Conciencia Tecnológica No. 43, Enero-Junio 2012

El Papel del Silicio en los Organismos y Ecosistemas

Nota de Divulgación

Dr. Juan Carlos Raya Pérez, Dr. César L. Aguirre Mancilla
Instituto Tecnológico de Roque, División de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPI-ITR).
Carretera Celaya-Juventino Rosas. C.P. 38110, Celaya, Guanajuato, México. Tel. 01 (461) 6 11 77 57,
cesar.aguirre.m@gmail.com

Resumen

Durante mucho tiempo se olvidó u obvió la participación del silicio en la biósfera; sin embargo, este elemento químico es de gran importancia para algunos organismos como plantas y animales. Es arrastrado al mar por los ríos, donde es absorbido por las diatomeas, que al morir se sedimentan, quedando menos silicio biodisponible para otros organismos. El silicio sedimentado retorna a la biósfera con la subducción y formación de montañas. Otros organismos que requieren silicio en su metabolismo son las esponjas y los radiolarios; también forma parte de los componentes de la sangre y de los huesos de los animales. En las plantas juega un papel protector contra estrés biótico y abiótico y en algunos países lo emplean en la fertilización de algunos cultivos. El presente trabajo es con la finalidad de dar a conocer la importancia del silicio y los alcances que puede tener su estudio y aplicación.

Palabras clave: biosilicificación, frústulas, nanoestructura, toxicidad, fertilización.

Abstract

For a long time silicon has been forgotten about its involvement in the biosphere, however, this chemical element is very important for some organisms such as plants and animals. Silicon is dragged into the sea by rivers, where is absorbed by diatoms, which settle when they die, leaving less bioavailable silicon for other organisms. Settled silicon returns to the biosphere with subduction and mountain building. Other organisms that require silicon in metabolism are sponges and radiolarians, also it is a component of the blood and bones of animals. In plants silicon plays a protective role against biotic and abiotic stresses and in some countries silicon is used in the fertilization of some crops. The aim of this work is to raise awareness of the importance of silicon and the scopes of its study and application.

Key words: biosilisification, frustules, nanostructure, toxicity, fertilization.

Introducción

El silicio (Si) es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre (tabla 1) y se le utiliza desde hace miles de años en la fabricación del vidrio empleando para ello los silicatos. Desde aproximadamente mediados del siglo XX, se le ha utilizado en la industria electrónica y computacional. Es sabido que los microchips tienen como base el silicio. También hay celdas solares fabricadas con base en este elemento. En la actualidad se están desarrollando nanoestructuras a base de silicio y germanio, que presentan propiedades superconductoras, ya que pueden conducir la electricidad sin pérdida apreciable de corriente. Desde el punto de vista de organismos unicelulares, las frústulas de las diatomeas pueden ser consideradas nanoestructuras; ellas son de gran interés por su delicado diseño propio de cada especie y que asemejan estuches labrados en miniatura. Debido a esto se pretende mimetizar su construcción usando la nanotecnología [1, 2, 4].

Los polisiloxanos, comercialmente conocidos como silicones o siliconas, son polímeros cuyo esqueleto consiste de átomos alternados de oxigeno y silicio y como grupos laterales contienen radicales orgánicos diversos. Los enlaces silicio-oxigeno son fuertes y la cadena que forman es muy flexible, lo que explica en buena medida las propiedades de estos polímeros. Las siliconas son muy estables, poco reactivas, por lo que pueden ser usadas, entre algunos de sus muchos campos de aplicación, con fines médicos (implantes) y en la industria de los alimentos; por ejemplo, tapetes y moldes para hornear comidas sin grasa, por solo citar dos áreas de aplicación.

Elemento	Litósfera (%)	Biota (%)	Cultivos (%)
Si	27.7	0.03	0.1-10
O	47.4	24.9	45-47
H	1.5	49.8	-
C	0.48	24.9	48-50
N	0.03	0.27	0.5-6
Ca	4.1	0.07	0.1-6
K	2.1	0.05	0.8-8
Mg	2.3	0.03	0.05-1
P	1	0.03	0.15-0.5
S	0.26	0.17	0.1-1.5
Al	8.2	0.02	0.00001-0.05

Tabla 1. Abundancia de silicio y otros elementos en algunos reservorios de la corteza terrestre [3].

Los ciclos biogeoquímicos describen las vías, de modo cuantificable, de las formas biológicamente disponibles de un elemento a través de la biosfera. El ácido silícico es fuente y producto del ciclo biogeoquímico del silicio. El agua continental, ríos y arroyos alimentan el ciclo marino. Sin embargo, la reposición de silicio ocurre solo mediante el ciclo de los sedimentos marinos, que depende de los movimientos tectónicos tales como la formación de montañas en la subducción, retornando a la biosfera [5]. Por otra parte, el cuarzo se intemperiza lentamente formando acido silícico disponible para la biota [1]. El silicio constituye el 75% del peso seco de la esponja *Tethya aurantia*, lo que hace a este organismo un modelo para el análisis de las proteínas íntimamente asociadas con la sílice de origen biogénico. Estas esponjas silíceas depositan sílice en espículas que le dan soporte y la defienden contra los depredadores [1].

El silicio en diatomeas y radiolarios

Las diatomeas son miembros muy relevantes del fitoplancton marino y son también importantes para el ciclo biogeoquímico del silicio y en la fijación global de dióxido de carbono a través de la fotosíntesis. Un veinte por ciento de la producción primaria neta de la tierra se debe a las diatomeas, organismos que se originaron hace unos 240 millones de años [2, 6, 10]. Estos organismos unicelulares toman el ácido silícico disuelto en el agua y lo precipitan en forma de sílice opalina para formar sus frústulas, que son como estuches que las mantienen protegidas del exterior. El acido silícico es tomado por transportadores específicos y polimerizado intracelularmente en una vesícula especializada dentro de una matriz orgánica que consiste de largas cadenas de poliaminas y fosfoproteínas, llamadas silafinas [1, 2, 6]. Las silafinas no muestran homologías con las silicateinas de las esponjas ni con los transportadores de silicio del arroz (*Oryza sativa*). Si se toman las regiones más conservadas del transportador de silicio de maíz (*Zea mays*) [7] y se comparan con otras secuencias en el SIB Blast network service (Base de datos que alberga las secuencias de proteínas conocidas), las más parecida a estas resulta ser una proteína hipotética de sorgo (*Sorghum bicolor*) locus 01g050150 y la secuencia de un transportador de silicio de arroz (*Oriza sativa* del grupo Japonica) locus Os03g0107300 y de un transportador de silicio de cebada (*Hordeum vulgare*). El conocer la secuencia y estructura de las proteínas podría permitir el diseño de catalizadores para fabricar materiales a base de silicio. Hay proteínas de otras gramíneas, como *Pennisetum* (mijo), *Hordeum* (cebada) y calabaza [8]. Las diatomeas frecuentemente dominan en el fitoplancton en regiones de alta productividad donde los nutrientes para las algas, incluyendo al silicio, se encuentran disponibles. Estos nutrientes son arrastrados por los ríos a las aguas superficiales del mar y les permiten a las diatomeas florecer debido a la alta velocidad de absorción de nutrientes [9]. Dada la persistencia de sus "estuches", estos son usados en estratigrafía y como indicadores medioambientales, tal es el caso de *Synedropsis* spp., que se ha adaptado a vivir en las condiciones extremas del ártico, o *Porotheca danica* y *Pterotheca aculeifera*, especies cosmopolitas de aguas templadas [9, 10]. Debido a su importancia ecológica se han secuenciado los genomas de dos especies, el de *Thalassiosira psudonana* y el de *Phaeodactylum tricomutum* [6].

Los radiolarios son protistas marinos que forman parte del zooplancton y también requieren silicio para formar sus conchas opalinas. En los mares modernos el silicio puede llegar a ser factor limitante para el crecimiento del plancton, esto especialmente en los mares tropicales, donde el agua está muy estratificada. Por otro lado, en las latitudes australes hay poca estratificación y el silicio no es un limitante para el crecimiento del plancton. En los mares tropicales se observa una tendencia en las conchas de los radiolarios a disminuir de tamaño debido a la baja en la concentración de silicio a consecuencia de su utilización por parte de las diatomeas. Los radiolarios de finales del cenozoico (36-33 millones de años atrás) solo usaban un tercio del sílice, por unidad de concha, respecto a la cantidad que usaban los del cenozoico temprano (hace 65.5 millones de años); es decir, a medida que disminuyó la concentración de silicio en el agua los radiolarios se adaptaron fijando menos silicio a las conchas [9, 11].

El silicio y las plantas

El silicio tiene varios efectos sobre los vegetales. Las plantas de Arabidopsis fertilizadas con silicio, al ser infectadas con hongos, presentan una infección menos severa, además de que el silicio retrasa la aparición de la enfermedad y/o reduce su incidencia, modulando y sincronizando mejor la respuesta de la planta al patógeno. Es decir, la función del silicio no se limita a ser una barrera física (por ejemplo, los tricomas) contra las agresiones del medio, si no que tiene un papel más activo y relevante [12]. Las evidencias muestran que las plantas que crecen en ausencia de silicio frecuentemente son más débiles estructuralmente, y tienen menor tamaño, desarrollo, viabilidad y su reproducción es anormal; son más susceptibles a estrés abiótico así como a la toxicidad por metales, son más fácilmente atacadas por organismos patógenos, insectos fitófagos y mamíferos herbívoros. Sin embargo, debido a la dificultad de eliminar totalmente el silicio de los

medios de cultivo hidropónicos para plantas, este no se había reconocido como un elemento necesario en la nutrición vegetal. Se ha propuesto que el efecto benéfico que se observa cuando se agrega un puñado de suelo a los cultivos hidropónicos podría deberse al silicio añadido.

Las plantas superiores contienen entre 0.1 y 10% de silicio con base en el peso seco. Por comparación, el calcio está presente en valores que van de 0.1 a 0.6% y el azufre de 0.1 a 1.5%. El arroz (*Oryza sativa*) acumula hasta 10% de silicio y en general las monocotiledóneas acumulan más que las dicotiledóneas, aunque hay diferencias incluso entre variedades [13]. Las plantas llamadas cola de caballo (*Equisetum*) pueden contener hasta 4% de silicio; estas plantas se consideran "primitivas" y fueron de las primeras en cubrir la superficie terrestre (Las plantas vasculares aparecieron hace unos 410 millones de años, compárese con el tiempo de aparición de las diatomeas). En el caso del té de limón (*Cymbopongon citratus*) se tienen valores de 3.8% y para el carrizo (*Arundo donax*) se han registrado valores de hasta 1% de Silicio con base en peso seco, en el bambú (*Pleioblastus chino*) se han registrado valores de hasta 5% de silicio con base en peso seco, el género *Cyperus,* al que pertenecen los famosos papiros*,* es también un buen acumulador. De igual manera el género *Tillandsia*, a pesar de ser epifitas que crecen sobre los troncos de los árboles o, incluso en los cables aéreos de la red eléctrica [3,13]. Otras plantas de interés agrícola que presentan una buena acumulación de silicio, sin alcanzar los niveles del arroz, son el jitomate (*Solanum lycopersicum*), la calabaza (*Cucurbita* sp.), el amaranto (*Amaranthus* sp.), el frijol (*Phaseolus vulgaris*), el trigo (*Triticum aestivum*), el sorgo (*Sorghum bicolor*), la avena (*Avena sativa*), el girasol (*Helianthus annus*), el maíz (*Zea mays*) [13]. El silicio alivia los efectos dañinos de la salinidad; su presencia en el medio de crecimiento limita la acumulación de sodio en las hojas y mantiene un adecuado contenido de agua, que se refleja en una más alta acumulación de biomasa. Asimismo, incrementa la tolerancia a la presencia de metales como el zinc [14].

En plantas de jitomate (*Solanum lycopersicum*) el silicio ayuda a tolerar los suelos salinos. La concentración de sodio, boro y cloro en la parte aérea de las plantas de jitomate y espinaca (*Espinacea oleracea*), disminuye cuando se aplica silicio a los suelos sódicos y, por sus efectos sobre algunas enzimas, se propone que tendría un papel fisiológico y/o bioquímico como incrementar la capacidad defensiva antioxidante de las plantas [12]. En el maíz, también se ha reportado algo similar y en general se ha observado que ayuda a disminuir el efecto toxico del aluminio en suelos ácidos, presente especialmente en países tropicales como el nuestro. El silicio protege de la toxicidad del aluminio no solo a las plantas, tales como las coníferas, cebada, soya, sorgo, maíz, sino a la biota en general, así como los peces. Se ha sugerido que el silicio biodisponible es esencial para los organismos vivos porque se une al aluminio, formando hidroxialuminosilicatos $(AlOSi(OH)_3)^{2+}$ y así previene su toxicidad [15].

Los procesos de absorción, transporte y deposición del silicio están bajo control genético. En el arroz se ha encontrado una asociación genética entre QTLs (Quantitative Trait Loci, son características de un organismo en la que intervienen varios genes a fin de que pueda ser expresada) para contenido del silicio, QTLs para rendimiento y QTLs para tolerancia al encame [16]. Recientemente se clonó un gen, a partir de plantas mutantes de arroz que casi no absorben silicio, y que codifica para un transportador de este elemento en la raíz. En el maíz (*Zea mays*) y en la calabaza (*Cucurbita* spp.), la formación de fitolitos está bajo el control de un loci genético que también tiene influencia sobre cambios fenotípicos seleccionados durante el proceso de domesticación. De hecho, la forma de los fitolitos es distinta para cada especie de planta, por lo cual, se le utiliza para determinar qué tipos de vegetales eran utilizados por nuestros ancestros [17]. En el maíz, aprovechando la secuenciación de su genoma y comparándolo con las secuencias conocidas del transportador de silicio en el arroz, se identificaron dos genes (ZmLsi1 y ZmLsi6) involucrados en la absorción y transporte de silicio; dichos genes codifican para proteínas pertenecientes a un subgrupo de las acuaporinas [13, 18].

La aplicación de fertilizantes con silicio es común hoy en día en Corea y Japón, con un consumo anual de 400,000 y 1,000,000 de toneladas, respectivamente, logrando un incremento y/o sostenimiento en la producción de arroz. El silicio también es utilizado en Brasil, Australia, Sudáfrica e India para incrementar la producción de caña de azúcar. En México también se está generalizando su aplicación, tanto a nivel experimental como comercial. Existen empresas que ofertan fertilizantes en los que se incluye el silicio como un componente importante [19,20].

Presencia de silicio en tejidos animales

Las evidencias de diferentes estudios sugieren que el silicio es importante en la formación de los huesos en animales. La biodisponibilidad del silicio en la dieta no es clara. De hecho, se asume que el silicio, como ácido ortosilícico [$Si(OH)_4$], está disponible únicamente en líquidos (tal como el agua para beber y la cerveza) pero no en todos los alimentos en los cuales existe como polímero debido a reacciones de condensación entre

monómeros del ácido ortosilícico [21]. En México y otros países como Sudáfrica se vende "tierra para comer" (Sn Juan de los Lagos, México), la cual tiene un alto porcentaje de silicio en forma de oxido, como auxiliar en el tratamiento de infecciones estomacales [22]. La enzima digestiva tripsina, es capaz de hidrolizar *in vitro* enlaces de polímero de silicio, pero se desconoce si esto influye en la biodisponibilidad del elemento a través del tracto digestivo [1]. Faltan estudios para determinar si el silicio pudiera estar disponible en alimentos y en qué cantidades. El silicio soluble (acido silícico) se encuentra en la dieta humana en cantidades que van de 20 a 50 mg/día de silicio y el agua natural contiene de 0.8 a 44 mg de Si/L y a diferencia de la sílice cristalina (cuarzo) no se le ha asociado con efectos tóxicos. Entre los productos alimenticios que contienen silicio se encuentran la cerveza, el té de limón (*Cymbopogon citratus*), caña de azúcar (*Saccharum officinale*), el arroz, el champiñón (*Agaricus* sp.) el anís silvestre (*Tagetes micrantha*) [3]. Los humanos excretamos 15-20 mg diarios de silicio, mientras que los herbívoros excretan de 10-20 veces más. De hecho, cuando a los herbívoros se les altera la dieta y se les disminuye la cantidad de granos y/o rastrojos por alimento industrializado baja inmediatamente la cantidad de silicio excretado [23]. Además, los estudios en veterinaria y con animales de laboratorio, han arrojado como resultado que el silicio es importante en la síntesis de colágeno y en el desarrollo de los huesos. Estudios de privación de silicio en animales en crecimiento (ratas) realizados al inicio de la década de 1970, mostraron que su tamaño fue pequeño y que tenían defectos marcados en los huesos y en el tejido conectivo. Se ha propuesto que el ácido ortosilícico podría estar involucrado en la mineralización de la matriz ósea. En humanos, al dar un suplemento con silicio a mujeres posmenopáusicas con osteoporosis no solo inhibió la pérdida de hueso, sino que además se incrementó el volumen trabecular óseo y la densidad mineral del hueso. El silicio está presente además en el pelo, incluso en los fetos y en recién nacidos. Ya en el año 1857, se había determinado que las cenizas de sangre humana contenían un 0.5% de SiO_2 [21, 24].

La biosilicificación, o asimilación de silicio por parte de los seres vivos, ocurre en una amplia variedad de organismos, en las que se incluyen diatomeas, esponjas, moluscos y plantas superiores. Es extraordinario el control que tienen algunas especies sobre la arquitectura del silicio que va desde la nanoescala hasta las dimensiones macroscópicas. La atención se ha enfocado en los posibles roles que desempeñan los biopolímeros ocluidos y las membranas que cubren la estructura. Sin embargo, los mecanismos biosintéticos que controlan la polimerización del ácido silícico en sistemas vivos permanece aún desconocido. Sin duda la elucidación de este mecanismo, podría ayudar a resolver los requerimientos no explicados de silicio en la formación del esqueleto de mamíferos y podría dirigir el desarrollo de nuevas rutas de síntesis a baja temperatura de materiales basados en silicio [1].

Las altas cantidades de silicio presentes en los suelos, en apariencia, hacían pensar que no era necesaria su reposición. Sin embargo, así como sucede con elementos como el nitrógeno, el fósforo y el potasio (los principales nutrientes de los suelos), la extracción de productos vegetales tales como granos, forrajes, raíces, etc., que conlleva la extracción de estos elementos, y que de alguna manera deben ser repuestos al agroecosistema. Lo mismo deberá ocurrir con el elemento Silicio dada su participación en los organismos y en los ecosistemas que aquí se han descrito [22].

Conclusiones

La dilucidación del papel bioquímico y fisiológico de silicio en los organismos vivos permitirá una mejor comprensión de su papel en los diferentes niveles. En particular la polimerización del ácido silícico en las diatomeas puede abrir el campo a aplicaciones muy interesantes en el área de la nanotecnología. La utilización de fertilizantes con silicio puede ayudar al establecimiento de agroecosistemas sustentables al aumentar la resistencia de las plantas al estrés biótico y abiótico incluyendo resistencia a enfermedades. Desde que nuestro grupo se involucró en el estudio del silicio nos resulta claro que la investigación sobre este elemento y su uso se han ampliado, sin que esto se haya reflejado en nuestro país.

Agradecimientos

Al CONCYTEG proyecto 09-11-K119-044 y al Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica CONACYT-Gobierno del Estado de Guanajuato GTO-2011-C03-160518 y GTO-2011-C03-160509.
Asimismo se agradece la colaboración y participación del Dr. Juan Gabriel Ramírez Pimentel, M. C. Glenda M. Gutiérrez Benicio y del Dr. Jorge Covarrubias Prieto, pertenecientes al Cuerpo Académico de Biotecnología y Bioquímica de Semillas.

Referencias

[1] Brandstadt, K.F. (2005). Inspired by nature: an exploration of biocatalyzed siloxane bond formation and cleavage. *Current Opinion in Biotechnolgy.* 16, 393-397.

[2] Grachev, M.A., V.V. Annenkov, Y.V. Likhoshway (2008). Silicon nanotechnologies of pigmented heterokonts. *BioEssays.* 30, 328-337.

[3] Raya-Pérez J.C. y Aguirre-Mancilla C.L. (2009). Composición elemental de algunas especies de plantas silvestres mexicanas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 15, 95-99.

[4] Jaroniec, M. (2006). Organosilica the conciliator. *Nature.* 442, 638-640.

[5] Exley C. (1998). Silicon in life: A bioinorganic solution to bioorganic essentiality. Journal of Inorganic Biochemistry. 69, 139-144.

[6] Chepurnov, V.A., D.G. Mann, P. von Dassow, P. Vanormelingen, J. Gillard, D. Inze, K. Sabbe, W. Vyerman (2008) In search of new tractable diatoms for experimental biology. *BioEssays.* 30, 692-702.

[7] Mitani, N., N. Yamaji, J.F. Ma (2009) Identification of maize silicon influx transporters. *Plant Cell Physiol.* 50, 5-12.

[8] Piperno, D.R., Holst, I., Weassel-Beaver, L., Andres, T.C. (2002) Evidence for the control of phytolith formation in Cucurbita fruits by the hard rind (Hr) genetic locus: archeological and ecological implications. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 99, 10923-10928.

[9] Davies, A., A.E.S. Kemp, J. Pike (2009) Late cretaceous seasonal ocean variability from the Artic. *Nature.* 460, 254-258.

[10] Stickley, C.E., K. St John, N. Koc, R.W. Jordan, S. Passchier, R.B. Pearce, L.E. Kearns (2009) Evidence for middle Eocene Artic Sea ice from diatoms and ice rafted debris. *Nature.* 460, 376-380.

[11] Lazarus, D.B., B. Kotrc, G. Wulf, D.N. Schmidt (2009) Radiolarians decreased silicification as an evolutionary response to reduced Cenozoic ocean silica availability. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 106, 9333-9338.

[12] Fauteux, F., F. Chain, F. Belzile, J.G. Menzies, R.R. Belanger (2006), The protective role of silicon in the Arabidopsis-powdery mildew pathosystem. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 103, 17554-17559.

[13] Hodson, M.J., P.J. White, A. Mead, M.R. Broadley (2005), Phylogenetic variation in the silicon composition of plants. *Annals Botany.* 96, 1027-1046.

[14] Song, A., P. Li, Z. Li, F. Fan, M. Nikolic, Y. Liang (2011) The alleviation of zinc toxicity by silicon is related to zinc transport and antioxidative reactions in rice. *Plant Soil* 344, 319-333.

[15] Wang, X., A. Stass, W.J. Horst (2004) Apoplastic binding of aluminum is involved in silicon induced amelioration of aluminum toxicity in maize. *Plant Physiology.* 136, 3762-3770.

[16] Wu, Q.S.; Wan, X.Y.; Su, N.; Cheng, Z.J.; Wang, J.K.; Lei, C.L.; Zhang, X.; Jinag, L.; Ma, J.F.; Wan, J.M. (2006). Genetic dissection of silicon uptake ability in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Science.* 171, 441-448.

[17] Pohl, M.E.D., D.R. Piperno, K.O. Pope, J.G. Jones, (2007). "Microfossil evidence for pre-columbian maize dispersals in the Neotropics from San Andres, Tabasco, Mexico". *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 104, 6870-6875.

[18] Ma, J.F., N.Yamaji (2006) Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends Plant Science.* 11, 392-397.

[19] Keeping, M.G., O.L. Kvedaras (2008) Silicon as a plant defence against insect herbivory: response to Massey and Hartley. *J. Animal Ecol.* 77, 631-633.

[20] Dios Delgado, M. Sandoval Villa, M.N. Rodriguez Mendoza, E. Cardenas Soriano (2006) Aplicaciones foliares de calcio y silicio en la incidencia de mildiu en lechuga. *Terra Latinoamericana.* 24, 91-98.

[21] Jugdaohsingh, R., S.H.C. Anderson, K.L. Tucker, H. Elliot, D.P. Kiel, R. P.H. Thompson, J. J. Powell (2002) Dietary silicon intake and absorption. *American Journal Clinical Nutrition.* 75, 887-893.

[22] Kordörfer, A.P., E. Grisoto, J.D. Vendramim (2011) Induction of insect plant resistance to the Spittlebug Mahanarva fimbriolata Stal (Hemiptera: Cercopidae) in sugarcane by silicon application. *Neotropical Entomology* 40, 387-392.

[23] Bellia, J.P., Birchall, J.D., Roberts, N.B. (1996) The role of silicic acid in the renal excretion of aluminum. *Annals Clinical Laboratory Science.* 26, 227-233.

[24] Eisenger, J., Clairet, D. (1993) Effects of silicon, fluoride, etidronate and magnesium on bone mineral density: a retrospective study. *Magnesium Research.* 6, 247-249.

Artículo recibido: 31 de mayo de 2011

Aceptado para publicación: 16 de diciembre de 2011