

LA MINERALOGÍA DE LOS CÁLCULOS RENALES, UN CASO DE MINERALOGÍA PATOLÓGICA HUMANA

Liberto de Pablo Galán*

RESUMEN

La investigación y el conocimiento de la materia mineral depositada en el tracto renal corresponden a un área particular de la mineralogía, desarrollada muy poco debido a los conocimientos diferentes requeridos para el estudio mineralógico y para su interpretación bioquímica, médica o clínica. En la investigación presente se reporta la caracterización mineralógica de 1,214 cálculos (825 de hombres y 389 de mujeres) expulsados espontáneamente o removidos quirúrgicamente. La mineralogía consiste en (1) weddellita, (2) whewellita, (3) weddellita-whewellita, (4) weddellita-whewellita-apatita, (5) apatita-struvita, (6) struvita y (7) uricita; las asociaciones entre estos tipos son posibles con algunas restricciones. De los elementos traza (Fe, Zn, Pb, Mn, Cu, Sr), los contenidos de Fe y Zn son respectivamente de 297 y 214 ppm para weddellita, 766 y 255 para whewellita, 1,297 y 703 para apatita, 248 y 264 para struvita y 1,218 y 320 para uricita. La microtextura de los minerales y textura de los urolitos varían desde fenocristales bien desarrollados de weddellita o whewellita asociados hasta cristales finos, también de weddellita o de whewellita, o hasta criptocristalitos de apatita o de uricita, entremezclados, formando conglomerados o capas secuenciales de concentración y espesor relacionados a los ambientes en que se formaron y al tiempo que prevalecieron. La composición de los distintos cálculos y su frecuencia en el sistema weddellita-whewellita-apatita-struvita denotan la ausencia de urolitos en los sistemas weddellita-struvita y whewellita-struvita, la posible exsolución de líquidos altos en fosfato y en oxalato en el sistema weddellita-whewellita-apatita y la naturaleza primaria de la struvita o secundaria asociada a la apatita. El depósito de los cálculos es por cristalización de weddellita-whewellita y brushita de soluciones ligeramente alcalinas, precipitación de apatita y cristalización de whitlockita en medios más alcalinos, cristalización de struvita de soluciones amoniacales de bajo *pH* con calcio y magnesio adicional y cristalización y precipitación de uricita de soluciones concentradas, ligeramente ácidas, como resultado de la alteración del equilibrio de amonio, sodio y fósforo.

Palabras clave: mineralogía, cálculos renales, weddellita, whewellita, struvita, uricita, apatita.

ABSTRACT

1,214 renal calculi, which had been spontaneously expelled or surgically removed from 825 male and 389 female patients, were characterized mineralogically. The calculi are classified as per their mineralogy in those composed of: (1) weddellite, (2) whewellite, (3) weddellite - whewellite, (4) weddellite - whewellite - apatite, (5) apatite - struvite, (6) struvite and (7) uricite. Mixing among some of these types can be observed. Of the trace elements Fe, Zn, Pb, Mn, Cu, and Sr, the contents of Fe and Zn are respectively 297 and 214 ppm for weddellite, 766 and 255 for whewellite, 1,297 and 703 for apatite, 248 and 264 for struvite, and 1,218 and 320 for uricite. The morphology of the crystals varies from large well-developed phenocrystals of weddellite or whewellite to cryptocrystalline aggregates of apatite or uricite. The texture of the urolites can be crystalline, cryptocrystalline, or onion-like where the urolite grew as successive concentric layers around a nucleus of equal or different composition or even around what is now an empty space. The composition and frequency of the calculi indicate that in the system weddellite - whewellite - apatite - struvite, struvite is found as a secondary phase after apatite but it is never seen associated with weddellite or with whewellite. Calculi made of calcium oxalate in the forms of weddellite or of whewellite are apparently crystallized in an alkaline environment, as also happens with those composed of brushite. In a stronger alkaline environment, apatite could precipitate and whitlockite could crystallize. Struvite forms as a decaying product of apatite, presumably by bacterial action. Uricite seems to have precipitated from concentrated solutions of uric acid.

Key words: mineralogy, renal calculi, weddellite, whewellite, struvite, uricite, apatite.

INTRODUCCIÓN

El estudio de depósitos patológicos de minerales, donde la mineralogía es aplicada a la medicina, no es común, debido, posiblemente, a las diferencias que existen entre los conocimientos médico, bioquímico y mineralógico. Sin embargo, en urología, en el tratamiento de la urolitiasis, la investigación de la materia mineral que

se deposita en el tracto renal (cálculos) es esencial para controlar el padecimiento. Quizá porque se trata de una investigación mineralógica que requiere interpretación bioquímica y médica, los artículos publicados al respecto son escasos.

Los componentes minerales de los cálculos fueron caracterizados por Prien y Frondel (1947); en este artículo se incluyó aquéllos que existen en el reino mineral, oxalatos y fosfatos, así como los propios de la materia viviente, uratos. Las publicaciones referentes a los cálculos renales, aunque escasas, cubren su mineralogía descriptiva (Gibson, 1974), su distribución regional en

* Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510 México, D. F.

localidades específicas (Lonsdale, 1968; Sutor *et al.*, 1974; Prasangwatana *et al.*, 1983), el influjo de factores clínicos y ocupacionales (Paz y Niño *et al.*, 1978) y, recientemente, la influencia de la edad, el sexo y el origen étnico en la mineralogía de cálculos en Calgary, Quito y Honolulu (Levinson *et al.*, 1985). Finalmente, debe mencionarse que los aspectos bioquímicos y metabólicos que influyen en la formación son generalizados por Oser (1965), Bhagavan (1983) y White y colaboradores (1983).

Se estima que en México la urolitiasis afecta a poco menos del 2% de la población. A pesar de ello, no se ha publicado un estudio documentado acerca de las características de los cálculos y de la urolitiasis, ni se ha establecido correlaciones entre la mineralogía de los urolitos y su paragénesis con los trastornos que originan su formación. En el presente artículo se reporta la mineralogía, textura, elementos traza y características de cálculos renales de enfermos urolitiásicos. Para la realización de este estudio, se llevó un registro de los pacientes, en el cual se anotó los datos siguientes: sexo, edad, tipo antropológico, dieta, metabolismo, infecciones, antecedentes clínicos, ocupación y localidad geográfica de residencia durante los 10 años precedentes, estableciendo las correlaciones y tendencias entre ellos; asimismo, se interpretó la información obtenida con el objeto de definir la paragénesis de los urolitos.

PROCEDENCIA DE LOS CÁLCULOS, MÉTODOS ANALÍTICOS

Se recolectó los cálculos estudiados durante un período de cuatro años, 1980-1984, de enfermos de urolitiasis que recibieron asistencia médica en un reconocido hospital de la Ciudad de México. En total, se dispuso de 1,214 urolitos con el registro correspondiente que se señaló en el párrafo anterior.

La mineralogía de los cálculos se determinó por medio de microscopía óptica de polarización en secciones delgadas de los urolitos o en fragmentos sumergidos en líquidos de índice de refracción conocido, estimando el contenido mineral, ópticamente, por conteo. Cuando se consideró apropiado, la identificación se completó con difracción de rayos X de fragmentos pulverizados. Se analizó los contenidos de elementos traza por espectrometría de absorción atómica de soluciones de cálculos, seleccionados de acuerdo con su mineralogía. Se realizó los análisis estadísticos en la forma usual para variables únicas, calculando la frecuencia de urolitos clasificados por su mineralogía y composición relativa a las poblaciones de los sexos masculino y femenino.

RESULTADOS

Se presenta los resultados divididos en dos partes: (a) los obtenidos del estudio mineralógico de los cálculos, específicamente su composición y contenido mineral, textura, elementos traza y tamaño, y (b) los derivados de los mismos pacientes con urolitiasis y que incluyen los datos mencionados anteriormente. Se correlacionó los resultados de ambas partes con el fin de establecer la paragénesis de los urolitos y los factores que afectan su formación.

MINERALOGÍA

En el presente estudio se analiza un total de 1,214 cálculos, de los cuales 825 (67.90%) corresponden a pacientes masculinos y 389 (32.10%) a pacientes femeninos. La consideración de su componente mineral principal, en concentración superior al 50%, permite la clasificación en urolitos de weddellita, whewellita, apatita, struvita y uricita (Tabla 1).

Tabla 1.- Población y frecuencia relativa de los cálculos examinados.

TIPO DE CÁLCULO	FRECUENCIA					
	HOMBRES		MUJERES		TOTAL	
	NÚMERO	%	NÚMERO	%	NÚMERO	%
WEDDELLITA	368	44.61	124	31.88	492	40.53
WHEWELLITA	259	31.39	95	24.42	354	29.16
APATITA	76	9.21	127	32.65	203	16.72
STRUVITA	23	2.79	22	5.66	42	3.71
URICITA	98	11.88	21	5.40	119	9.80
CYSTINA	1	0.12			1	0.08
TOTAL	825	100.00	389	100.00	1214	100.00

Weddellita, $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, oxalato de calcio dihidratado y whewellita, $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, oxalato de calcio monohidratado, son los componentes minerales más abundantes de los cálculos (76% de la población masculina, 56.30% de la femenina, Tabla 1). Su distribución, agrupando en fracciones de 100, 99-90, 89-70 y 69-50% del mineral (Tablas 2, 3 y 4), indica que en urolitos de oxalato, la cristalización primaria es de weddellita, whewellita, weddellita-whewellita y weddellita-whewellita-apatita. En urolitos de whewellita hay, además, cristalización secundaria de struvita y de uricita.

Tabla 2.- Composición promedio y frecuencia relativa de cálculos de weddellita y de whewellita en hombres.

TIPO DE CÁLCULO (LÍMITES DE CONTENIDO %, %)	CONTENIDO DE MINERAL ⁺⁺ (%)					FRECUENCIA ⁺⁺⁺	
	1	2	3	4	5	NÚMERO	PORCENTAJE
WEDDELLITA						368	44.61
100	100.00					88	10.67
99-90	90.00	10.00				23	2.79
89-70	76.27	23.73				59	7.15
69-50	58.21	41.79				28	3.39
99-90	91.38	5.82	2.80			27	3.27
89-70	75.10	16.03	8.87			47	5.70
69-50	56.66	38.38	5.00			4	0.48
	56.31	28.69	15.00			37	4.48
	56.05	22.23	21.67			32	3.88
50	43.48	20.87	35.65			23	2.79
WHEWELLITA						259	31.39
100		100.00				96	11.64
99-90	10.00	90.00				8	0.97
89-70	17.06	82.94				34	4.12
69-50	35.11	64.89				45	5.45
89-70	20.33	76.33	3.33			15	1.82
69-50	30.80	55.48	13.24			23	2.79
99-90	4.22	90.55	3.13	0.63	1.49	16	1.94
89-70	16.50	77.00	5.25		1.25	14	1.70
50	23.33	45.00	26.66	5.00		3	0.36
	28.00	33.00	26.00		13.00	5	0.61

(*) Límites de contenido de weddellita o de whewellita.

(++) Contenido promedio de (1) weddellita, (2) whewellita, (3) apatita, (4) struvita, (5) ácido úrico.

(+++) Frecuencia relativa al total de 825 cálculos de hombres.

La weddellita se presenta en forma de cristallitos tetragonales piramidales, desde blanquecinos hasta amarillentos, y en urolitos monominerales pequeños (menores que 5 mm), porosos, blandos, diferentes de los de whe-

Tabla 3.- Composición promedio y frecuencia relativa de cálculos de weddellita y de whewellita en mujeres.

TIPO DE CÁLCULO (LÍMITES DE CONTENIDO ⁺ , %)	CONTENIDO DE MINERAL ⁺⁺ (%)					FRECUENCIA ⁺⁺⁺	
	1	2	3	4	5	NÚMERO	PORCENTAJE
WEDDELLITA						124	31.88
100	100.00					9	2.31
99-90	90.00	10.00				7	1.80
89-70	75.24	24.76				21	5.40
69-50	56.92	43.08				13	3.34
99-90	92.15	4.62	3.26			6	1.54
89-70	76.70	12.61	10.69			12	3.08
69-50	53.75	41.25	5.00			8	2.06
	54.89	30.04	15.09			28	7.20
50	38.37	28.93	32.70			20	5.14
WHEWELLITA						95	24.42
100		100.00				37	9.51
99-90	10.00	90.00				1	0.26
89-70	19.41	80.59				17	4.37
69-50	34.44	65.56				18	4.63
99-90	7.50	90.00	2.50			2	0.51
89-70	15.00	82.50	2.50			2	0.51
69-50	31.66	53.06	15.29			9	2.31
99-90	6.25	90.63	2.50		0.63	2	0.51
89-70	14.14	76.00	4.50		5.36	7	1.80

(⁺) Límites de contenido de weddellita o de whewellita.

(⁺⁺) Contenido promedio de (1) weddellita, (2) whewellita, (3) apatita, (4) struvita, (5) ácido úrico.

(⁺⁺⁺) Frecuencia relativa al total de 389 cálculos.

wellita que son de coloración parda a marrón, más grandes, porosos, blandos o duros, compactos, pseudoesféricos botrioidales. Tanto la weddellita como la whewellita cristalizan en forma distinta: (1) solas en urolitos monominerales; (2) en forma de cristalitos mayores, angulares, de whewellita estrechamente mezclados con cristalitos más escasos y pequeños de weddellita; (3) cristalitos mayores de weddellita y menores de whewellita y (4) capas concéntricas secuenciales de whewellita y de weddellita. En los cuatro casos se encuentra, además, urolitos con precipitación adicional de apatita criptocristalina. El núcleo del cálculo es de weddellita, whewellita, apatita, una asociación de ellos o, inclusive, un espacio vacío. La struvita, cuando se halla en cálculos de oxalato, siempre está englobada por la apatita o es secundaria a ella. La uricita envuelve, normalmente, a urolitos de whewellita, especialmente a los pseudoesféricos botrioidales, nunca a los de weddellita; en algunos casos, hay cristalización conjunta de whewellita amarilla y de ácido úrico.

El fosfato cálcico más abundante en los cálculos es la apatita, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$, asociada, ocasionalmente, a brushita, $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, y/o a whitlockita, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Los urolitos de apatita son menos frecuentes en hombres (9.21%, Tabla 1) que en mujeres (32.65%), siendo su mineralogía (Tabla 5) de apatita (2.18% en hombres y 10.28% en mujeres), apatita-weddellita-whewellita (1.57 y 7.71%) y apatita-weddellita-whewellita-struvita (4.86 y 14.65%). La uricita se presenta como secundaria en una proporción baja (1.21 y 4.37%) de cálculos de apatita.

Tabla 4.- Frecuencia relativa de cálculos de oxalato.

TIPO DE CÁLCULO	DIÁMETRO DE CONTENIDO	FRECUENCIA (%)		
		HOMBRES	MUJERES	TOTAL
WEDDELLITA	100-90	13.46	4.11	10.46
WHEWELLITA	100-90	12.61	9.77	11.70
WEDD + WHEW	89-50	10.54	8.74	9.96
WHEW + WEDD	89-50	9.57	9.00	9.39
WEDD + WHEW + APAT	89-50	20.60	19.02	20.09
WHEW + WEDD + APAT	89-50	4.61	3.33	4.20
WHEW + WEDD + APAT + STRUV + URIC	89-50	4.61	2.31	3.87

Tabla 5.- Composición promedio y frecuencia de cálculos de apatita.

TIPO DE CÁLCULO (LÍMITES DE CONTENIDO ⁺ , %)	CONTENIDO DE MINERAL ⁺⁺ (%)						FRECUENCIA ⁺⁺⁺	
	1	2	3	4	5	6	NÚMERO	PORCENTAJE
HOMBRES								
APATITA							76	9.21
100			100.00				12	1.45
99-90	5.83	3.33	90.84				6	0.73
89-70	22.22	3.33	72.23			2.22	9	1.09
69-50	22.50	25.00	52.50				4	0.48
99-90	4.60		93.00	2.40			5	0.61
89-70	15.00		74.29	10.00		0.72	7	0.85
69-50	8.89	12.91	61.16	17.01			23	2.79
89-70	5.00		74.29	16.43	4.29		5	0.61
69-50	23.75	17.50	57.50		1.25		4	0.48
		10.00	50.00		40.00		1	0.12
MUJERES								
APATITA							127	32.65
100			100.00				21	5.40
99-90	4.74	3.95	91.31				19	4.88
89-70	14.85	8.21	75.35			1.42	14	3.60
69-50	26.56	17.81	55.62				16	4.11
99-90		1.67	91.66	5.42		1.25	8	2.06
89-70	13.50	3.00	74.00	9.50			10	2.57
69-50	25.85	5.83	63.33	5.00			6	1.54
	17.14	8.93	59.64	14.29			7	1.80
	6.67	3.33	56.67	33.33			9	2.31
89-70	9.41	0.88	73.15	16.05	0.50		17	4.37

(⁺) Límites de contenido de apatita.

(⁺⁺) Contenido promedio de (1) weddellita, (2) whewellita, (3) apatita, (4) struvita, (5) ácido úrico, (6) brushita.

(⁺⁺⁺) Frecuencia relativa al total de 825 y 389 cálculos de hombres y de mujeres.

La apatita se encuentra en forma de globulitos criptocristalinos, blanquecinos, de precipitación o condensación química. Los urolitos son de coloración parda, marrón, rojiza o grisácea en su exterior y blanquecina en el interior, en ocasiones coraliformes, de dimensiones relativamente grandes. La textura es pulverulenta o en capas concéntricas. Cuando contienen oxalatos, éstos forman (1) cristalitos angulares bien desarrollados de whewellita y/o de weddellita distribuidos uniformemente en la apatita o recubriéndola, (2) conglomerados en la apatita y (3) capas concéntricas de oxalatos y de fosfato. La struvita aparece englobada por la apatita o secundaria a ella. La uricita es secundaria, depositada como envoltorio durante las etapas finales de formación del cálculo. La diferencia notable es que mientras el proceso de cristalización de la weddellita y la whewellita es lento, la microtextura de la apatita corresponde a una precipitación química rápida.

La struvita, $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, fosfato hidratado de amonio y magnesio, se presenta en urolitos que son más escasos en hombres (2.79%) que en mujeres (5.66%, Tabla 1). En este tipo de cálculos, la struvita es monomineral (0.85% en hombres y 3.34% en mujeres, Tabla 6) o está asociada a cantidades menores de apatita (1.94 y 2.31%) y de weddellita y whewellita, ocasionalmente.

Generalmente, la struvita se encuentra en forma de cristalitos subredondeados, poco birrefringentes, que con frecuencia contienen vacuolas microscópicas. Los urolitos son de coloración gris verdosa, porosos y ligeros; además, los hay bien cristalizados, secos e inodoros; en ellos, la struvita cristaliza como fase mayor primaria, a diferencia de los mencionados arriba, en los cuales es secundaria a la apatita o menor, englobada por ella. La uricita no se registró asociada a urolitos de struvita.

Uricita es el nombre mineralógico genérico del ácido úrico, $\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3$, y, también, de los uratos ácidos de sodio, $\text{NaHC}_5\text{H}_2\text{N}_4\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, y de amonio,

Tabla 6.- Composición promedio y frecuencia de cálculos de struvita.

TIPO DE CÁLCULO (LÍMITES DE CONTENIDO ⁺ , %)	CONTENIDO DE MINERAL ⁺⁺ (%)				FRECUENCIA ⁺⁺⁺	
	1	2	3	4	NÚMERO	PORCENTAJE
HOMBRES						
STRUVITA					23	2.79
100				100.00	7	0.85
89-70			25.00	75.00	8	0.97
69-50			40.00	60.00	5	0.61
50	26.66		33.63	40.00	3	0.36
MUJERES						
STRUVITA					22	5.66
100				100.00	11	2.83
99-90			10.00	90.00	2	0.51
89-70			20.00	80.00	2	0.51
69-50	12.14	7.86	25.71	64.29	7	1.80

(⁺) Límites de contenido de struvita.
 (⁺⁺) Contenido promedio de (1) weddellita, (2) whewellita, (3) apatita, (4) struvita.
 (⁺⁺⁺) Frecuencia relativa al total de 825 y 389 cálculos de hombres y de mujeres.

NH₄HC₅H₄N₄O₃.H₂O. El ácido úrico es el más frecuente en urolitos comunes de pacientes masculinos (11.88%, Tabla 1) y más limitado en los de pacientes femeninos (5.40%). Su mineralogía es de ácido úrico (7.40 y 2.83%) o de uricita-whewellita-weddellita-apatita (4.48 y 2.57%); la whewellita es más abundante que la weddellita y que la apatita, que es escasa. Los uratos ácidos de sodio y amonio están en proporción baja (Tabla 7).

Tabla 7.- Composición promedio y frecuencia de cálculos de uricita.

TIPO DE CÁLCULO (LÍMITES DE CONTENIDO ⁺ , %)	CONTENIDO DE MINERAL ⁺⁺ (%)								FRECUENCIA ⁺⁺⁺	
	1	2	3	4	5	7	8	NÚMERO	PORCENTAJE	
HOMBRES										
URICITA								98	11.88	
100					100.00			54	6.55	
99-90	1.43	6.46	0.32		91.79			7	0.85	
89-70	4.40	11.80	0.38		77.00	1.20	5.20	25	3.03	
69-50	9.09	31.82	1.36		55.91		1.82	12	1.45	
MUJERES										
URICITA								21	5.40	
100					100.00			8	2.06	
99-90		7.25	0.25		92.50			3	0.77	
89-70	13.57	9.29	0.71		76.43			7	1.80	
69-50	5.00	20.00		5.00	70.00			1	0.26	
	30.00	10.00			60.00			2	0.51	

(⁺) Límites de contenido de ácido úrico.
 (⁺⁺) Contenido promedio de (1) weddellita, (2) whewellita, (3) apatita, (4) struvita, (5) ácido úrico, (7) urato ácido de amonio, (8) urato ácido de sodio.
 (⁺⁺⁺) Frecuencia relativa al total de 825 y 389 cálculos de hombres y de mujeres.

El ácido úrico y los uratos se presentan en cristales diminutos y globulitos de color amarillo intenso, birrefringencia alta y microtextura propia de cristalización y precipitación química. Los cálculos son de color amarillo marrón, tamaño variable, duros y compactos. Cuando hay oxalatos, la uricita cristaliza con whewellita o, el caso más frecuente, envolviendo a un urolito primario, previo, de whewellita.

Se deduce que los cálculos de uricita se forman en un medio diferente al de los otros urolitos. La struvita cristaliza como fase primaria, englobada por la apatita o secundaria a ésta. La weddellita y la whewellita cristalizan como minerales primarios, es decir, solos y asociados a apatita de precipitación química. Por lo anterior, la composición y frecuencia de los cálculos se representa en el sistema weddellita-whewellita-apatita (Figura 1) o en el sistema weddellita-whewellita-apatita-struvita (Fi-

gura 2). En el primer caso, los componentes puros contienen (1) weddellita, 24.39% Ca⁺⁺, 53.06% C₂O₄⁼, 21.95% H₂O, (2) whewellita, 27.40% Ca⁺⁺, 60.27% C₂O₄⁼, 12.33% H₂O y (3) apatita, 39.89% Ca⁺⁺, 56.72% PO₄⁼, 3.38% HO⁻, de manera que en el sistema varía el contenido de calcio, el carácter del anión ácido y el pH, que se incrementa de weddellita a whewellita y hacia apatita. En el sistema weddellita-whewellita, los urolitos de weddellita contienen desde 56 hasta 100% del mineral, los de whewellita varían desde 64 hasta 100% y queda un espacio entre 36 y 56% de weddellita, en el cual no se registró urolitos. En el sistema weddellita-apatita, la cristalización está limitada a las áreas inmediatas a los minerales puros, dejando una zona amplia, desde 30 hasta 90% de weddellita o desde 70 hasta 10% de apatita, en la cual no se observó urolitos; esta cristalización es comparable a la que se presenta en el sistema whewellita-apatita. En el sistema weddellita-whewellita-apatita, la tendencia de cristalización es hacia el interior del triángulo. Debe destacarse el hecho de que la población registrada de cálculos con brushita (1.94% en hombres, 5.66% en mujeres) es baja, con un contenido mínimo del mineral (desde 0.72 hasta 2.22%) y que los cálculos con whitlockita son inexistentes. Esto permite suponer que la brushita (CaHPO₄.2H₂O, 23.29% Ca⁺⁺) corresponda a una fase metaestable en ambientes de mínimo pH, entre los que se encuentra la cristalización de weddellita o whewellita y la precipitación de apatita. En el sistema weddellita-whewellita-apatita-struvita (Figura 2), la localización de los cálculos analizados apunta el carácter primario de la struvita o secundario de la apatita y la ausencia de urolitos de weddellita-struvita o de whewellita-struvita.

El contenido de elementos traza en los cálculos se señala en la Tabla 8. Los de weddellita son bajos en Fe

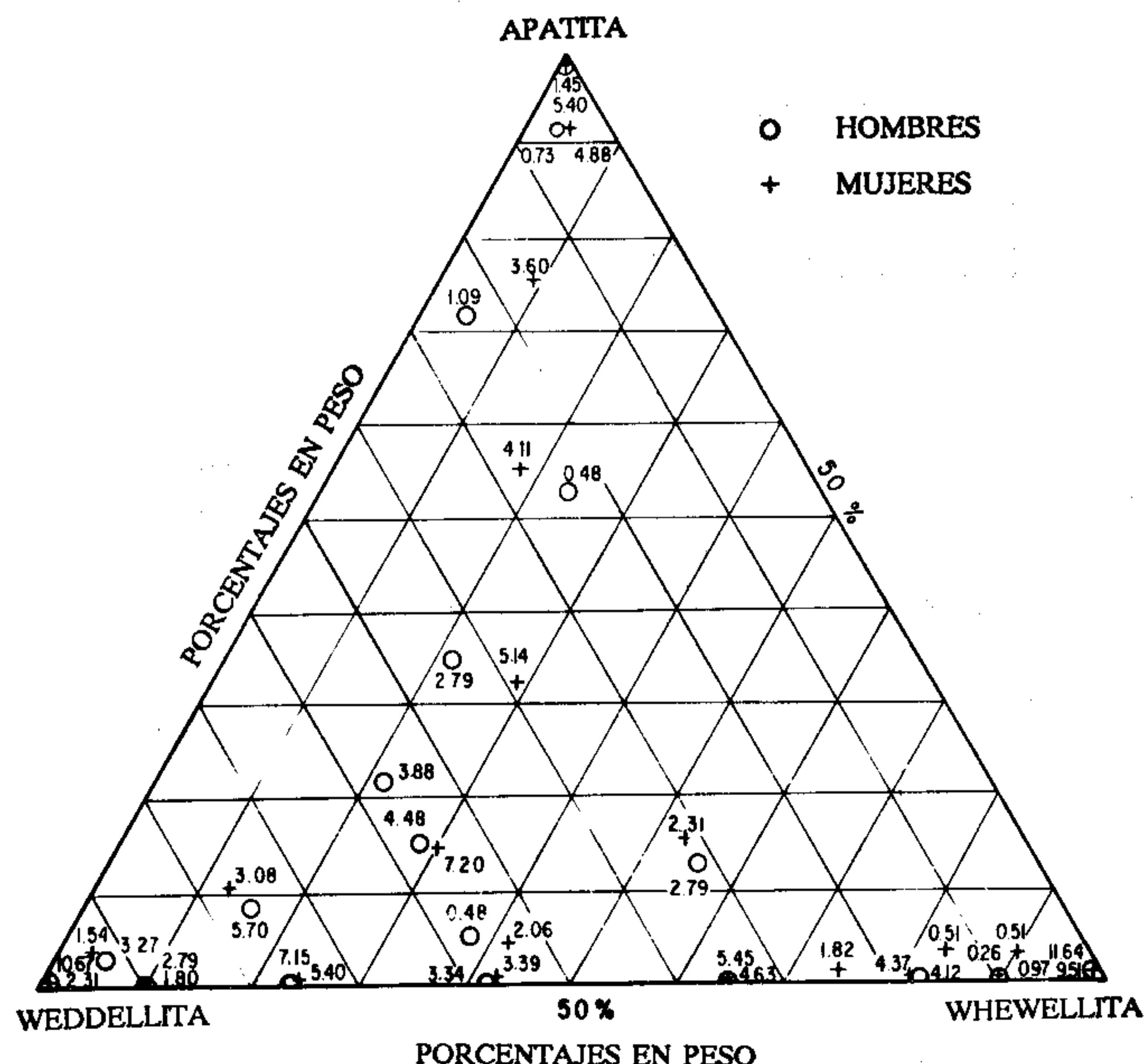


Figura 1.- Composición promedio de cálculos en el sistema weddellita-whewellita-apatita. Los números corresponden a la frecuencia relativa de los urolitos en hombres y en mujeres.

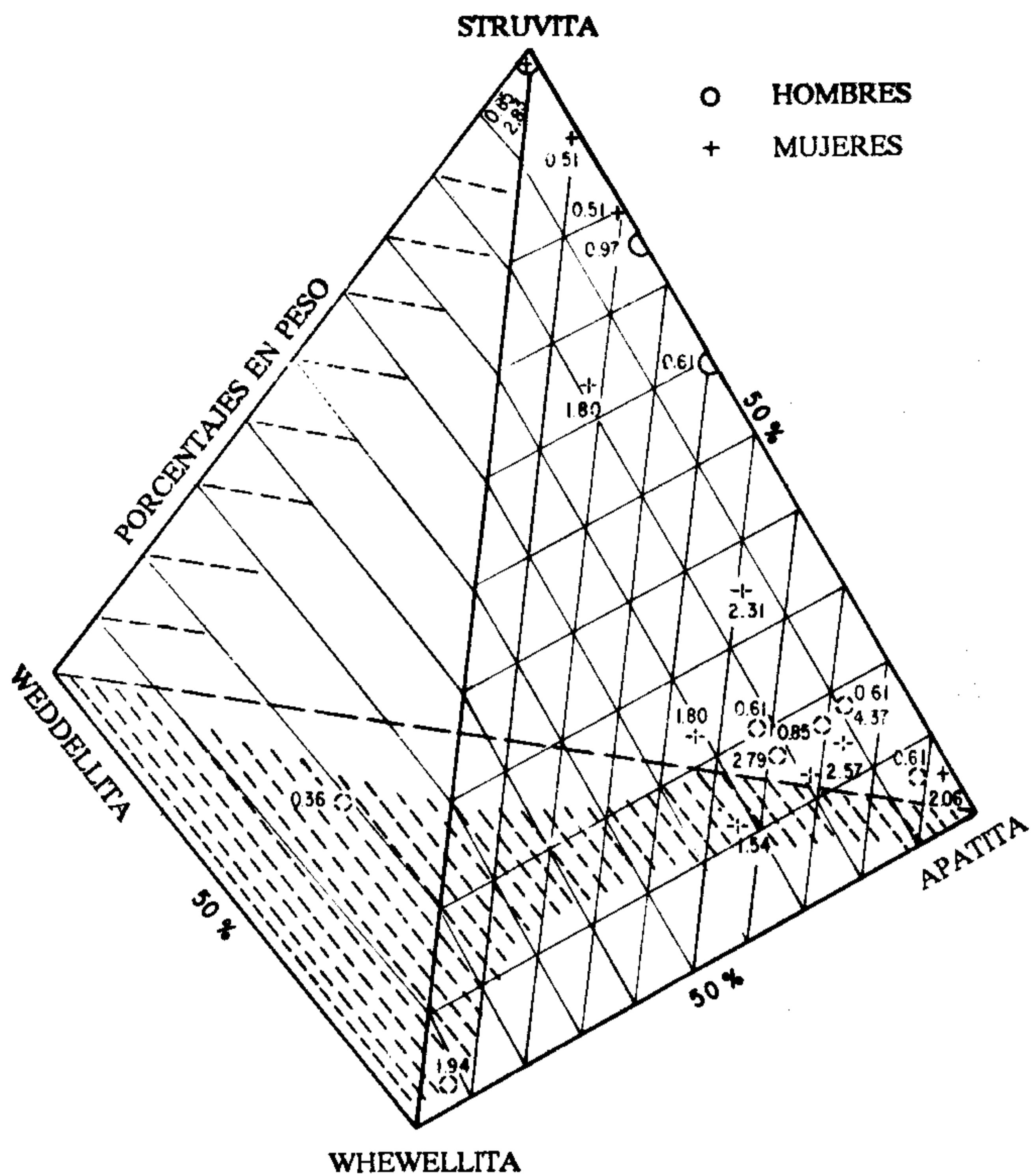


Figura 2.- Composición promedio de cálculos en el sistema weddellita-whewellita-apatita-struvita. Los números corresponden a la frecuencia relativa de los urolitos en hombres y en mujeres. Las marcas punteadas representan composiciones en el tetraedro; el área rayada es en el sistema weddellita-whewellita-apatita (véase Figura 1).

(297 ppm) y Zn (214 ppm), esto indica una tendencia de cristalización en medios más ácidos o de menor contenido mineral que los de whewellita (766 ppm Fe, 255 ppm Zn) o los de apatita (1,297 ppm Fe, 703 ppm Zn), los cuales corresponden a ambientes más alcalinos. Se atribuye los valores altos en los cálculos de uricita (1,218 ppm Fe, 320 ppm Zn) a su carácter de precipitado o concentrado químico – esto también es posible en los de apatita– o a la naturaleza del medio en que se formaron. En los de struvita (248 ppm Fe, 264 ppm Zn) se piensa que básicamente interviene la composición de la solución en que cristalizan.

El tamaño de los urolitos y su frecuencia se muestra en los diagramas de la Figura 3. Los de weddellita-whewellita tienen un tamaño promedio de 9.4 mm en pacientes masculinos y de 10.8 mm en los pacientes femeninos, las frecuencias correspondientes a cálculos menores que 7 mm son de 49.88 y 41.71%, tamaño que es el límite normalmente aceptado; cuando el cálculo es ma-

Tabla 8.- Contenido de elementos traza en los cálculos.

TIPO DE CÁLCULO	CONTENIDO DE ELEMENTOS (ppm)					
	Fe	Zn	Pb	Mn	Cu	Sr
WEDDELLITA	297	214	2	17	6	24
WHEWELLITA	766	255	0	66	4	33
WEDDELLITA-WHEWELLITA	242	149	5	20	4	29
APATITA	1297	703	0	60	7	19
STRUVITA	248	264	2	23	7	7
URICITA	1218	320	0	122	104	0

yor se extirpa quirúrgicamente, cuando es menor se expulsa; la distribución es asimétrica hacia las secciones menores. En apatitas de enfermos masculinos, el tamaño promedio es de 11.8 mm y el 38.46% es menor que 7 mm, mientras que en las mujeres el 21.75% mide 15.7 mm. En struvitas el tamaño aumenta apreciablemente a 23.9 y 21.2 mm y sólo 12.12 y 15.00% es de sección inferior a 7 mm. En pacientes varones, los cálculos de uricita tienen una dimensión de 12.1 mm en el 39.39% de los casos estudiados; en cambio, en las mujeres este tipo de población es pequeño. La tendencia que se manifiesta es de incremento de la sección de los cálculos, de wedde-

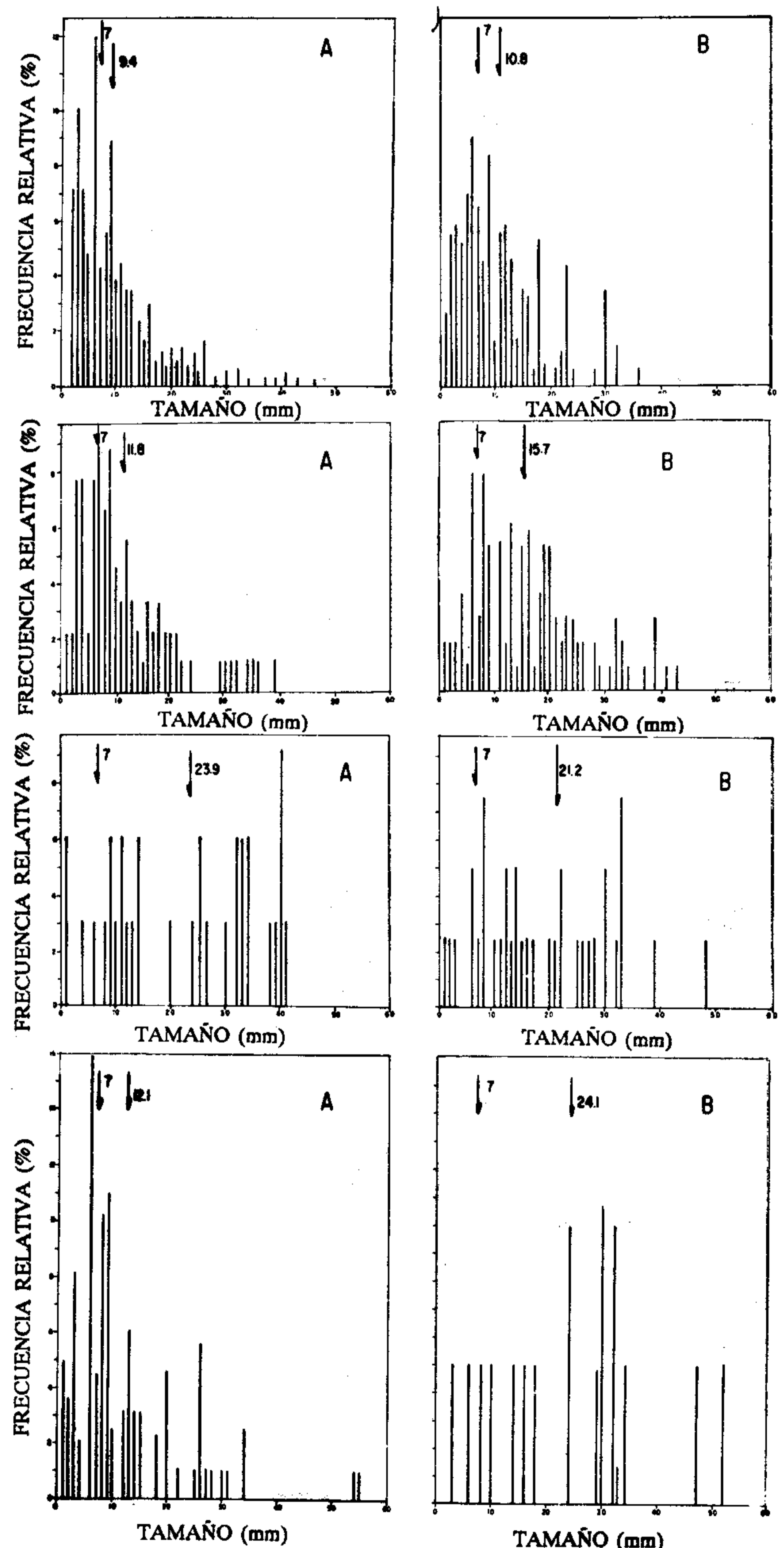


Figura 3.- Frecuencia de tamaño de urolitos de 1) weddellita, 2) whewellita, 3) apatita y 4) uricita. A corresponde a pacientes masculinos y B a femeninos. Las flechas superiores indican el tamaño promedio y la marca de 7 mm representa el tamaño normalmente aceptado; cuando es mayor se requiere extirpación quirúrgica.

lita-whewellita hacia apatita y struvita, y disminución de los porcentajes inferiores a 7 mm.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

Los resultados que se presenta indican que los cálculos formados en el tracto renal contienen minerales que, aunque escasos, se presentan en el reino mineral y otros componentes que son más propios del reino animal. Se estudió una población de 1,214 urolitos, de los cuales el 69.67% está compuesto de oxalatos, en la proporción siguiente: weddellita 10.46%, whewellita 11.70%, weddellita-whewellita 19.35%, weddellita-whewellita-apatita 24.29% y un escaso 3.87% de cálculos de whewellita presenta cristalización secundaria, menor que uricita y que struvita. Tanto weddellita como whewellita cristalizan en soluciones ligeramente alcalinas, con un contenido promedio de 297 ppm de Fe y 294 ppm de Zn y de 766 ppm de Fe y 255 ppm de Zn, respectivamente. Las condiciones variables de alcalinidad y su duración son registradas en la mineralogía y en la textura de los urolitos, la cual varía desde fenocristales de whewellita y cristalitas asociados de weddellita o viceversa, en proporciones variables, hasta formaciones secuenciales de composición y espesor variables de ambos minerales.

Los cálculos de apatita representan el 16.72% de la población total o el 9.21% de la masculina y el 32.65% de la femenina. Su mineralogía varía de apatita, a apatita-weddellita-whewellita-brushita, a apatita-weddellita-whewellita-struvita-brushita, con depósitos ocasionales de uricita secundaria. La apatita se caracteriza por su microtextura de precipitado químico, de soluciones cálcicas de *pH* alto, con un promedio de 1,297 ppm de Fe y 703 ppm de Zn; la brushita es de asociación ocasional, en concentraciones normales inferiores al 3%, y representa el límite inferior de alcalinidad de las soluciones precipitantes; la whitlockita es más rara en estos urolitos y se considera metaestable, cristalizada en condiciones de extrema alcalinidad. Variaciones de composición y de *pH* están representadas en el urolito por la mineralogía de weddellita-brushita a la de apatita-whitlockita, en composiciones, texturas y microtexturas correspondientes.

La struvita es común en el 2.79% de los urolitos de pacientes masculinos y el 5.66% de los femeninos. La mineralogía de struvita, struvita-apatita o de struvita-

apatita-weddellita-whewellita, con cristalización primaria de la struvita o secundaria a la apatita, sin asociación de uricita, con contenidos bajos de Fe (248 ppm) y Zn (264 ppm) corresponde a una cristalización de soluciones fosfático amoniacales desde *pH* bajo hasta medianamente alcalino. La asociación con fosfatos y oxalatos cálcicos se une a condiciones variables de alcalinidad y de enriquecimiento en iones oxalato, fosfato, calcio, magnesio y amonio de las soluciones cristalizantes.

Los urolitos de uricita corresponden al 11.88% de la población masculina y al 5.40% de la femenina. Se forman por cristalización y precipitación química de soluciones concentradas de ácido úrico o de ácido úrico-weddellita-whewellita-apatita, con asociación limitada de uratos ácidos de sodio o de amonio. El contenido promedio de Fe es de 1,218 ppm y el de Zn de 320. Su depósito requiere medios desde ligeramente ácidos hasta neutros, con desplazamiento del equilibrio químico que impide la permanencia en solución de ácido úrico; la asociación limitada de uratos se interpreta como variación de las concentraciones de álcalis, amonio y fosfato que pudieran causar la precipitación de la uricita.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bhagavan, N. V., 1983, Bioquímica: México, D. F., Interamericana, 1141 p.
- Gibson, R. I., 1974, Descriptive human pathological mineralogy: Am. Mineralogist, v. 59, p. 1177-1182.
- Levinson, A. A., Paz y Niño, Manuel, Stams, U. K., y Hariharan, A., 1985, The mineralogy of human urinary stones from Calgary, Quito, and Honolulu: Am. Mineralogist, v. 70, p. 630-635.
- Lonsdale, Kathy, 1968, Human stones: Science, v. 159, p. 1199-1207.
- Oser, B. L., 1965, Hawk's Physiological Chemistry: Nueva York, McGraw-Hill, 1472 p.
- Paz y Niño, Manuel, Brito, E., Vargas, W., Posligua, E., y Molineros, F., 1978, Litiasis urinaria en nuestro medio; experiencia clínica con 100 casos, año 1976: Quito, Inst. Ecuatoriano de Seguridad Social, Revista Médica, v. 3, p. 19-23.
- Prasongwatana, V., Sriboonlue, P., y Sutarapa, S., 1983, Urinary stone composition in north-east Thailand: British Jour. Urology, v. 55, p. 353-355.
- Prien, E. L., y Frondel, Clifford, 1947, Studies in urolithiasis, I; the composition of urinary calculi: Jour. Urology, v. 57, p. 949-991.
- Sutor, D. J., Wooley, S. E., e Illingworth, J. J., 1974, A geographical and historical survey of the composition of urinary stones: British Jour. Urology, v. 46, p. 393-407.
- White, A., Handler, P., Smith, E. L., Hill, R. L., y Lehman, J. R., 1983, Principios de Bioquímica: México, D. F., McGraw-Hill, 1582 p.

Manuscrito presentado: 26 de noviembre de 1987.

Manuscrito corregido devuelto por el autor: 26 de septiembre de 1988.

Manuscrito aceptado: 4 de octubre de 1988.