editó los escritos del Padre Rosales que luego fueron publicados en dos volúmenes por la Imprenta del Mercurio en Valparaíso, Chile, en 1877.

Los dos párrafos siguientes son de particular interés. El primero aparece en la página 236 en el capítulo "Las Yervas medicinales experimentadas en este Reyno: de sus propiedades y efectos".

"La yerba llamada Pito es de las más raras que se encuentran en el orbe y es de gran virtud para deshacer las piedras de la vejiga. Es esta yerba pequeña y aparragada con el suelo, de quien toma el nombre un pajarito a quien los indios llaman Pito por usar de esta yerba con admiración, y los españoles Pájaro carpintero, que de esta especie de ave hay en todo este Reyno. Come el pajarillo de esta yerba y púrgase con ella. Y tiene una virtud rara, que molida y hecha polvos quiebra y deshace el hierro y el acero, como se experimenta en las prisiones de los delincuentes, que con ella se han librado algunos. Y ha acontecido cerrarle el nido que con el pico hace en los árboles este pajarito y ponerle una chapa de hierro. Y sin duda que esta yerba le da a este pajarito tal fortaleza en el pico, que le tiene tan fuerte que con el pico taladra el palo más duro y le labra, y por eso le llaman pájaro carpintero. Y si esta fortaleza da esta yerba a este pájaro y tiene tal virtud que deshace el hierro, ¿qué mucho que deshaga las piedras en la vejiga?"

El segundo párrafo aparece en la página 320 en el capítulo "De las aves marítimas y campesinas o terrestres, y de sus calidades medicinales".

"Los pájaros carpinteros, famosos por la yerba del Pito: unos son negros con abultado copete en la cabeza y del tamaño de una codorniz; otros igualan en el cuerpo al gallo; también negros, la cresta colorada, gruesa y tendida, detrás de la cual sobresale un penacho de dos o tres plumas plateadas de poco más de un palmo de largo. Llámase en la lengua de los indios Rere. Hay otros pájaros carpinteros que llaman Pito, del cuerpo de un tordo: son pintados de negro, blanco y burielado, y de ellos se derivó a la yerba el nombre de la yerba del Pitu, porque usan más de ella que los otros pájaros. Tienen el pico tan fuerte que rompen y barrenan cualquier árbol, así para sacar y comer los gusanos que se crían en sus entrañas como para edificar sus nidos, abriendo una concavidad en que se alojan con toda la familia. Hanse hecho célebres por la yerba que con natural instinto hallaron para que se quebrante y desmenuce el hierro, en que se han hecho muchas experiencias y adquirido su conocimiento con notable maña. Porque advirtiéndolo cuando sacan sus polluelos y salen a buscarles de comer, les cierran con una plancha de hierro la puerta del nido los que quieren hacer experiencia de la virtud de la yerba del Pito, y llegando el pájaro carpintero y hallando cerrado el nido y que sus polluelos pían dentro y que no pueden entrar, y al punto revuelve a buscar la yerba que llaman Pitu, y refregando con ella la plancha, la rompen y deshacen como si fuera de papel, que es de las raras virtudes que se conocen de yerbas, y maravilloso el instinto de este pájaro".

Es interesante que justo al descubrirse la planta *Pito* que disuelve rocas^{6 7} puede haberse encontrado también el pájaro *Pito*⁹. Un pájaro raro y extraño perteneciente a una especie aparentemente a punto de extinguirse fue recientemente capturado no lejos del Cuzco. Esta es una ciudad muy alta en los Andes que había sido la capital del antiguo imperio inca. Desgraciadamente, el pájaro murió a las pocas horas de haber sido llevado a Lima, una ciudad a nivel del mar. El brusco cambio de altitud fue considerado causante de su muerte. El pájaro es conocido bajo los nombres de *Pito-Picapedrero*, *Pucu Pucu*, y *Hakaqllo*.

Hallazgos de la investigación moderna

Investigaciones publicadas en 1964-1968 han comprobado que ciertos productos vegetales pueden atacar aun al acero más duro y a una velocidad sorprendentemente rápida. Parte del metal es disuelto literalmente en minutos. Estos estudios^{10 11 12} han demostrado que el embotamiento o enrojecimiento de herramientas para cortar de acero en la industria maderera es en parte causado por la corrosión del metal por constituyentes vegetales. Dos mecanismos químicos inducen esta corro-

sión que aumenta el costo de la madera apreciablemente. Uno es la simple acción de ácidos. El pH de algunas maderas, especialmente especies de eucalipto, puede ser tan sólo de 2.6. El ácido acético, presente en mayor o menor cantidad en todas las maderas, es el más abundante de los ácidos responsables por este bajo pH. Una solución de ácido acético al 0.6% y a pH 3.0 carcomía significativamente la superficie pulida del acero de carbono en 30 minutos. Una solución de ácido clorhídrico al 0.004% al mismo pH no fue tan eficaz¹⁰.

A pH 4.0, el ácido acético tenía poco efecto. Por lo tanto la corrosión ácida *per se* no es importante en maderas más neutras. Aquí el principal mecanismo químico es la quelación por compuestos polifenólicos, muchos de los cuales son bien conocidos por su capacidad ferro-secuestrante. En algunas maderas tanto como el 10% y en ciertos casos hasta el 30% de los materiales extraídos consisten de polifenoles. Las maderas de eucalipto tienen un muy alto contenido de estas sustancias que están presentes también en muchas otras plantas de amplia distribución mundial. Para que haya quelación el hierro primero debe ser disuelto y oxidado al estado férrico. Luego puede ser complejado por polifenoles para producir los característicos quelatos azules y negros. Estas reacciones tienen lugar con mayor prontitud en madera verde que todavía está húmeda. Los elagitaninos y galotaninos encontrados en robles, castaños, y eucaliptos cenizos tienen tres grupos hidroxilo-fenólicos adyacentes y producen típicos complejos de hierro azul-negrucos. Los tropolones abarcan otro grupo de compuestos fenólicos que también quelatizan el hierro. Pruebas con soluciones de diferentes fenoles (ácido gálico, pirogalol, galocatequina, catequina, afzelequina y engelitina) mostraron que la penetración corrosiva al acero carbónico de estos compuestos y la velocidad a que se forma el color azul dependía del número de grupos hidroxilos adyacentes. La capacidad corrosiva está por lo tanto correlacionada con la capacidad de quelatizar el hierro.

Con la mayoría de los compuestos activos los efectos corrosivos sobre el acero fueron claramente evidentes dentro de 30 minutos. En una prueba, con galotanino, el acero se tornó azul después de sólo nueve minutos. En otro experimento, una cuchilla de acero pulido estaba marcadamente corroída (Fig. 1) después de cortar sólo nueve pulgadas de pino (*Pinus radiata*) saturado de agua. Esta madera no es muy ácida o rica en polifenoles pero exhibe una fuerte reacción quelatora con el cloruro férrico. La corrosión de esta misma herramienta fue aumentada cortando tres pulgadas adicionales de eucalipto rojo (*Eucalyptus sideroxylon*) saturado de agua cuya madera contiene 20-30% de taninos.

Para Hillis y McKenzie, quienes informaron algunos de estos resultados, "La rapidez del efecto fue en cierto modo sorprendente"¹⁰. Ellos incluyeron, entre "varios factores que contribuyeron a la evidente rapidez de los procesos químicos durante el corte", a la continua remoción de la capa de quelato por abrasión. Una

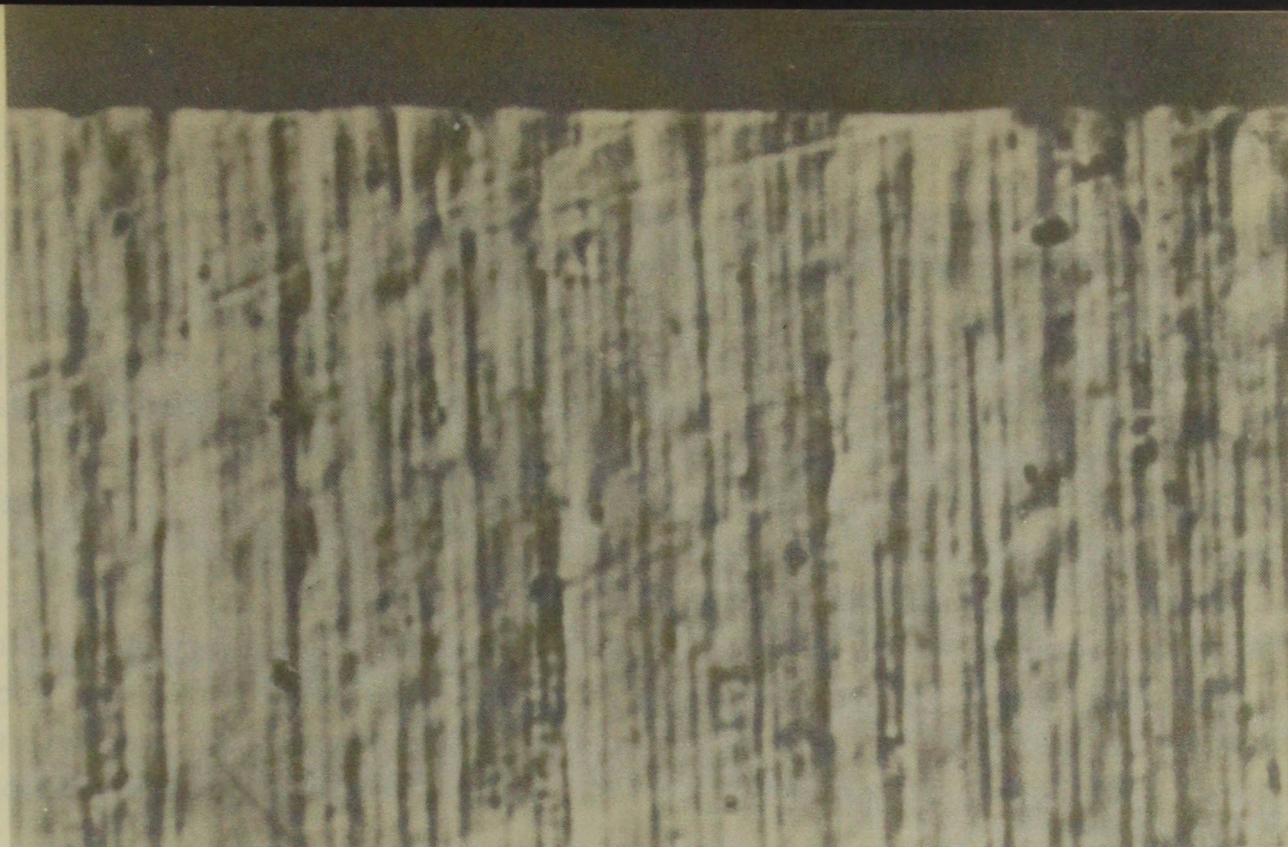


Figura 1. Fotografías de contraste de interferencia (2700 x de aumento) que muestran la corrosión por extractos de madera cerca del filo de un cortador de acero pulido (2% carbono, 12% cromo). La fotografía superior muestra el estado original y la fotografía debajo muestra los carburos levantados sobre la profundamente carcomida matriz martensítica. Esto sucedió al cortar una delgada astilla de 15 centímetros de largo de madera de pino (*Pinus radiata*) saturada de agua. Las fotografías fueron amablemente proporcionadas por W. M. McKenzie de la División de Productos Forestales, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Melbourne, Australia.

nueva superficie de acero es así expuesta repetidamente a los agentes complejantes contenidos en la madera que está siendo cortada.

Aún aceros de herramientas conteniendo hasta 12% de cromo, que se incorpora para conferirles resistencia a la corrosión, fueron carcomidos cortando madera verde. La matriz de cobalto en el carburo de tungsteno fue también corroída por extractos de madera, pero fue algo más resistente que el acero. Esto podría deberse al hecho de que los polifenoles generalmente quelatizan el hierro más fuertemente que el cobalto.

Los compuestos polifenólicos de la madera que carcomen y corroen al acero están también presentes en el humus y otras formas de materia orgánica compostada. Estos compuestos son algunas de las sustancias que reaccionan con rocas y minerales del suelo. Ellos convierten el hierro, manganeso, cobre, zinc y otros metales en complejos hidrosolubles, y con ello hacen accesibles estos elementos traza a las plantas.

La compostación de desperdicios sólidos orgánicos

Una manera de eliminación para muchos desperdicios orgánicos es compostarlos en abono y luego agregar el producto final descompuesto al suelo. Esto enriquece al suelo con materias orgánicas que es lo que algunos suelos necesitan. La materia orgánica bien compostada se halla en un avanzado estado de descomposición. Aquellos compuestos que son más susceptibles al ataque microbiano ya han sido oxidados y convertidos en productos resistentes o incorporados a la materia celular de los microbios. Lo sobrante consiste mayormente en sustancias complejas con muchos grupos hidroxilo y carboxilo que pueden quelatizar metales.

En consecuencia, un material bien compostado reacciona con los minerales del suelo lo mismo que los ácidos de líquenes reaccionan con rocas. Aquellos compuestos en la planta *Pito* que disuelven el hierro y transforman rocas a una consistencia arcillosa revelan cómo la materia orgánica del suelo solubiliza los minerales del suelo. Las sustancias en las maderas que corroen herramientas cortantes de acero en la industria maderera son similares, desde el punto de vista de la química de quelación, a los compuestos en un material bien compostado que digieren minerales del suelo. Por lo tanto hemos aprendido algunas cosas interesantes e importantes acerca de ciertos aspectos de la ciencia del compost de abonos a la vez que de la ciencia de suelos por nuestros estudios de los líquenes, los incas, del pájaro *Pito* y de una planta llamada *Harakkch'ama* en lengua quechua.

BIBLIOGRAFIA

1. Schatz, A., *et al*, Chelation (sequestration) as a biological weathering factor in pedogenesis, Proc. Pennsylvania Acad. Sci. 28:44-51, 1954.
2. Schatz, A., *et al*, Soil organic matter as a natural chelating material, Part 1: The chemistry of chelation, Compost Science 4:25-28, 1964.