

LA MATERIA ORGANICA DEL SUELO COMO SUBSTANCIA QUELATORA NATURAL. ¿LA UTILIZARON LOS INCAS?

por el Prof. ALBERT SCHATZ y VIVIAN SCHATZ

De la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de Chile

La capacidad de la materia orgánica natural para interactuar con las rocas y minerales se debe principalmente a la quelación o, hablando de manera más general, a la formación de complejos. La materia orgánica juega un importante papel en la pedogénesis (es decir, formación de suelos) y en la fertilidad del suelo, en virtud de sus propiedades queladoras o complejantes¹⁻²⁻³⁻⁴. Sólo en la última década se ha reconocido el verdadero significado de la quelación tanto en éste como en otros campos. Pero los hombres aprovechaban la acción queladora de la materia orgánica mucho antes de que la ciencia explicara los procesos químicos implicados. Un ejemplo es el uso de estiércol para ayudar al crecimiento de las plantas. Este benéfico efecto se atribuyó durante mucho tiempo a los minerales que se devolvían al suelo. Pero ésta es sólo una explicación parcial. Muchas sustancias orgánicas formadas por la descomposición del estiércol son excelentes agentes queladores cuya función más importante es hacer que los elementos menores puedan ser utilizados provechosamente por las plantas superiores. Las algas que los romanos agregaban a sus suelos⁵ también producían sustancias orgánicas que formaban complejos metálicos solubles.

La agricultura Inca

La importancia del estiércol también era bien conocida por los Incas de Sudamérica quienes, junto con sus antecesores, domesticaron más clases de plantas alimenticias y medicinales que ningún otro grupo de pueblos en el mundo. Como Bingham⁶ señaló: "Los Incas conocían la importancia de los fertilizantes para mantener el suelo rico y productivo. Ellos habían descubierto el valor del guano encontrado en las islas pobladas por los pájaros que se hallan en la costa del Perú, disponiendo varias de estas islas para el beneficio de las diferentes provincias del imperio. No se permitía a nadie visitarlas durante la época de reproducción de las aves. Aunque cientos de miles de pájaros pescadores habitan esas islas, los Incas castigaban con la muerte a cualquiera que matase a una sola de esos aves productoras de guano.

"Para los Incas el arte de la agricultura era de interés supremo. Lo llevaron hasta un extremo notable, otor-

gándole mayor importancia que la que hoy día se le concede. No solamente cultivaron una gran variedad de plantas alimenticias y medicinales, sino que conocían perfectamente el aprovechamiento del suelo, el arte del drenaje apropiado, los métodos correctos de irrigación y la conservación del suelo mediante terrazas construidas a gran costo. La mayoría de los campos agrícolas de los Andes peruanos no son naturales. La tierra fue juntada y colocada artificialmente, y todavía sigue siendo fértil después de siglos de uso. "Ellos dependían de la agricultura en terrazas, como puede verse en forma más notoria en las laderas escarpadas. Hay terrazas en muchos otros países, especialmente en Asia Oriental y las Filipinas, pero es dudoso que se encuentre nada semejante a lo que construyeron los Incas. En el Perú la reconstrucción artificial del suelo no se limitaba sólo a las laderas, sino que también se emprendió en grandes áreas de tierra aprovechable en el fondo de los valles. Llegaron hasta angostar y enderezar el curso de los ríos, reteniendo la tierra detrás de fuertes muros y completando el trabajo con una capa del mejor suelo".

Albañilería Inca

Pero los Incas pueden haber aprovechado otra clase de materia orgánica para un propósito diferente. Nos referimos a las magníficas obras de piedra labrada que se conservan como un monumento a su inventiva, su habilidad y su extraordinaria competencia en ingeniería. Citemos de nuevo a Bingham⁶ porque sus elocuentes palabras reviven la impresión que se experimenta al contemplar las realizaciones de ese antiguo pueblo: "Unos 400 años atrás los últimos Incas vivían en una de las partes más inaccesibles de los Andes, la región que se extiende entre los ríos Apurimac y Urubamba, dos importantes afluentes del Amazonas. Aquí estaban aislados de la parte del territorio peruano sometido al dominio de los conquistadores españoles por profundos precipicios, pasos a tres millas de altura, cañones de granito de más de una milla de profundidad, glaciares y selvas tropicales y peligrosos rápidos.

"Uno de los lugares más interesantes del mundo es el Cuzco, la antigua capital del Imperio Incaico. En los

días de la conquista española, era la ciudad más grande de América. Sobre una colina, a sus espaldas, se halla una antigua fortaleza, sitio de refugio durante siglos. El muro norte de esta fortaleza es tal vez la estructura más extraordinaria construida por los antiguos habitantes del hemisferio occidental. En efecto, como proeza de ingeniería no tiene paralelo en la antigüedad americana. Los bloques más pequeños del muro pesan 10 ó 20 toneladas. Los bloques más grandes se estima que llegan a pesar 200 toneladas. Y algunos de los más grandes pesan 300 toneladas. Y sin embargo están perfectamente ajustados, sin usar abrazaderas. No se empleó cemento en la construcción del muro. Los gigantescos bloques poligonales se encuentran tan estrechamente apretados que es imposible insertar la punta de un cuchillo entre ellos... La decisión y perseverancia de los constructores pasman nuestra imaginación. Nos hace admirar a los Incas y nos incita a aprender más acerca de ellos".

Sus casas y otros edificios también estaban contruidos de roca. Algunas paredes de remate triangular tenían "una delgada losa de piedra tosca con un agujero biselado u ojo a más o menos dos pulgadas del extremo exterior. La llamamos ojo de amarra... Las investigaciones mostraron que había generalmente ocho a diez de estos ojos de amarra en cada pared de caballete... El agujero biselado aparentemente había sido perforado por medio de trozos de bambú que se hacían girar rápidamente entre las palmas de las manos con ayuda de abundante arena y agua. Desde luego, tal método requería tiempo y paciencia, pero producía resultados tan satisfactorios como el uso de martillo y cincel y con menos probabilidades de partir la piedra"⁶.

La leyenda de un pájaro y una planta

¿Cómo trabajaban los Incas estas piedras? De acuerdo a Bingham⁶, empleaban arena y agua como abrasivo. Mason⁷ escribe que: "Gran parte de los cortes en la piedra se hacían con martillos de piedra, abrasivo de arena, tiempo y "aguante"⁸". Pero, ¿usaron los Incas también otra técnica? Este segundo método está descrito en relatos acerca de un pájaro que vivía en las cumbres de los Andes y que se dice utilizaba el jugo de cierta planta para disolver la roca y hacer huecos donde construía sus nidos. Es interesante leer este relato porque algunos de sus detalles pueden ahora reunirse, como quien arma un rompecabezas, con la información acerca de las propiedades queladoras de la materia orgánica y obtener así una explicación bastante plausible de una técnica química que los Incas podrían también haber usado además de la abrasión. Lo que sigue es cita del libro de Fawcett⁸.

"En las regiones montañosas de Perú y Bolivia existe un pequeño pájaro que se parece al martín-pescador el cual hace su nido en orificios redondos en las escarpas rocosas que se alzan sobre el río. Estos agujeros pueden verse fácilmente, pero no son de fácil acceso y, lo que es más extraño, se encuentran solamente donde viven estos pájaros. En una ocasión tuve la buena fortuna de encontrar en una situación conveniente estos agujeros que eran usados para nidos y estaban tan perfectamente horadados como si fueran hechos con taladro.

"Los pájaros son los que hacen esos hoyos', estas palabras las dijo un hombre que había pasado más de un cuarto de siglo en la montaña. 'Más de una vez los he visto haciendo agujeros y observé cómo los hacían. Los pájaros llegan al lugar con cierta especie de hoja en su pico. En seguida se afirman en la roca tal como los pájaros carpinteros se afirman en el árbol, y refriegan las hojas con un movimiento circular. Constantemente emprenden el vuelo en busca de más hojas para continuar el proceso. Después de tres o cuatro repeticiones, dejan las hojas y comienzan a picar la roca. Y ¡cosa maravillosa! pronto aparece una depresión circular en la roca. Vuelan y retornan para continuar el proceso de frotar las hojas y picar la roca. Todo esto demora varios días, pero obtienen hoyos suficientemente grandes como para servir de nidos. He subido a ver los nidos y, créame, un hombre no podría taladrarlos con mayor perfección'.

"¿Quiere Ud. decir que el pico del pájaro penetra en la roca sólida?"

"No. Aunque el pájaro carpintero perfora la madera sólida, no creo que este pájaro pique en realidad la roca sólida. Pero creo, y quienquiera que lo haya observado pensará lo mismo, que estos pájaros conocen una hoja cuyo jugo ablanda la roca y la deja como arcilla húmeda'.

"Yo pensé que se trataba solamente de una fábula, pero posteriormente escuché relatos similares de otra gente a través de la región. Después de un tiempo, un inglés de cuya veracidad no puedo dudar, me contó una historia que arrojó nueva luz sobre el tema.

"Mi primo estaba en la región de Chuncho, cerca del río Pirene en Perú. Su caballo quedó cojo de modo que tuvo que dejarlo en una pequeña hacienda vecina situada a unas cinco millas de la suya. Al día siguiente volvió a buscar su caballo, pero tomó un atajo a través de la selva, por una parte donde nunca había penetrado antes. Llevaba pantalones de montar, botas altas y espuelas, no del tipo inglés, sino las mejicanas grandes de cuatro pulgadas de largo con discos centrales del tamaño de una media corona. Estas espuelas estaban prácticamente nuevas. Cuando llegó a la hacienda de su vecino después de una pesada su-

bida a través de selva enmarañada, se sorprendió al descubrir que sus hermosas espuelas estaban destruidas: se habían erosionado por alguna causa y quedaron reducidas a unos clavos negros de un octavo de pugada de largo. No podía entender lo sucedido hasta que el propietario de la hacienda le preguntó si había caminado sobre ciertas plantas de alrededor de un pie de altura y que tenían hojas de color rojo oscuro. Mi primo inmediatamente recordó que había caminado a través de una buena extensión de esas plantas, donde el suelo estaba cubierto con esa vegetación. 'Esto es', dijo su vecino, 'lo que ha corroído sus espuelas: es la sustancia que los Incas empleaban para trabajar sus rocas porque el jugo de esta planta ablanda las rocas y las convierte en una pasta. Muéstrame Ud. dónde encontró esas plantas'. Pero cuando volvieron para tratar de encontrar el sitio, no pudieron hacerlo. No es fácil ubicar huellas de pisadas en la selva donde no existen senderos'".

¿Es verdadera la leyenda?

Ornitólogos, botánicos, antropólogos, arqueólogos y otros a quienes hemos consultado no saben de ningún pájaro que construya su nido de la manera antes mencionada. Ni conocen ninguna planta cuyo jugo sea capaz de ablandar las rocas. En consecuencia, estos relatos son considerados mitos o folklore local originados tal vez por el uso de hojas como material para nidos hechos en huecos naturales de cavernas calizas.

La leyenda, sin embargo, no puede ser desechada tan fácilmente. Uno se pregunta, por ejemplo, si los sitios de anidamiento en las montañas de Perú y Bolivia han sido explorados minuciosamente. Los que han estado en esa región aceptarán que el pájaro puede muy posiblemente existir ahora, tal como Macchu Picchu existió durante cientos de años hasta que fue descubierta por Bingham. ¡Encontrar pequeños nidos en lo alto de las montañas debe ser más difícil que encontrar una ciudad! Aun en Panamá que es mucho más accesible que las sierras de Perú y Bolivia, se han descubierto recientemente nuevas especies de aves⁹⁻¹⁰. Por lo tanto, el hecho de que *ahora* no se conozca esta clase de pájaro no quiere decir que no existe o que no existió.

La afición de los Incas por los colores brillantes y su uso de plumas como ornamento y parte de sus vestimentas⁶ indica que se preocupaban de los pájaros y que, por consecuencia, deben haber estado familiarizados con los sitios de anidamiento. Pero el pájaro en sí mismo no es de primera importancia. Algunos relatos lo mencionan, otros no. No estamos preocupados de la forma en que los Incas llegaron a conocer la planta cuyo jugo podía ablandar la roca, sino de sa-

ber si tal planta existió y si los Incas la usaron para su albañilería de piedra.

Desde este punto de vista, los aspectos importantes del relato son: a) una planta específica, es decir, vegetación baja, hojas claramente rojas y crecimiento en una región localizada; b) productos vegetales capaces de digerir el metal (espuelas) y de ablandar la roca, y c) la velocidad de estas reacciones químicas. Desgraciadamente, no tenemos la planta para trabajar con ella. Pero podemos considerar la posibilidad de que tal planta existió, y si ya no existe, averiguar la causa. Podemos también investigar si las hojas de las plantas contienen compuestos químicos capaces de atacar las rocas, ablandándolas hasta convertirlas en un material semejante a la arcilla. Para este propósito, debemos saber de qué manera las sustancias orgánicas naturales disuelven las rocas y minerales formando complejos quelados con sus cationes metálicos¹⁻²⁻³⁻⁴.

En primer lugar, consideremos la planta misma. Las hojas rojas pueden deberse a pigmentos, tales como antocianinas, que son en parte responsables del brillante follaje otoñal. Las hojas contienen, además, muchos compuestos incolores capaces de quelar los metales. Algunos de éstos, tales como los polifenoles¹¹, por ejemplo, pueden reaccionar con el hierro libre o iónico, también presente en las hojas¹², para formar quelatos rojos. Estos complejos pueden haber producido el color rojo de la planta descrita en el libro de Fawcett⁸. Una alta concentración de moléculas de enlace libre en el jugo de las hojas podría explicar su acción ablandadora sobre las rocas.

Las plantas pueden cambiar

¿Dónde está la planta roja hoy día? De acuerdo al antiguo relato, debe haber sido abundante en una época, ya que los Incas y los pájaros usaban sus hojas para sus trabajos en piedra. Mucho más tarde, cuando la planta fue vista según el relato de Fawcett, ya era, al parecer, escasa. Crecía sólo en uno o muy pocos lugares. Por esta razón las personas del relato no pudieron encontrarla. Ahora, aparentemente, no se la conoce en absoluto. Esto indica que las condiciones deben haber cambiado en sentido desfavorable a la supervivencia de la planta o, al menos, a su capacidad de producir el pigmento rojo.

La Cordillera andina es una cadena montañosa relativamente joven; la historia de su formación es bastante compleja. En un cinturón sísmico como éste, las condiciones para el desarrollo de las plantas están sujetas a cambios. La actividad orogénica, distinta de las erupciones volcánicas, por lo general no es lo suficientemente repentina o drástica para provocar la completa extinción de especies vegetales. Aun plantas con requie-

rimientos muy específicos, tales como los "musgos del cobre"¹³, han logrado sobrevivir desde el Terciario en nichos ecológicos aislados que todavía les proporcionan condiciones apropiadas. Lo más probable es que la actividad orogénica simplemente altere el metabolismo de las plantas. Una consecuencia de esta alteración podría ser que a través de un período de años se produjera progresivamente menos cantidad de un pigmento determinado. En áreas montañosas, pequeños cambios de altura corresponden, en términos de clima, a distancias muy grandes en longitud en terreno bajo y llano. En el caso de la flora alpina especialmente, las condiciones de desarrollo están a menudo precariamente equilibradas¹⁴⁻¹⁵⁻¹⁶, de modo que pequeños cambios pueden producir efectos marcados. Por tales razones, el proceso relativamente lento de la orogénesis podría alterar significativamente, dentro de períodos relativamente cortos, el metabolismo de plantas con "propiedades plásticas"¹⁷.

Con respecto a los polifenoles, muchos de los cuales forman complejos de hierro rojos, se ha demostrado que la concentración de estos compuestos en las hojas de las plantas puede depender de la estación del año¹⁸ y de la disponibilidad de nutrientes minerales del suelo¹⁹, lo que a su vez puede estar influenciado por condiciones climáticas²⁰. Las variedades químicas de ciertas especies de líquenes³ pueden también deberse a diferencias de clima. Recientes estudios en Inglaterra han mostrado que se pueden producir cambios hereditarios en las plantas de lino mediante diferentes tratamientos fertilizantes¹⁷. Tales efectos implicarían alteraciones en el equilibrio enzimático y pueden ser responsables de la desaparición de las antocianinas²¹ y otros compuestos.

Todos los organismos tienden a ajustarse a los cambios ambientales. El aumento o disminución de la pigmentación de las plantas refleja a menudo una adaptación bioquímica. Si la planta de hojas rojas perdió gradualmente este color distintivo, parecería ahora como una vegetación verde corriente. Y si el pigmento rojo fuera el quelator responsable de la acción ablandadora sobre las rocas, el jugo de la hoja verde actual carecería de esta capacidad.

La leyenda puede ser verdadera

¿Cómo explicar, entonces, lo que sería la última observación registrada de la planta roja en el relato de Fawcett? La topografía de las montañas ocasiona pronunciadas variaciones de temperatura, luz y humedad en áreas pequeñas, localizadas. Esto es microecología y microclimatología. En el tiempo del relato de Fawcett las condiciones reinantes en unos pocos lugares

podrían aún haber sido favorables para la formación del pigmento rojo.

La antigua leyenda puede, por lo tanto, ser verdadera sólo para condiciones que existieron en la época a la que se refiere la leyenda, pero no para condiciones actuales. El hecho de que la planta de hojas rojas y el pájaro sean desconocidos hoy día no significa que nunca existieran o que se hayan extinguido. La planta todavía puede estar creciendo donde crecía cuando el Imperio Incaico dominaba. Pero ahora es típicamente verde. El pájaro de la leyenda puede todavía estar viviendo en las mismas montañas donde vivía junto con los Incas. Pero cuando no hubo más hojas rojas tuvo que aprender a construir otra clase de nidos.

¿Pueden los productos vegetales ablandar rocas?

Consideremos ahora si los productos vegetales pueden ablandar rocas. Los albañiles incas usaban principalmente tres clases de rocas⁷. Para cimientos, terrazas y muros de contención empleaban caliza de Yucay que siempre se cortaba en bloques poligonales. También usaban el porfirio diorita verde de Sacsahuaman, igualmente en formas poligonales, para muros de contención donde se requería una solidez excepcional. La albañilería corriente se construía con bloques rectangulares de andesita negra, cortados generalmente en tamaños uniformes y colocados según un patrón regular.

La roca caliza consiste en carbonato de calcio y magnesio. Estos compuestos son disueltos rápidamente por muchos ácidos orgánicos y otros agentes complejantes que abundan en los jugos de las plantas. Algunos líquenes de la caliza, por ejemplo, cavan sus propias tumbas porque producen grandes cantidades de poderosos agentes quelatores que disuelven el substrato calcáreo. Cuando esto sucede, el líquen literalmente se entierra a sí mismo digiriendo la roca en su vecindad inmediata. Lo que finalmente resulta es una cripta en forma de pera que se abre a la superficie por un pequeño orificio y cuyo fondo y costados están cubiertos por el líquen. Estas pequeñas cavidades formadas por la acción digestiva de los ácidos del líquen corresponden a las depresiones o huecos de mucho mayor tamaño que los pájaros de la leyenda construían como nidos usando los quelatores del jugo de la planta de hojas rojas. Es justo suponer que los Incas, eximios artesanos y grandes observadores de la naturaleza, habrían advertido la técnica del pájaro y la aplicarían a sus obras de piedra. Otras rocas contienen diferentes minerales que son igualmente atacables por productos vegetales. Prueba de esto es el exuberante crecimiento de los líquenes

sobre rocas desnudas en regiones de alta montaña, más arriba de la línea de los árboles, donde no hay suelo o agua corriente. Estos líquenes satisfacen sus requerimientos minerales extrayendo todos los elementos menores necesarios del substrato de roca¹⁻²⁻³⁻²². Muchos ácidos de los líquenes, dicho sea de paso, forman complejos de hierro rojos característicos⁵⁶⁻⁵⁷ tal como lo hacen algunos agentes quelatores sintéticos⁵⁸.

Pruebe usted mismo

Un simple experimento casero le demostrará que algunos productos vegetales pueden disolver ciertos constituyentes de las rocas. Diversos ésteres de ácido salicílico se encuentran en las hojas de wintergreen, la corteza de abedul dulce y otras plantas. Muchos de estos compuestos, tanto como el ácido salicílico libre, son poderosos agentes quelatores que forman con el hierro un complejo rojo bajo condiciones ácidas. Este color hace fácil observar las reacciones químicas. Para hacer el experimento suspenda 3 ó 4 tabletas de aspirina (que contiene acetilsalicilato como ingrediente activo) en medio vaso de agua; agregue una cucharadita de suelo, sacuda y déjelo por unos pocos días. El fluido claro que sobrenada la mezcla desarrollará un color rojo que se hará cada vez más intenso. Esto ocurre porque el salicilato disuelve el hierro de las partículas de roca y de los minerales del suelo. El color rojo se debe al complejo soluble de hierro-salicilato que presenta este color sólo bajo condiciones ácidas. Pero muchos jugos de hojas son ácidos.

Ahora bien, repita el mismo experimento, pero usando esta vez roca fina o partículas minerales en vez de suelo. Para preparar este material pulverice piedras pequeñas frotándolas o golpeándolas con otras más grandes de la misma roca. No use martillo porque introduciría contaminación química en forma de fragmentos de hierro. Este experimento le permitirá determinar la rapidez con que son intemperizadas las diferentes rocas y minerales. Probando partículas de diferente tamaño puede también comprobar la importancia del área de superficie en el proceso de intemperización. La reacción de quelación que produce el complejo soluble de color rojo en estos experimentos ilustra el tipo de química de quelación que interviene en la formación del suelo (es decir, en la pedogénesis) y en su fertilidad¹⁻²⁻³⁻⁴.

Ahora, haga el experimento por tercera vez, pero con clavos de hierro o lana de acero en lugar de suelo, rocas o minerales. Si no hay presente un quelator, obtendrá solamente herrumbre que es una mezcla de óxidos e hidróxidos de hierro. Pero si agrega aspirina

(es decir, amino-salicilato) al comenzar el experimento, aparece el típico complejo rojo de hierro-salicilato porque el agente quelator disuelve la herrumbre a medida que se forma. Este experimento con hierro libre o elemental muestra cómo pueden haber sido disueltas las espuelas de metal en el relato de Fawcett. Además de la quelación, podría haber existido una acción abrasiva por el frotamiento contra las hojas y tallos, rocas y quizás el suelo. Todo pudo haber contribuido a la rápida destrucción de las espuelas.

Las reacciones de algunos agentes quelatores con las rocas pueden ser sorprendentemente rápidas. El granito pulverizado es atacado por ciertos ácidos de los líquenes en 3 ó 4 horas³ y por soluciones diluidas de salicilato, casi inmediatamente después del contacto (observaciones no publicadas). Las partículas más grandes, con menos superficie por unidad de peso, reaccionan, por supuesto, más lentamente.

Con respecto al "ablandamiento" de rocas por líquenes y otros productos vegetales no es necesario que afecte a toda la roca; esto es, que *todos* sus minerales sean *completamente* disueltos. La digestión de sólo uno o unos pocos constituyentes minerales puede debilitar la estructura total de la roca. Pero no es ni siquiera necesario disolver *completamente ningún* mineral. La remoción de ciertos "átomos claves", tales como el hierro, por ejemplo, puede dejar todavía mucho material insoluble, pero en un estado alterado y debilitado (es decir, más blando). Leimgruber ha desarrollado este concepto de "átomo clave" para explicar parte del proceso de caries dentales²³. Fenómenos similares pueden intervenir en la intemperización de rocas y minerales. En ambos sistemas la quelación juega un papel esencial¹⁻².

¿Qué clase de quelatores podrían haber usado los Incas?

Entre los productos de las plantas superiores, los polifenoles son de particular interés a causa de su abundancia en las hojas, su capacidad para disolver el óxido de hierro y otros minerales, su resistencia a la oxidación y a la polimerización bajo condiciones ácidas, y el color rojo de sus complejos de hierro³². De acuerdo a Davies et al.²⁴. "Los polifenoles pueden reducir el hierro férrico y formar entonces un complejo no-iónico capaz de moverse libremente en la solución del suelo sin intercambio iónico. En nuestra búsqueda de un común denominador en los procesos que rigen la naturaleza y extensión del desarrollo orgánico e inorgánico de un perfil de suelo, nos inclinamos a creer que los polifenoles son el factor unificador. La cantidad y clase de los polifenoles en las hojas en crecimiento de las plantas tiene

especial importancia para el humus superficial y para el movimiento de algunas sustancias inorgánicas dentro del perfil. Esta idea se basa en muchas... observaciones... y está firmemente apoyada en nuestros propios trabajos. No hay duda de que cualquier explicación satisfactoria del movimiento del hierro debe basarse en la actividad del polifenol".

Bloomfield²³ estudió también la acción de los polifenoles como solubilizadores del hierro en la formación del suelo. Himes et al.²⁰ observaron que los constituyentes orgánicos de los extractos de hojas de arce y roble reaccionaban con el hierro para producir complejos con máximos de absorción característicos, y concluyeron que debe atribuirse la secuestación a los grupos fenólicos. Hingston²⁷ investigó la "actividad de los constituyentes polifenólicos de las hojas de Eucalyptus y otras especies en el proceso de complejar y disolver el óxido de hierro" y concluyó: "Por la reacción de los polifenoles parece indudable que compuestos de este tipo juegan un rol sustancial en la génesis del suelo". Otros informes sobre la capacidad quelatora de los extractos de hojas son tratados por Mortensen²⁸, algunas de cuyas conclusiones sobre la importancia de la quelación en el suelo han sido discutidas⁴.

Aunque hemos desarrollado nuestra tesis principalmente en términos de hierro y constituyentes polifenólicos de las plantas, esto no significa que nos limitamos a estas sustancias exclusivamente. Sin embargo, los complejos de hierro se formarían con mayor probabilidad a causa de sus altas constantes de estabilidad. La "capacidad de disolver el hierro" que poseen los extractos de hojas de diversos árboles "además del eucalipto, se debe en muchos casos probablemente a agentes complejantes de bajo peso molecular del tipo carboxílico o hidroxil-ácido simple"²⁷. Dado que estos otros compuestos están también presentes y son tal vez más abundantes que los polifenoles en algunas hojas, sería extraño que no aparecieran en las hojas rojas de la planta que los Incas y el pájaro podrían haber usado para sus trabajos de piedra. Muchos metales además del hierro están presentes por lo general en las rocas y minerales y son fácilmente complejados por los polifenoles y otros constituyentes de las plantas²⁹⁻³⁰. Sin embargo, el hierro y quizás el manganeso pueden jugar un papel clave en los procesos de intemperización³¹.

¿Otros animales ablandan también los minerales?

En términos de ecología comparada y de bioquímica comparada es interesante el hecho de que muchos animales ablandan y perforan las rocas. Y, como el caso del pájaro de la leyenda, lo hacen generalmente

para formar "nidos". Además, los procesos de ablandamiento de la roca a menudo implican quelación. Nos referimos aquí a numerosos animales marinos: esponjas, un gusano plano, gusanos sipuncúlidos y poliquetos, equinodermos, bromas, gastrópodos y moluscos bivalvos³². Muchos de estos animales, al igual que los líquenes de la caliza ya mencionados, perforan calcita, coral, marga, conchas de moluscos, creta y mármol³³⁻³⁴. Pero algunos atacan substratos no calcáreos, verbigracia: arcilla dura, limonita, esquistos, pizarra, arenisca, rocas sedimentarias y concreto, pero no el granito³³⁻³⁴. En aquellos casos donde la perforación se debe totalmente o en parte a la acción química, es probable que en ella intervenga la quelación más bien que el ácido *per se*³⁵⁻³⁶. Aun en el caso de secreciones glandulares ácidas, éstas serían neutralizadas por el agua de mar alcalina. Las lombrices de tierra digieren roca y partículas minerales y aquí también interviene la quelación³⁰. Muchos microorganismos del suelo, algunos de los cuales habitan en el tracto digestivo de las lombrices de tierra, producen agentes quelatores que pueden disolver *completamente* ciertos minerales⁴².

El desgaste de los dientes de las ovejas que es un serio problema en Nueva Zelanda y otros países, es otro ejemplo de la forma en que los jugos de las hojas pueden destruir una estructura biológica mineralizada. Los dientes se hallan predispuestos a la abrasión excesiva a causa de la acción combinada de las enzimas proteolíticas de las plantas, destructoras de la matriz orgánica de la dentina, y de los ácidos que disuelven el mineral de apatita quelando su calcio³⁷.

Los esquimales del estrecho de Bering empleaban un mecanismo similar de proteólisis-quelación para tallar hueso, cuerno de ciervo y marfil. Antes de trabajar estos materiales los ablandaban sumergiéndolos en orina durante varios días³⁸. Algunos nativos de la Isla de Pascua que ahora residen en Chile han dicho que sus antepasados usaban orina para ablandar las rocas en las cuales tallaban las grandes estatuas de la isla (Alberto Medina, comunicación personal), pero otros sostienen que sólo usaban agua (Thor Heyerdahl, comunicación personal).

Un cemento antiguo notable

Es indiscutible, entonces, que los compuestos de las hojas pueden degradar ciertos minerales y, por consiguiente, ablandar las rocas. Pero esta es en sí misma una evidencia circunstancial: no prueba que el pájaro o los Incas usaran jugos de plantas como solventes en sus obras de piedra. Hay, sin embargo, otra evidencia de que podrían haberlo hecho.

En un caso, la técnica del trabajo fino de la piedra y el conocimiento de un cemento extraordinariamente duro existieron 1.500 años atrás en ciertas áreas de América Central y Sur, incluyendo un lugar de la costa ecuatoriana. Aquí, probablemente por razones estéticas o en conexión con la magia o la religión, algunos indios realizaban notables operaciones dentales que incluían la inserción de tarugos de jadeíta verde en los caninos de la mandíbula superior⁴⁰. Estos rellenos ajustaban perfectamente en cavidades cilíndricas magníficamente taladradas, lo que indica una notable habilidad técnica.

Cuando los investigadores dentales de la Universidad de Estocolmo, Suecia, examinaron algunos de estos dientes "obturados" de Teotihuacán, declararon: "Apenas sería posible para un dentista equipado con los instrumentos más modernos sobrepasar a estos colegas suyos de la Edad de Piedra... El hecho de que este cemento cumpla su tarea aun después de 1.500 años es sorprendente; el que nuestros dentistas emplean hoy día apenas puede confiarse que dure la vida del paciente"⁴⁰. La duración de este cemento se debe al hecho de que en su composición química es notablemente similar a nuestro moderno cemento Portland⁴⁰.

Este conocimiento técnico existía en partes de Sudamérica unos 300 años antes de que el Imperio Incaico fuera fundado por Manco Capac, el primer Inca, alrededor de 1200 d. C. Pero tres dinastías precedieron a la fundación del Cuzco, la ciudad capital del Imperio. Es probable que el antiguo arte del trabajo fino y preciso de la piedra, junto con el conocimiento de un cemento de gran calidad lo tuvieran ya las dinastías precedentes y que esta información fuera transmitida a los Incas.

¿Usaron cemento los Incas?

Si los Incas usaban un jugo de hojas para ablandar la roca, es probable que con él produjeran un material semejante a la arcilla, tal como lo producían los pájaros según el relato de Fawcett. Esta sustancia blanda podía a su vez sufrir transformaciones posteriores al afirmarse y secarse, como resultado de lo cual podría endurecerse nuevamente como piedra. El producto final, sin embargo, sería químicamente diferente de la roca original de la cual provenía. Algunos agentes quelatores digieren y solubilizan. Otros que forman complejos insolubles en agua³, pueden precipitarse y endurecerse, como veremos más adelante. Para los Incas, agudos observadores y técnicos hábiles, el valor de un cemento de este tipo para su albañilería habría sido evidente.

Según Bingham⁶, como se recordará, los Incas no usaban cemento. Algunos eruditos actuales con quienes he discutido el asunto descartan el uso de cemento, tal como desechan la leyenda del pájaro y la planta de hojas rojas. Sin embargo, el cronista Garcilaso de la Vega⁴¹, hijo mestizo de una princesa inca y de un capitán español, escribió las siguientes observaciones en 1609: "Los edificios de las casas, templos, jardines y baños de los Incas fueron en extremo pulidos, de cantería maravillosamente labrada, tan ajustadas las piedras que no admitían mezcla, y aunque en verdad se la echaban, era de un barro colorado que en su lengua llaman "llancac allpa", que es barro pegajoso hecho leche, del cual barro no quedaba después señal ninguna entre las piedras, por lo cual dicen los españoles que los Incas ajustaban sin mezcla".

En nuestra traducción del relato español original, hemos supuesto que la palabra "leche" se refiere a un jugo blanco de plantas. Este es un significado del término⁴³. Sin embargo, se nos ha advertido que en este contexto particular "leche" puede referirse a un fluido blanco o blando viscoso, tal como, por ejemplo, "leche de tierra" que es leche de magnesia. No se sabe, por lo tanto, con precisión lo que el autor tenía en su mente.

No obstante, este informe de una persona que vivió sus años de juventud en el Perú hace cuatro siglos tiene sentido en término de la moderna ciencia del suelo. El actual conocimiento de la quelación debida a compuestos orgánicos naturales ayuda a comprender lo que Garcilaso de la Vega escribió en 1609. Más aún su relato no es meramente una versión más antigua de la leyenda acerca del pájaro y la planta de hojas rojas. Por el contrario, no menciona nada de esto. En cambio, describe el cemento empleado por los Incas y explica por qué razón los españoles supusieron erróneamente que no usaban ningún mortero.

Es más que una coincidencia el hecho de que el cemento⁴¹ y las hojas⁸ que proporcionaban el jugo para preparar el cemento fueran ambas rojas. A causa de la abundancia de hierro en la mayoría de las rocas y las altas constantes de estabilidad, los complejos de hierro se formarían muy probablemente durante las reacciones entre minerales y constituyentes polifenólicos de las plantas. Y muchos complejos de hierro son rosados, rojos o violetas. No habría contradicción entre un jugo de plantas de color blanco (si es esto lo que la palabra "leche" significa en la crónica de 1609) y la planta de hojas rojas en el relato de Fawcett. El jugo de hojas rojas puede ser blanco, del mismo modo que es blanco el jugo de plantas de hojas verdes, como el caucho y el vencescósigo.

Finalmente, el que se produzca un cemento rojo semejante a la arcilla al ponerse en contacto el jugo blanco de una planta con el polvo de roca gris o blanco, es perfectamente posible. Si se mantiene húmeda por algunos días una pasta preparada con agua, roca pulverizada y ácido salicílico o algún compuesto polifenólico de origen vegetal, puede convertirse en un barro o arcilla roja. Estas pastas pueden también poseer o desarrollar subsecuentemente propiedades cementadoras.

La bioquímica comparada sugiere que las propiedades adhesivas del cemento rojo que los Incas pueden haber usado dependería de los quelatos de hierro. En el suelo los quelatos pueden llegar a unirse a la arcilla a través de ligamientos Fe-O-arcilla en los bordes o lados de los cristales de arcilla⁴⁴. El cemento rojo-café producido por ciertos foraminíferos arenosos es también parte de un quelato que consiste en hierro férrico y un ácido mucopolisacárido (proteína ligada con carbohidrato) que secretan estos organismos⁴⁸. Esta clase de unión, a la cual tal vez pueda atribuirse la formación de concreciones y hardpan en los suelos, se vería facilitada debido a las superficies finamente pulidas y bien ajustadas de las rocas⁴⁵, características de la albañilería inca, y al poco espesor de la capa de cemento⁴⁵ que presumiblemente empleaban⁴⁴.

Otro experimento

Usted mismo puede comprobar que una pequeña cantidad de adhesivo puede ser más efectiva que una gran cantidad cuando se trata de superficies suaves y pulidas que ajustan muy bien entre sí. Tome dos portaobjetos de microscopio o cualquier otro par de fragmentos planos de vidrio. Humedézcalos con agua y luego comprímalos fuertemente uno contra otro de modo que sólo quede entre ellos una delgadísima capa de agua. Trate ahora de separarlos. Repita el experimento, pero esta vez comprima levemente las láminas de vidrio, dejando entre ellas bastante agua. Compare la cantidad de fuerza requerida para separarlas cuando están "cementadas" mediante una capa de agua delgada y una gruesa. Tal vez, accidentalmente, le sorprenda saber que el agua misma es, técnicamente, un buen adhesivo⁴⁶.

Cemento que desaparece

De acuerdo a Garcilaso Inca de la Vega⁴¹, la arcilla o barro colorado aparentemente desaparecía, de modo que aún los españoles en ese tiempo tenían la impresión de que no se había usado cemento. Es comprensible, por lo tanto, que los eruditos de hoy día sean de la misma opinión. ¿Es posible que el cemento

desapareciera? De nuevo, el complejo rojo de hierro-salicilato nos da información pertinente. El ácido salicílico ha sido usado para la determinación colorimétrica del óxido férrico en los suelos⁴⁷. Pero el color amatista del complejo salicilato-férrico se desvanece muy rápidamente expuesto a la luz brillante; aun en luz difusa, permanece estable sólo durante 48 horas⁴⁸. La transformación de los complejos de hierro con pérdida de color también se conoce en otros campos. La resina de cáñamo, narcótico obtenido de *Cannabis sativa*, contiene polifenoles que forman un complejo rosado con FeCl_3 . La intensidad de este color varía según sean los productos de descomposición que se forman cuando la droga se almacena en condiciones desfavorables⁴⁹.

La autodescomposición de los quelatos ha sido considerada en la pedogénesis. En un estudio sobre la "queluvación" como un proceso genético en la podzolización, Swindale y Jackson observaron que "los agentes quelatores, constituidos principalmente por sustancias orgánicas derivadas de la biosfera, pueden perder algo de su efectividad con el tiempo, permitiendo que se precipiten los elementos estabilizados en solución⁵⁰". Cate observó que si un extracto filtrado de agujas de pino se pasaba a través de una arcilla saturada de aluminio, se desarrollaba un precipitado negro después de unos pocos días⁵⁰.

En química de coordinación es bien conocido el hecho de que ciertos complejos metálicos orgánicos se forman y luego se descomponen para dar nuevos productos. De acuerdo a Chaberek y Martell⁵²: "En algunas reacciones un quelato metálico relativamente estable se descompone con la formación de un hidróxido metálico, aun cuando la estabilidad del quelato debería ser suficiente para impedir la precipitación del ion metálico. Este tipo de reacción ocurre sólo cuando es posible formar otros quelatos metálicos que son también estables y que pueden formarse únicamente por liberación de parte del metal en forma iónica. Estas reacciones de desproporción son muy comunes con los iones metálicos incompletamente quelados de la serie de transición", la cual incluye el hierro.

La actividad microbiana puede también producir cambios químicos y físicos en los quelatos. Algunas microbionas transforman los complejos de sesquióxido de humus en suelos podzólicos⁵³. La descomposición de estos compuestos orgánico-minerales y la oxidación del hierro y el manganeso a óxidos hidratados de valencia superior puede producir concreciones de hierro-manganeso⁵³, las que, desde luego, poseen propiedades cementadoras. Algunos productos microbianos forman complejos de hierro increíblemente fuertes, con constantes de estabilidad más altas aun que el tetracetato de ferro-etilenediamina⁵⁴.

¿Por qué no hay documentos?

La transformación biológica o estrictamente química de un cemento quelato no implica necesariamente una pérdida de su capacidad adhesiva. Al contrario, puede formarse otro quelato con propiedades cementadoras más enérgicas. Pero es posible que los enlaces orgánicos también lleguen a descomponerse. Si quedara alguna unión, se debería principalmente a la pequeña cantidad de hierro y otros óxidos metálicos, y es probable que fuera relativamente débil. La cantidad de precipitación pluvial en el área del Cuzco y Macchu Picchu es suficiente como para permitir una considerable actividad microbiológica durante ciertas estaciones. Después de un período, esto se traduciría en la destrucción completa de los cementos orgánicos. Así, es enteramente explicable que un cemento a base de extracto de hojas desaparezca con el tiempo.

Construyendo con la química

En 1532 Pizarro desembarcó cerca de Tumbes con un ejército de menos de 200 hombres y se apoderó de un imperio de varios millones de habitantes. Por esa época la construcción de grandes obras de piedra ya había sido completada. Cuzco y Macchu Picchu se cree fueron construidas entre 1200 y 1400 d.C. No se sabe con precisión cuánto demoró la construcción de cada sitio; no hemos encontrado cálculos acerca de cuántas horas-hombre o años-hombre requería este trabajo. La albañilería de piedra pudo haber sido hecha, ciertamente, empleando la abrasión exclusivamente; pero sin duda que un proceso químico para ablandar la roca habría facilitado considerablemente esta tediosa labor. Si la leyenda es verdadera y los Incas usaron un jugo de plantas como solvente para este propósito, sus obras de piedra se habrían construido más fácilmente y en menos tiempo de lo que se podría suponer sobre la base del frotamiento y pulido exclusivamente.

Es interesante a este respecto que el lenguaje quechua de los Incas contiene solamente una palabra para "trabajar" y "cultivar"⁶. Esto indica la gran importancia de la agricultura en esa sociedad. "Aparentemente, cultivar la tierra" y no trabajar la roca "era lo único que se estimaba como trabajo"⁶. La albañilería inca quizás puede no haber sido una actividad tan laboriosa y consumidora de tiempo como sería el caso si se hubiera realizado únicamente por abrasión. El ablandamiento químico de la roca mediante quelatores explicaría esto.

Es sorprendente que una cultura tan avanzada como la de los Incas no dejara lenguaje escrito, ni siquiera jeroglíficos. No tenemos ninguno de sus propios registros para guiarnos. Sin embargo, como lo expresa Bingham, "no podemos dejar de preguntarnos si es verdad que hubo una época en que los antiguos peruanos, tan hábiles en tantos terrenos, tan llenos de inventiva para desarrollar el arte y la agricultura y la cría de nuevas plantas y animales, concibieron también la idea de hacer un registro escrito, pero que se abstuvieron de hacerlo por la superstición del pueblo y el temor de los sacerdotes y hechiceros. Esto no es imposible".

Si alguna vez tuvieron registros escritos, todos fueron destruidos. Esto está señalado en una historia de los Incas escrita por Fernando Montesinos⁵⁵, un abogado eclesiástico que estuvo en Perú en 1629 como consejero y secretario del virrey. En esta historia se dice que en una época los gobernantes incas estimaron que la obediencia del pueblo se había aflojado porque su religión y sus costumbres estaban corrompidas. "La causa de la pestilencia", se creía, "habían sido las letras y... nadie debía usarlas pues a causa de su empleo sobrevendría un gran daño. Por lo tanto, Tupac Cauri ordenó por ley que, bajo pena de muerte, nadie debería traficar en quilcas, que eran los pergaminos y hojas de árboles sobre las cuales acostumbraban a escribir, ni nadie debería usar ninguna clase de letras. Ellos cumplieron esta orden del oráculo con tanto cuidado que después de esta pérdida los peruanos nunca volvieron a usar letras. Y cuando mucho tiempo después un amauta ilustrado inventó algunos caracteres, lo quemaron vivo, y así desde entonces ellos usaron hilos y quipos"⁶.

Conclusión

En este trabajo hemos intentado explicar cómo un pueblo antiguo pudo haber construido fantásticos muros de roca, templos, casas, baños, terrazas. Nos hemos apoyado en una antigua leyenda y en una observación registrada en 1609. Demostrando que ambas son enteramente plausibles en términos de la moderna ciencia del suelo, hemos proporcionado evidencias que tienden a validar las dos historias. No hemos establecido en forma concluyente que sean verdaderas. Pero a menudo es difícil o imposible obtener pruebas absolutas e inequívocas en tales materias. En arqueología y antropología frecuentemente deben hacerse deducciones. Esto es lo que hemos hecho en ausencia de artefactos pertinentes o registros escritos de los propios Incas.

Pero hemos tratado de enfocar el problema más ampliamente y evaluar la escasa evidencia desde puntos de vista que parece no se habían tomado en cuenta antes. En términos de química del suelo y microbiología del suelo es completamente posible que la antigua leyenda del pájaro sea verdadera y que los Incas aprovecharan las propiedades queladoras de la materia orgánica natural para facilitar su extraordinario trabajo de piedra.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue originalmente motivado por el profesor Otto Weinert, de la Universidad de Concepción, Chile, quien en 1962 nos indicó el probable papel de la quelación en el relato de Fawcett. El profesor Alberto Medina, del Instituto Cultural de Providencia, Chile, amablemente nos señaló las importantes observaciones de Garcilaso de la Vega, nos aconsejó acerca del posible error al traducir la palabra "leche" del autor como "jugo blanco de plantas" y nos proporcionó un útil fondo de información acerca de los Incas. Si la tesis que hemos desarrollado demuestra tener algún mérito, se debe al interés y ayuda de estas personas. Pero nosotros somos responsables de cualquier inexactitud.

BIBLIOGRAFIA

- ¹SCHATZ, A., et al. Chelation (sequestration) as a biological weathering factor in pedogenesis. *Proc. Penna. Acad. Sci.* 28: 44-51, 1954.
- ²MARTIN, J., et al. Chelation, or metal-binding, as a new approach to the problem of dental caries. *Euclides* 14: 311-317, 1954.
- ³SCHATZ, A., Soil microorganisms and soil chelation. The pedogenic action of lichens and lichen acids. *Jour. Agr. & Food Chem.* 11: 112-118, 1963.
- ⁴SCHATZ, A., et al. Soil organic matter as a natural chelating material. Part 1: The chemistry of chelation. *Cospost Science* 4: 25-28, 1964.
- ⁵BOOTH, E., Seaweed, the Romans valued it. *Popular Gardening*, p. 37. Junio 18, 1960.
- ⁶BINGHAM, H., Lost city of the Incas. The story of Macchu Picchu and its builders. Duell, Sloan and Pearce. New York, 1948.
- ⁷MASON, J. A., The ancient civilizations of Peru. Penguin Books. Baltimore, 1961.
- ⁸FAWCETT, P. H. Exploración Fawcett. Empresa Editora Zig-Zag. Santiago, Chile, 1955.
- ⁹WETMORE, A., An additional race of the pileated Tinamou from Panama. *Proc. Biol. Soc. of Washington.* 76: 173-176, 1963.
- ¹⁰WETMORE, A., Additions to records of bird known from the Republic of Panama. *Smithonian Miscellaneous Collections.* 145 (6): 1-11.
- ¹¹Symposium on Biochemistry of Plant Phenolic Substances. Colorado State University. Ft. Collins, Colorado. Aug. 31-Sept. 1, 1961.
- ¹²DEKOCK, P. C., Trace elements in plant nutrition. pp. 1-11. En: Some aspects of Trace elements in Nature. Editado por K. H. Schutte. University of Cape Town. Dept. de Botánica. Sudáfrica, 1961.
- ¹³SCHATZ, A., Speculations on the ecology and photosynthesis of the "copper mosses". *The Bryologist.* 58: 113-120, 1955.
- ¹⁴TRANQUILINI, W., The physiology of plants at high altitudes. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 15: 345-362, 1964.
- ¹⁵FLUCK, H., Intrinsic and extrinsic factors affecting the production of secondary plant products. pp. 167-186. En: *Chemical Plant Taxonomy.* Editado por T. Swain. Academic Press. London, 1963.
- ¹⁶CLEMENTS, H. F., Interaction of factors affecting yield. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 15: 409-442, 1962.
- ¹⁷DURRANT, A., The environmental induction of heritable change in *Linum*. *Heredity* 17: 27-61, 1962.
- ¹⁸MARGHA, U., Metabolism of polyphenol compounds in the leaves of the plum. I. Influence of stock on polyphenol content. *Izv. Akad. Nauk. Est. SSR, Ser. Biol.* 11(3): 209-218, 1962.
- ¹⁹LOCHE, J. y CHOUTEAU, J., Effects of deficiency of calcium, magnesium, or phosphorus on the accumulation of polyphenols in tobacco leaves. *Compt. Rend. Acad. Agr. France.* 12: 1017-1026, 1964.
- ²⁰SALMI, M., Additional information on the findings in the Mylodon Cave al Última Esperanza. *Acta Geographica.* N° 14, pp. 314-333, 1955.
- ²¹SCHACKLETTE, H. T. Flower variation of *Epilobium angustifolium* L. growing over uranium deposits, *Canadian Field-Naturalist* 78: 32-42, 1964.
- ²²SCHATZ, V. et al. Significance of lichens as pedogenic (soil-forming) agents. *Proc. Penna. Acad. Sci.* 30: 62-69, 1956.
- ²³LEIMGRUBER, CH., Symposium on dental caries: Miller's chemico-parasitic theory and the proteolysis-chelation theory. Part 9: The function of citrate in mineralized tissues. *Pakistan Dental Review.* (En prensa).
- ²⁴DAVIES, R. I., COULSON, C. B. y LEWIS, D. A., Polyphenols in soil profile development. *Sci. Proc. Roy. Dublin Soc., Series A.* 1: 183-189, 1960.
- ²⁵BLOOMFIELD, C., The possible significance of polyphenols in soil formation. *Jour. Sci. Fd. Agr.* 8: 389-392, 1957.
- ²⁶HIMES, F. L., TEJEIRA, R. y HAYES, M. H. B., The reactions of extract from maple and oak leaves with iron and zinc compounds. *Proc. Soil. Sci. Amer.* 27: 516-519, 1963.
- ²⁷HINGSTON, F. J., Activity of polyphenolic constituents of leaves of Eucalyptus and other species in complexing and dissolving iron oxide. *Australian Journ. Soil Sci.* 1: 63-73, 1963.
- ²⁸MORTENSEN, J. L., Complexing of metals by soil organic matter. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* pp. 179-186, 1963.
- ²⁹KEE, N. S. y BLOOMFIELD, C., The solution of some minor element oxides by decomposing plant materials. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 24: 206-225, 1961.
- ³⁰KEE, N. S., y BLOOMFIELD, C., Mobilization of trace elements in waterlogged soils. *Chem. & Ind.* pp. 252-253, 1961.
- ³¹DAKSHINAMURTI, C. y MITAL, O. P., Soil Acidity and microelement status. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 26: 229-231, 1961.
- ³²COULSON, C. B., DAVIES, R. I., y LEWIS, D. A., Polyphenols of leaves, litter, and superficial humus from mull and mor sites. *Jour. Soil Sci.* 11: 20-29, 1960.
- ³³YONGE, C. M., Animals that bore through rock. *New Scientist* N° 328, pp. 468-471. February 28, 1963.
- ³⁴YONGE, C. M., Rock-boring organisms. pp. 1-24. En: *Mechanisms of Hard-Tissue Destruction.* Publication N° 75. Amer. Assoc. Advanc. Sci. Washington, D. C., 1963.
- ³⁵GOREAU, T. F. y HARTMAN, W. D., Boring sponges as controlling factors in the formation and maintenance of coral reefs. pp. 25-54. En: *Mechanisms of Hard-Tissue Destruction.* Publication 75. Amer. Assoc. Advanc. Sci. Washington, D. C. 1963.

- ³⁶CARRIKER, M. R. et al. Demineralizing mechanisms of boring gastropods. pp. 55-89. En: Mechanisms of Hard-Tissue Destruction. Publication N° 75. Amer. Assoc. Advanc. Sci. Washington, D. C. 1963.
- ³⁷BARNICOAT, C. R., Attrition of the hypsodont (sheep's) tooth. pp. 155-170. En: Mechanisms of Hard-Tissue Destruction. Publication N° 75. Amer. Assoc. Advanc. Sci. Washington, D. C., 1963.
- ³⁸SCHATZ, A. y MARTIN, J. J., Symposium on dental caries: Miller's chemico-parasitic theory and the proteolysis-chelation theory. Part 4: Perspectives in caries research. Pakistan Dental Review 14: 81-93, 1964.
- ³⁹RHODE, G., Die biologische Verwitterung. Ztschr. für gesamte Hyg. u. ihre Grenzgebiete. Helf 2. Jahrgang 9. pp. 94-99, 1963.
- ⁴⁰SCHATZ, A. y MARTIN, J. J., On a remarkable dental cement formulated by American Indians 1500 years ago. New York. Jour. Dent. 31: 154-156, 1961.
- ⁴¹GARCILASO DE LA VEGA. Comentarios Reales de los Incas (1609). (2 tomos) EMECE Editores, S. A., Buenos Aires, Argentina, 1943.
- ⁴²WEBLEY, D. M., DUFF, R. B., y MITCHELL, W. A., A plate method for studying the break down of synthetic and natural silicates by soil bacteria. Nature 188: 766-767, 1960.
- ⁴³New Revised Velásquez Spanish and English Dictionary. Follett Publishing Co. New York, 1961.
- ⁴⁴WALLACE, A. y LUNT, O. R., Reactions of some iron, zinc, and manganese chelates in various soils. Proc. Soil Sci. Amer. 20: 479-482, 1956.
- ⁴⁵SHARPE, L. H., SCHONHORN, H. y LYNCH, C. J., Adhesives. Internat. Sci. 7 Technol. N° 28, pp. 26-37. April 1964.
- ⁴⁶HEDLEY, R. H., Cement and iron in the arenaceous foraminifera. Micro-paleontology, 9: 433-441, 1963.
- ⁴⁷STEENKAMP, J. L., Micro-chemical analysis of soils. Jour. South African Chem. Inst. 13: 64-70, 1930.
- ⁴⁸SNELL, F. D., y SNELL, C. T., Colorimetric Methods of Analysis. D. Van Nostrand Co. Inc. New York, 1949.
- ⁴⁹GRLIC, L., A comparative study on some chemical and biological characteristics of various samples of cannabis resin. Bulletin on Narcotics. 14: 37-46, 1962.
- ⁵⁰SWINDALE, L. D., y JACKSON, M. L., Genetic processes in some residual podzolized soils of New Zealand. Proc. vi Internat. Congress of Soil Sci. (Paris), pp. 233-239, 1956.
- ⁵¹CATE, R. B., Organic translocation of metals. Southeastern Geology 1: 83-92, 1959.
- ⁵²CHABEREK, S., y MARTELL, A. E., Sequestering Agents. John Wiley & Sons, Inc. New York, 1959.
- ⁵³ARISTOVSKAYA, T. V., Decomposition of organomineral compounds in podzolic soils. Pochvovedenie, pp. 30-43, 1963.
- ⁵⁴PRELOG, V., Iron-containing antibiotics and microbial growth factors. Pure & Appl. Chem. 6: 327-338, 1963.
- ⁵⁵MONTESINOS, FERNANDO. Memorias Antiguas Historiales del Perú. (Translated and edited by P. A. Means, with an Introduction by C. R. Markham). London, 1920.
- ⁵⁶LAAKSO, P. V., GUSTAFSSON, M., y VIRTANEN, O. E., The antibiotic activity and color reaction with ferric chloride of some Finnish lichens. Suomen Kemistilehti B 25: 10-14, 1952.
- ⁵⁷ASAHINA, Y., SHIBATA, S., Chemistry of Lichen Substances. Japan Society for the Promotion of Science. Ueno, Tokyo, Japan, 1954.
- ⁵⁸BROWN, J. C. y TIFFIN, L. O., Properties of chelates and their use in crop production. Jour. Agr. & Food. Chem. 10: 192-195, 1962.

(Traducción de Flora V. de Medina)