

EFFECTO SOBRE LA ESTRUCTURA Y COMPOSICION OSEA DEL CONEJO, CON DIFERENTES NIVELES DE FLUOR EN LA DIETA ^a

Marcela Dolores Aguado Sánchez ^b
Jaime I. Romero-Paredes Rubio ^c
José A. Cuarón Ibarquengoytia ^d

RESUMEN

El trabajo se realizó con objeto de determinar el efecto de diferentes niveles de flúor en la dieta del conejo, particularmente sobre la estructura y composición ósea, así como la disponibilidad de flúor en roca fosfórica comercial, considerando como estándar al fluoruro de sodio. Se utilizaron 80 conejos de raza chinchilla de 35 días de edad, recién destetados, los cuales se sometieron a 10 dietas o tratamientos experimentales. Cuatro con niveles de flúor a partir de roca fosfórica como fuente de calcio, fósforo y flúor; una dieta control sin flúor y cinco tratamientos con niveles variables del elemento, teniendo como fuente al fluoruro de sodio; las fuentes de calcio y fósforo en estas dietas fueron carbonato de calcio y fosfato de potasio. Los resultados en los parámetros productivos: ganancia diaria de peso, consumo de alimento y eficiencia alimenticia no tuvieron diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.05$). Al final del experimento los animales se sacrificaron, evaluando la concentración de flúor en tibia y el grado de afección ósea por fluorosis. Se obtuvo una respuesta lineal: a mayor concentración de flúor en la dieta, mayor concentración y grado de afección en tibia ($p < 0.001$). Dada la respuesta lineal, no se llegó a un punto de saturación de F en hueso para determinar el nivel tóxico de flúor para la especie cunicola. En cuanto a la disponibilidad de flúor en roca fosfórica esta fue de 90 %.

PALABRAS CLAVE: Conejos, Flúor, Toxicidad, Roca Fosfórica, Fluoruro de sodio.

Tec. Pecu. Mex. Vol. 34 No. 1 (1996).

La escasez mundial de fuentes de fósforo, su alto costo y baja disponibilidad por la presencia de fitatos en ingredientes vegetales, conduce a recurrir a fuentes inorgánicas del mineral, para cubrir las necesidades del nutrimento en dietas para las diversas especies animales. Dentro de las fuentes inorgánicas más comunes se encuentra la roca fosfórica (RF), con una disponibilidad de fósforo de hasta un 92 % (1,2,3).

La RF por ser un mineral natural, se encuentra frecuentemente asociada con sales de otros elementos que han sustituido al calcio o al fósforo, formando carbonatos,

sulfatos o fluoruros (3). El flúor (F) es uno de los elementos tóxicos más frecuentes, el cual en cantidades superiores al 0.3 % en la ración de los animales domésticos es peligroso (3). La RF puede llegar a contener desde 0.14% (3) hasta 3 o 4% de F (4).

El F considerado dentro de los minerales traza, es un elemento esencial para el organismo, en el humano es importante en la prevención de caries y puede ayudar a retrasar la aparición de osteoporosis en adultos (4,5). En la alimentación animal es importante por su toxicidad, ya que la utilización de rocas fosfóricas no procesadas o defluorinadas es peligrosa por su elevado contenido en F. Para que una fuente de fósforo se considere defluorinada no debe contener más de una parte de flúor por cada 100 partes de fósforo (6).

La absorción de F a través del tubo digestivo depende de su solubilidad y ésta disminuye cuando se combina con otros elementos como el calcio, magnesio y aluminio (7). La toxicidad del F está relacionada con la solubilidad de las diversas fuentes

^a Recibido para su publicación el 15 de agosto de 1994. El trabajo fue la tesis de licenciatura del primer autor en la carrera de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM. Parcialmente financiado por el Patronato de Apoyo a la Investigación y Experimentación Pecuaria en México A.C.

^b U.N.A.M. Paseo de los zorros 250, Frac. Lomas de Lourdes, Saltillo, Coahuila. C.P. 25280

^c Campo Experimental La Laguna, INIFAP. Apdo Postal 247, Torreón, Coahuila. C.P. 27000.

^d CENID-Fisiología y Mejoramiento Animal. INIFAP. Apdo postal 29-A, Querétaro, Qro. CP 76020.

Para correspondencia y solicitud de separatas dirigirse al segundo autor.

inorgánicas (8)

El F tiene una elevada afinidad con los minerales del hueso, aproximadamente el 50% de la cantidad absorbida es depositada en el esqueleto, el exceso se desecha a través de orina y una pequeña parte se elimina por el sudor y la re-excreción a nivel intestinal (5,9). Aproximadamente el 99 % de F en el cuerpo se encuentra en el esqueleto, éste funciona como el principal factor en la regulación metabólica del elemento; posiblemente el depósito de fluoruro en los huesos representa un mecanismo de detoxificación del organismo (10).

La intoxicación por F puede ser aguda o crónica. La intoxicación crónica es más común, resulta de la ingestión continua por períodos prolongados de cantidades pequeñas de F (5). A este tipo de intoxicación se le denomina fluorosis (11).

Las especies domésticas varían en cuanto a su susceptibilidad a la fluorosis, las aves toleran hasta 530 ppm de F en el alimento; la tolerancia puede ser mayor dependiendo del tiempo de exposición (12,13). En el caso del conejo *Oryctolagus cuniculus*, se ha informado que con 500 ppm se presentan lesiones atribuibles a toxicidad (1,13,14).

Los huesos de animales jóvenes en crecimiento pueden incorporar cantidades similares de F en todo el hueso, mientras que en los adultos sólo cantidades más pequeñas en las diáfisis de los huesos (15,16).

El F tiende a depositarse en el periostio, dando lugar a la presentación de exostosis o hiperostosis periostial (4); así, los extremos de los huesos largos y articulaciones costocondrales aparecen abultados, estas lesiones sugieren un efecto por exceso de F en la osteogénesis y condrogénesis en las células funcionales del hueso. La hiperostosis periostial puede afectar todos los huesos, principalmente en los puntos de inserciones tendinosas o de las fascias, siendo más grave en los miembros, el

cinturón pélvico, costillas, mandíbula y vértebras lumbares (15).

Debido a que no se tiene conocimiento sobre los niveles tóxicos de F en conejos, así como información sobre la disponibilidad de F en roca fosfórica, se diseñó el presente trabajo, con la finalidad de evaluar el efecto de diferentes niveles de F sobre la estructura y composición ósea, a partir de RF y fluoruro de sodio (NaF) para la especie cunicola y evaluar la disponibilidad de F en una roca fosfórica comercial, al compararse con el fluoruro de sodio.

El trabajo se llevó a cabo en el Centro Nacional de Cunicultura en Irapuato, Gto., ubicado en el Km 4 de la carretera Panamericana Irapuato-Salamanca.

Se utilizaron 80 conejos de la raza Chinchilla, recién destetados, de 35 días de edad, los cuales fueron sometidos a 10 tratamientos; el tratamiento testigo (dieta 5), estuvo formado por la dieta basal, en la que las fuentes de calcio y fósforo fueron carbonato de calcio y fosfato de potasio (Cuadro 2), con una cantidad de F calculada de 6 ppm.

Los tratamientos 1 al 4 estuvieron elaboradas como la dieta basal, teniendo como fuente de F a la RF; la RF tenía 17,550 ppm de F, de manera que se proporcionó 526, 394, 263 y 131 ppm de F para las dietas 1,2,3 y 4 respectivamente. Los otros cinco tratamientos (dieta 6 a la 10) elaborados también como la dieta basal, tuvieron como fuente de F al NaF, proporcionando 146, 292, 438, 548 y 730 ppm de F para las dietas 6 a la 10 respectivamente (Cuadro 2a y 2b).

El alimento una vez elaborado fue sometido a un análisis químico proximal (Cuadro 1), se determinó además el porcentaje de F en el mismo, por el método de ión selectivo de acuerdo a la metodología descrita por el AOAC (17). Los datos de energía digestible se obtuvieron a partir de las tablas del N.R.C. (18)

Los criterios de respuesta que se evaluaron fueron: Ganancia diaria de peso (g.d.p.);

Consumo diario de alimento (c.d.a.); eficiencia alimenticia (g.d.p./c.d.a.); Concentración de F en la tibia y apreciación subjetiva del grado de lesión o afección en las tibias, de acuerdo a la siguiente escala: grado 0 = hueso normal; grado 1 = ligero engrosamiento; grado 2 = engrosamiento más manifiesto; grado 3 = engrosamiento y deformación del hueso; grado 4 = engrosamiento, deformación y exostosis. La duración de la prueba fue de 36 días. La ganancia de peso y consumo de alimento se midieron semanalmente. La mortalidad se registró durante el transcurso del experimento, midiendo su consumo y peso hasta la muerte de los animales. Al final del experimento, se determinó la concentración de F en la tibia izquierda de acuerdo al método del AOAC, por medio de la misma técnica que el alimento (17), previo secado y desengrasado de las tibias, utilizando para ello alcohol en el aparato Soxhlet durante 6 h y 4 h en el aparato Goldfish con éter etílico (19). Los animales que murieron en el transcurso del experimento, se les colectaron las tibias para ser analizadas y determinar su concentración de F.

El experimento se realizó bajo un diseño de bloques al azar, el factor bloque fue el peso inicial con 10 tratamientos, 4 repeticiones (jaulas) y 2 animales por repetición.

Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza y covarianza (20). Se consideró para el análisis estadístico de la variable: concentración de F en tibia, la covariable días de exposición a las dietas, como una forma de ajuste para el análisis de la concentración de F óseo.

Las dietas con NaF, dada su muy alta solubilidad y por lo tanto fácil absorción, se usaron para construir una línea patrón, para que con las dietas que contenían F a partir de RF, se realizara un análisis de relación de pendientes (de las ecuaciones lineales), en donde la pendiente de la línea patrón en respuesta a la adición de F a partir de NaF, se utilizó para estimar la disponibilidad de F

en la RF (la pendiente de la regresión de los tratamientos con F a partir de RF/pendiente de la línea patrón).

El modelo estadístico empleado para el análisis de los datos fue el siguiente:

$$Y = \mu + T_i + \beta_j(X - X) + \beta_{ij}(X - X)^2 + E$$

En donde:

Y = criterio de respuesta,

μ = media poblacional,

T_i = efecto del i-ésimo tratamiento,

β_j = coeficiente de regresión,

X = covariable: días de vida,

E = error aleatorio NID (0, σ^2).

Los resultados indicaron que en el análisis químico proximal del alimento se encontraron diferencias con el análisis calculado (Cuadros 2 y 3).

La mortalidad durante el periodo experimental fue elevada (62.5%), no teniendo ninguna relación con las dietas proporcionadas y por lo tanto con la concentración de F en ellas; el cuadro clínico se manifestó con problemas respiratorios y digestivos, los cuales se presentaron de manera indistinta en la caseta donde se llevó a cabo el experimento y en otras casetas del mismo centro. Los tratamientos perdieron repeticiones, siendo de dos repeticiones para los tratamientos 2, 4, 7 y 9; para los demás, se tuvieron tres repeticiones. Esto sin duda afectó la respuesta productiva, pero no imposibilitó el análisis de la concentración de F óseo, ya que en el análisis estadístico se contempló utilizar como covariable días de exposición a las dietas, de tal manera que la concentración de F en hueso se llevó a cabo en todos los conejos con los que se inicio el experimento.

Al final del experimento, no se encontró diferencia significativa ($p > 0.05$) entre tratamientos, para la ganancia diaria de peso, consumo diario de alimento y eficiencia alimenticia.

La concentración de F en tibia (Cuadro 4, Gráfica 1), guardó una estrecha relación con la cantidad de F en el alimento, obteniendo una respuesta lineal ($p < 0.001$) es decir, a

CUADRO 1. COMPOSICION DE INGREDIENTES.

Ingredientes	M.S. %	P:C. %	E:D. Mcal/kg	F.C. %	Ca %	P %	F ppm
Alfalfa	92.5	17.1	2.2	25.0	1.33	0.23	8.7
Sorgo	87.7	9.0	3.33	2.0	0.12	0.29	5.0
H. de soya	90.1	45.0	3.77	4.6	0.28	0.62	5.3
Salvado de Trigo	89.6	15.5	2.61	10.5	0.11	1.26	5.0
Melaza	—	3.0	2.6	—	0.80	0.08	—
CaCO ₃	99.9	—	—	—	39.31	—	42.0
Roca fosfórica	—	—	—	—	28.2	9.6	17550.0
KH ₂ PO ₃	—	—	—	—	—	17.85	—
Fluoruro de Sodio	—	—	—	—	—	—	292300.0
Sal común	99.5	—	—	—	—	—	10.0

CUADRO No.2a COMPOSICION DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES (%).

Ingredientes	TRATAMIENTOS				
	1	Serie Roca Fosfórica			Testigo
		2	3	4	5
Alfalfa	38.00	38.00	38.00	38.00	38.00
Sorgo	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00
Soya	9.50	9.50	9.50	9.50	9.50
Salvado	19.30	19.30	19.30	19.30	19.30
Melaza	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Roca fosfórica	3.00	2.25	1.50	0.75	—
CaCO ₃	—	0.542	1.084	1.627	2.17
KH ₂ PO ₃	—	0.32	0.63	0.95	1.26
Sal común	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Otros ^a	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
ANALISIS CALCULADO:					
Prot. cruda %	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0
ED Mcal/kg	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
Calcio %	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
Fósforo %	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Fluor ppm	526.0	394.0	263.0	131.0	6.0

^a Incluye:

Vitaminas: Vit. A, 3'300,000 UI; Vit. D, 330,000 UI; Vit. E, 50,000 UI; Riboflavina, 1.1 g; Niacina, 27.0 g; Cianocobalamina, 0.019 g; Pantotenato de Ca, 6.57 g; Colina, 175.0 g; BHT, 150.0 g; cbp 100.0 g (0.20%).

Minerales: Selenio, 0.025 g; Cobalto, 0.215 g; Yodo, 0.10 g; Cobre, 2.2 g; Hierro, 25.5 g; Zinc, 28.5 g; Manganeso, 5.71 g; Potasio, 0.033 g; Cloruro de sodio 715.0 g; cbp 1000.0 g (0.35%).

Monensina Sódica (Rumensin): 0.10%

medida que se aumenta la cantidad de F en la dieta, aumenta la concentración de F en la tibia, independientemente de la fuente empleada (Gráfica 1). Para la dieta con roca fosfórica como fuente de F, el coeficiente de correlación (r) fue de 0.90; para las dietas con fluoruro de sodio, el coeficiente de correlación (r) fue de 0.99 ($p < 0.002$). Esta misma relación para la concentración de F en tibia se encontró, como era de esperarse, con la cantidad de F consumido: para roca fosfórica $r = 0.89$ y para fluoruro de sodio $r = 0.93$ (Gráfica 2).

Los resultados obtenidos en la concentración de F en tibia, indican que la covariable utilizada (días de exposición a las dietas) fue significativa ($p < 0.001$), lo que subraya que el tiempo que los animales estuvieron expuestos a las dietas, influyó en la cantidad de F encontrado en la tibia de los mismos. La concentración de F en tibia resultó en diferencias ($p < 0.001$) entre tratamientos (Cuadro 4). En los tratamientos 9 y 10 la concentración de F en tibia fue la más elevada, las medias ajustadas por análisis de covarianza fueron: 7,518 y 8,726 ppm respectivamente, siguiéndoles las dietas 1 (con 5,654 ppm) y 8 (con 5,317 ppm); los animales del grupo testigo tuvieron las menores cantidades de F en tibia, la media ajustada fue: -68.53 ppm. El resto de los animales que fueron alimentados con las dietas 2, 3, 4, 6 y 7 tuvieron valores intermedios de F en la tibia de 2,066 a 4,069 ppm.

Con referencia al grado de afección (Cuadro 4), la dieta testigo tuvo una media ajustada de 0.0505 (Fig. 1), siendo semejante estadísticamente a la de los tratamientos 2, 6 y diferente a todos los demás. Las tibias de los tratamientos 1, 7, y 8 (Fig. 2, 3 y 4 respectivamente), tuvieron un grado de afección semejante; así como las tibias con las dietas 9 y 10 (Fig. 5 y 6 respectivamente), ($p > 0.05$), correspondiendo de esta manera, a las mayores concentraciones de F encontradas en los huesos.

La disponibilidad del elemento F en la roca fosfórica, se calculó por el método de relación de pendientes (21), a partir de la pendiente de la línea obtenida con los tratamientos de fluoruro de sodio; presumiendo la disponibilidad en ésta de un 100 %, se obtuvo para el F en roca fosfórica un 87.27 % al tomar en cuenta el F consumido (Cuadro 4); si se considera el F en la dieta (Cuadro 3 y 4), se obtendría un 90 % de disponibilidad de F a partir de roca fosfórica. El comportamiento de la curva fue lineal. Para estos cálculos se utilizaron las siguientes pendientes:

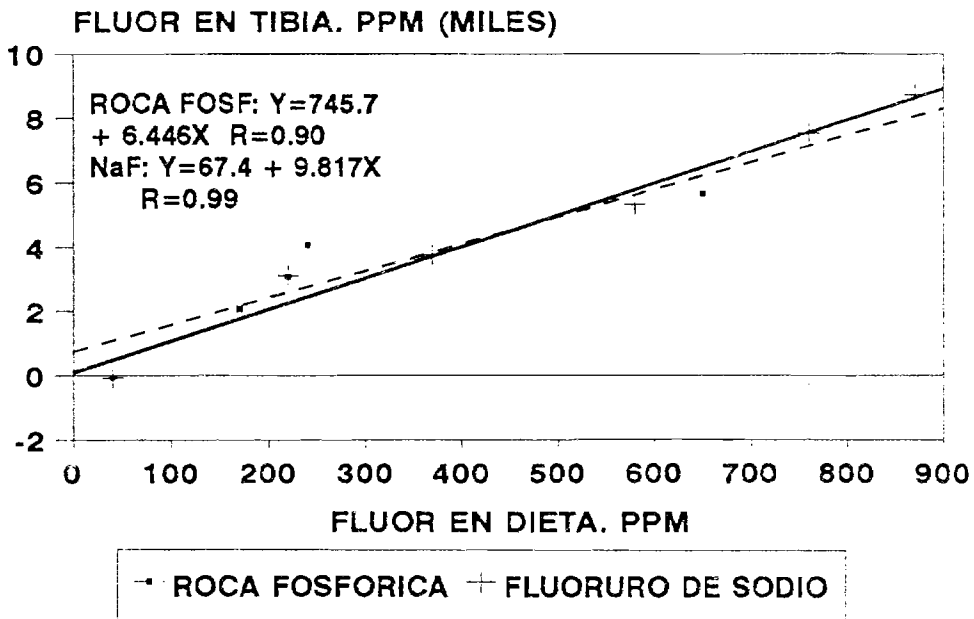
Roca fosfórica $8.445 / \text{NaF } 9.8175 \times 100 = 86.02\%$ (Gráfica 1).

Roca fosfórica $7.34 / \text{NaF } 8.41 \times 100 = 87.27\%$ (Gráfica 2).

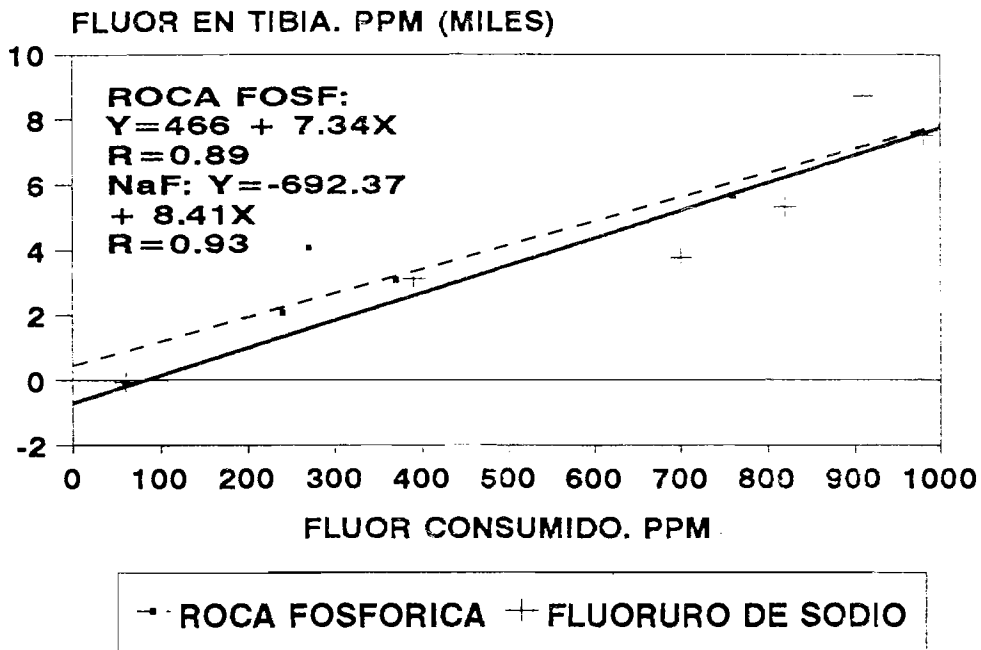
El resultado del análisis químico proximal del alimento difirió con el análisis calculado (Cuadros 2 y 3), posiblemente por el muestreo del alimento el cual pudo no haber sido lo suficientemente homogéneo, o bien, por el proceso del peletizado.

En cuanto a los parámetros productivos, los resultados no revelaron diferencias significativas. En relación a la ganancia de peso obtenido en el presente trabajo, los resultados son similares a los informados por Aulerich con minks (*Mustela vison*), en donde no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) por efecto de las diversas cantidades de F en el alimento (1); cabe aceptar que en el presente trabajo, el resultado pudo estar confundido por el estado sanitario de la explotación, o bien por el número final de animales (30) con los que se contó para el análisis de estas variables. Existen trabajos en otras especies, en donde se han obtenido datos que revelan una disminución en el consumo, por efecto de las cantidades de F en el alimento (14,22,23,24,25). Sin embargo, aún cuando en estados avanzados de fluorosis hay inapetencia provocando una disminución del peso, esto no constituye un criterio de diagnóstico. El mejor criterio es el análisis

GRAFICA 1. LINEA DE REGRESION ENTRE LA CANTIDAD DE F EN LA DIETA Y LA CONCENTRACION DE F EN TIBIA



GRAFICA 2. LINEA DE REGRESION ENTRE LA CANTIDAD DE F CONSUMIDO Y LA CONCENTRACION DE F EN TIBIA



CUADRO 2b COMPOSICION DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES (%).

Ingrediente	TRATAMIENTOS Serie Fluoruro de Sodio				
	6	7	8	9	10
Alfalfa	38.00	38.00	38.00	38.00	38.00
Sorgo	26.00	26.00	25.00	25.00	25.00
Soya	9.50	9.50	9.50	9.50	9.50
Salvado	19.30	19.30	19.30	19.30	19.30
Melaza	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
CaCO ₃	2.17	2.17	2.17	2.17	2.17
KH ₂ PO ₃	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26
Sal común	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Otros ^a	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
NaF	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
ANÁLISIS CALCULADO					
Prot. cruda %	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
ED Mcal/Kg	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Calcio	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
Fósforo	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Fluor ppm	146.00	292.00	438.00	548.00	730.00

^a Incluye:

Vitaminas: Vit. A, 3'300,000 UI; Vit. D, 330,000 UI; Vit. E, 50,000 UI; Riboflavina, 1.1 g; Niacina, 27.0 g; Cianocobalamina, 0.019 g; Pantotenato de Ca, 6.57 g; Colina, 175.0 g; BHT, 150.0 g; cbp 100.0 g (0.20%).

Minerales: Selenio, 0.025 g; Cobalto, 0.215 g; Yodo, 0.10 g; Cobre, 2.2 g; Hierro, 25.5 g; Zinc, 28.5 g; Manganeso, 5.71 g; Potasio, 0.033 g; Cloruro de sodio 715.0 g; cbp 1000.0 g (0.35%).

Monensina Sódica (Rumensin): 0.10%

CUADRO 3. RESULTADOS AL ANÁLISIS DEL ALIMENTO

TRAT ^a	% P.C.	% F.C.	% E.E.	% CEN.	% HUM.	ppm FLUOR
1	13.90	17.32	1.17	8.59	5.49	646.5
2	13.14	19.72	1.26	8.70	5.30	238.9
3	14.55	18.27	1.85	8.46	5.30	216.2
4	14.29	16.82	1.38	8.76	5.16	168.6
5	14.29	17.68	1.59	8.89	4.59	39.7
6	14.29	19.64	1.69	9.20	4.45	224.4
7	15.40	15.47	1.98	9.61	5.17	372.3
8	14.35	17.71	1.83	8.46	5.20	577.7
9	14.16	19.45	1.57	8.50	5.43	760.5
10	14.03	18.34	1.53	7.99	5.53	873.6

^a Dietas de la 1 a la 4 Serie Roca Fosfórica; 5 Testigo; Dietas de la 6 a la 10 Serie Fluoruro de Sodio.

del alimento y su relación con la concentración de F en los tejidos, principalmente el hueso (26).

En cuanto a la concentración de F en hueso, en este trabajo se observó que la cantidad de F ingerido guarda una estrecha relación con la cantidad de F en tibia (Gráfica 1) y que coincide con lo encontrado en otros experimentos (1,10,14). Esto indica que si el F ingerido aumenta en forma constante se va depositando en huesos y dientes (27,28).

Se ha encontrado que huesos de bovino con engrosamiento anormal, alargados y con superficies irregulares, son característicos cuando tienen niveles de 5,000 a 6,000 ppm de F (4). Estas observaciones coinciden con el presente trabajo, ya que con similares concentraciones de F en hueso, se observó engrosamiento y exostosis.

La deposición de F en el esqueleto es rápida en un principio y disminuye al aumentar los niveles de F en los huesos (28). Ratas alimentadas con una dieta que contenía 500 ppm de F como NaF, mostraron al principio una rápida deposición en hueso que después fue más gradual (29). Antes de ingerir F se determinó 190 ppm de F en hueso desengrasado, alcanzando a las 8 semanas 4,280 ppm y 7,050 ppm al final de las 84 semanas. Los resultados del presente trabajo, muestran una elevada susceptibilidad del conejo a la fluorosis, ya que en solo 5 semanas se alcanzaron niveles de 4,069 ppm de F en hueso, con 238.9 ppm de F en el alimento a partir de RF; es probable que de haber continuado el experimento por un número mayor de semanas, la concentración de F en hueso no hubiera aumentado mayormente.

En otro trabajo efectuado en ratas, se observó que la edad es un factor muy importante, ya que en los animales jóvenes el hueso está en desarrollo y crecimiento constante y por lo tanto tienen mayor susceptibilidad a la intoxicación por flúor (16). La edad de los animales del presente

trabajo, fue de 35 días al inicio del experimento.

El contenido normal de F en hueso va de 300 a 600 ppm en ganado bovino adulto (4) y ocasionalmente supera las 1,200 ppm (30,31); huesos que han sufrido fluorosis, su contenido de F varía además de la dosis, del tiempo de exposición y posiblemente del tipo de hueso (27). Valores en hueso de 2,000 a 4,000 ppm indican una absorción de una cantidad anormal de F (9); en ovinos estos valores en hueso compacto son considerados tóxicos (31), esto sugiere que el consumo de 168 y 224 ppm de F (dietas 4 y 6) resulta en toxicidad, ya que se alcanzaron 2,000 ppm de F en hueso.

Se ha informado que cuando la concentración de F en hueso es por debajo de 2,500 ppm, no hay engrosamiento o anomalías microscópicas, así como tampoco cambios en la actividad enzimática (24). En el presente trabajo solo con niveles superiores a 3,000 ppm de F en hueso, se comenzó a observar engrosamiento y deformación del mismo (Cuadro 4, Figs. 2, 3, 4, 5 y 6).

Underwood menciona que, en ganado bovino una concentración de F de 4,500 a 5,500 es una osteofluorosis marginal, niveles en los que se observan signos clínicos. Mayor a 5,500 ppm en hueso compacto o mayor a 7,000 ppm en hueso poroso, es indicativo de una toxicosis franca (4, 31). De acuerdo con estos datos, los animales que recibieron las dietas 1 (con 646.5 ppm de F) y 8 (con 577.7 ppm de F) llegaron a tener una osteofluorosis marginal (Cuadro 4) y los animales con las dietas 9 (con 760.5 ppm) y 10 (con 873.6 ppm) tuvieron una franca intoxicación. La evidencia analítica acumulada, indica que la concentración de F en hueso puede llegar a una saturación fisiológica de 15,000 a 20,000 ppm en hueso desengrasado (4,30,31).

En el trabajo realizado con minks (1), los animales que recibieron más de 60 ppm no se observaron lesiones en dientes, aun

CUADRO 4. RESULTADOS DE FLUOR EN DIETA, FLUOR INGERIDO, CONCENTRACION DE FLUOR EN TIBIA Y GRADO DE AFECCION.

Trat. ^a	Fluor en dieta (ppm)	Fluor ingerido (ppm)	Fluor en tibia (ppm)*	Grado de afección
1	646.5	761.106	5654.345 b	3.0505 b
2	238.9	267.266	4069.200 cd	0.5395 de
3	216.2	367.817	3071.435 de	2.0014 c
4	168.6	243.386	2066.355 e	0.9850 d
5	39.7	59.372	-68.531 f	0.0505 e
6	224.4	390.640	3105.033 de	0.4523 de
7	372.3	701.559	3768.970 d	2.3511 bc
8	577.7	824.690	5317.642 bc	2.9593 b
9	760.5	982.425	7518.615 a	3.8280 a
10	873.6	907.967	8726.116 a	3.7830 a

Literales distintas en columnas muestran diferencias significativas NSK ($p < 0.001$).

* Medias ajustadas por covarianza. (covariable: días de vida).

^a Dietas de la 1 a la 4 Serie Roca Fosfórica; 5 Testigo;

Dietas de la 6 a la 10 Serie Fluoruro de Sodio.

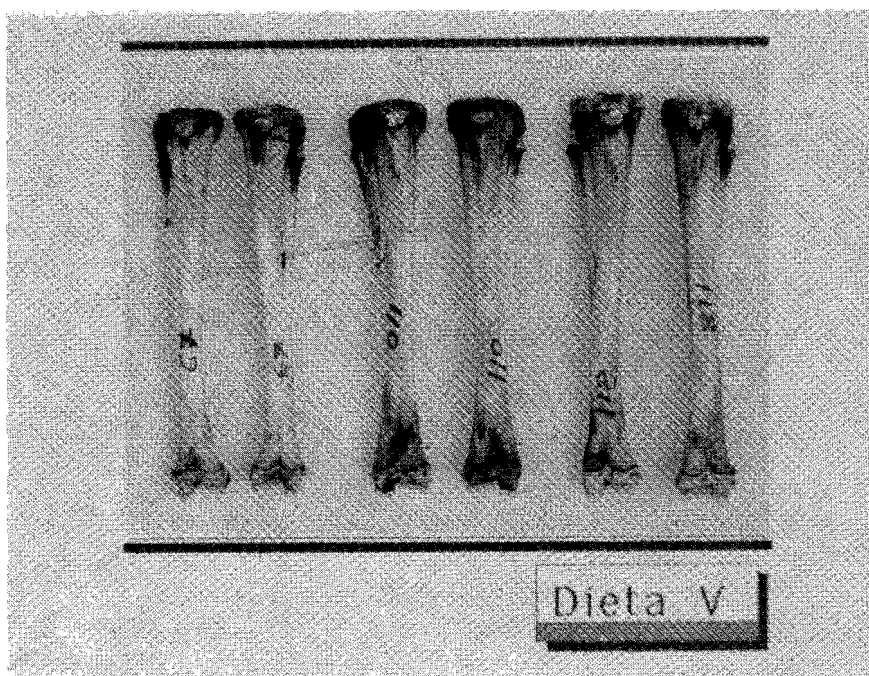


FIGURA 1. Tibias de conejos sometidos a la dieta testigo con 39.7 ppm de flúor, cuya concentración de flúor en hueso fue de -68.5 ppm y el grado de afección 0.05.



FIGURA 2. Tibias de conejos sometidos a la dieta con 646.5 ppm de flúor a partir de roca fosfórica, cuya concentración de flúor en hueso fue de 5,654.345 ppm y el grado de afección de 3.05. Se observa engrosamiento y deformación del hueso.

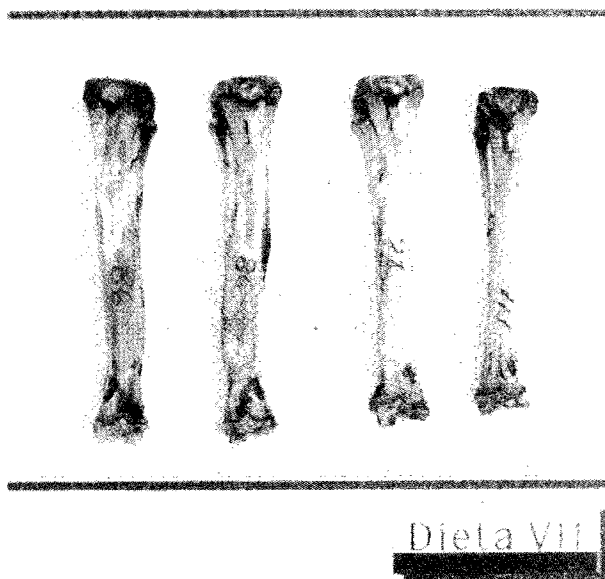


FIGURA 3. Tibias de conejos sometidos a la dieta con 372.3 ppm de flúor a partir de fluoruro de sodio, la concentración de flúor en hueso fue de 3,768.97 ppm con un grado de afección de 2.35. Se observa en el animal No. 86 engrosamiento y en el No. 111 normal.

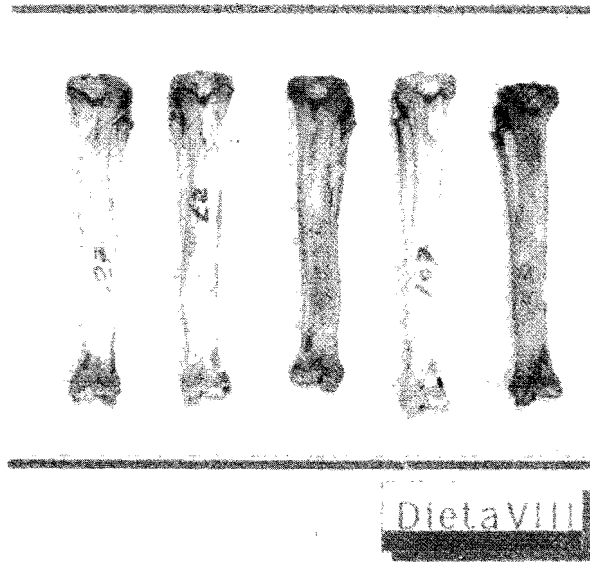


FIGURA 4. Tibias de conejos sometidos a la dieta con 577.7 ppm de flúor a partir de fluoruro de sodio, la concentración de flúor en hueso fue de 5,317.642 ppm y el grado de afección de 2.959. Se observa además de engrosamiento, ligera deformación del hueso.

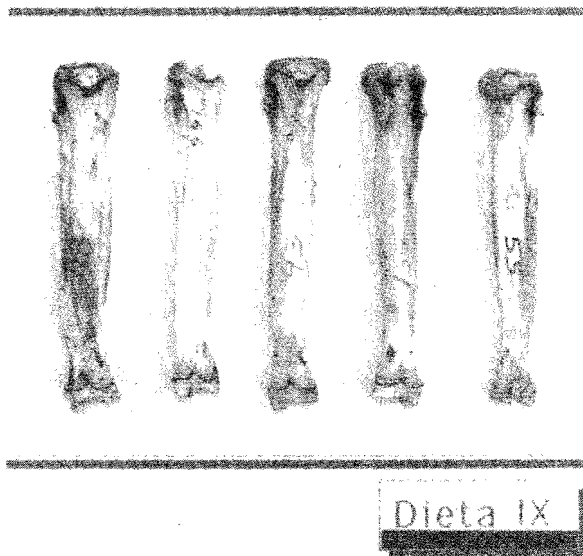


FIGURA 5. Tibias de conejos sometidos a la dieta con 760.5 ppm de flúor a partir de fluoruro de sodio, cuya concentración de flúor en hueso fue de 7,518.615 ppm y un grado de afección de 3.828. Se observa engrosamiento, deformación y exostosis.

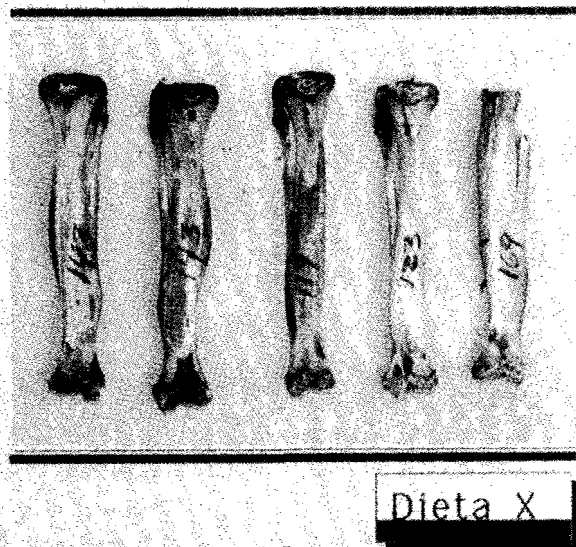


FIGURA 6. Tibias de conejos sometidos a la dieta con 873.6 ppm de flúor a partir de fluoruro de sodio, cuya concentración de flúor en hueso fue de 8,726.116 ppm, con un grado de afección de 3.7830. Se observa engrosamiento, una deformación y exostosis más severas.

cuando los animales fueron alimentados durante 4 meses, lo cual concuerda con el presente trabajo, ya que tampoco se observaron lesiones en los dientes de los conejos, probablemente debido al tiempo de exposición al F o por el tipo de dentición.

La retención de F en el esqueleto, está directamente relacionada con los cambios progresivos estructurales que resultan en forma definitiva en las lesiones del hueso (28), hallazgo observado en el presente trabajo, donde conforme se aumenta la concentración de F en hueso, aumenta el grado de afección del mismo.

En bovinos se ha observado que los huesos más representativos de fluorosis son: costillas, vértebras torácicas, lumbares, sacras y la pelvis (24). En los minks suplementados con 350 ppm de F se observaron exostosis de las crestas

sagitales de las vértebras (1). En este trabajo se consideró la tibia, ya que en un trabajo similar (14), los conejos afectados por el consumo de excesiva cantidad de F, los huesos largos de las extremidades, principalmente la tibia, así como los huesos de la cara, fueron los más afectados.

Para determinar la disponibilidad de F en la roca fosfórica, se requiere de la realización de pruebas biológicas para cada caso en particular. Para la roca fosfórica empleada en el presente trabajo, se encontró una disponibilidad de F del 86.02%; ahora bien, se ha mencionado que la biodisponibilidad de F sigue paralelamente a la del fósforo en orden ascendente (6). Se han informado disponibilidades de fósforo en la roca fosfórica desde 60 a 90% (2), esto significaría que si se cumple lo mencionado por Michel (6), la disponibilidad de F en la roca fosfórica

empleada está dentro de lo esperado.

Se concluye que el conejo mostró ser una especie susceptible a la fluorosis, siendo ésta manifiesta con dosis de 168 y 224 ppm de F en el alimento, en los 36 días que duró el experimento.

Con los niveles de F en la dieta, no se alcanzaron niveles tóxicos; sin embargo, se estimó que con 168 a 224 ppm de F en el alimento, se apreciaron alteraciones y concentraciones superiores a las normales en hueso (> 2,000 ppm de F).

La disponibilidad de flúor en la roca fosfórica empleada en el presente trabajo se encontró que va del 87- 90%, lo que hace de ésta una sal de alto riesgo toxicológico.

Los datos derivados de este estudio sugieren la necesidad de que además de determinaciones químicas rutinarias de control de calidad en rocas fosfóricas, se recurra a utilizar pruebas biológicas de biodisponibilidad para tener un mejor control de calidad de las mismas.

Por su susceptibilidad a la fluorosis y su factibilidad económica se podría utilizar al conejo como modelo biológico para el análisis de disponibilidad del flúor en los suplementos minerales.

AGRADECIMIENTOS.

Al Centro Nacional de Cunicultura, Irapuato, Gto., por el uso de las instalaciones y los animales. A la fábrica de alimentos balanceados ALBAMEX, Irapuato, Gto., por el uso del Laboratorio de Control de Calidad y por algunos de los reactivos utilizados. A La Dra. Irma Tejada de Hdez. por el uso del Laboratorio de Nutrición Animal en Palo Alto, México D.F.

EFFECT OF DIFFERENT LEVELS OF FLUORINE IN RABBIT DIETS ON BONE STRUCTURE AND COMPOSITION.

SUMMARY

The present work was performed to determine the effect of different levels of fluorine in rabbits foodstuff on the structure and composition of the bone, as well as the fluorine availability

in commercial phosphoric rock, considering sodium fluoride as the standard. Eighty 35-dayold, weaner Chinchilla rabbits were utilized and allotted to ten experimental diets. Four diets with different fluorine levels with phosphoric rock, which provided calcium, phosphorus and fluorine; a control diet without fluorine and five diets with different fluorine levels with sodium fluoride. In these diets, calcium carbonate and potassium phosphate were used to provide calcium and phosphorus, respectively. Daily weight gain, feed intake and gain/feed were no different ($p>0.05$) between treatments. At the end of the experiment, the rabbits were sacrificed and the fluorine quantity in tibia and bone affection grade were measured. Results showed a linear response, between increase of fluorine in food, concentration of fluorine in bone and affection grade ($p<0.001$). Saturation level for fluorine toxicity was not reached. Fluorine availability in phosphoric rock was 90 %.

KEYS WORDS: Rabbits, Fluorine, Toxicity, Phosphoric rock, Sodium fluoride.

REFERENCIAS.

1. Aulerich R J, Napolitano A C, Bursian S J, Olson B A, Hochstein J R. Chronic toxicity of dietary fluorine to mink. *J. Anim. Sci.* 1987; 65(1):1759.
2. Rojas R E, Rangel R J L, Bezares S A, Avila G E. Determinación de fósforo disponible en una roca fosfórica y su empleo en dietas para aves. *Vet. Méx.* 1980. 11(1):1.
3. Tejada de H I, Merino Z H. Composición química de rocas fosfóricas de México y su utilización como fuente de minerales en nutrición animal. *Téc. Pecu. Méx.* 1971; (15,16):21.
4. Underwood E J. Trace elements in human and animal nutrition. 3th. ed. New York, USA, Academic Press. 1977:475.
5. Maynard L A, Loosli J K, Hintz H F, Warner R G. *Nutrición Animal*. 4a. ed. en español. México. Mc Graw Hill. 1981:640.
6. Michel N. Revisión sobre interacciones fósforo/flúor. En: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM, INIFAP. Iniciativa privada. Memorias del primer simposio. El Fósforo en la Nutrición Animal. México, D.F. 1988:100-105.
7. Camacho M J. Contribución al estudio de la composición química de las rocas fosfóricas en México, utilizadas como fuentes de minerales en la nutrición animal. Tesis licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 1979:125.
8. Burns K N, Allcroft R. Fluorosis. Letters to the editor. *Vet. Rec.* 1964; 76(18):507.
9. Shupe J L. Clinicopathologic features of fluoride toxicosis in cattle. *J. Anim. Sci.* 1980; 51(3):746.
10. Guo K M, Nopakun J, Messer H H, Ophaug R, Singer L. Retention of skeletal fluorine during bone turnover in rats. *J. Nutr.* 1988; 118:362.
11. Buck W B, Osweiler G D, Van Gelder G A. Clinical and diagnostic veterinary toxicology. Ames Iowa, U.S.A.: Kendall/Hunt Publishing Comp. 1973:287.
12. National Research Council. Mineral tolerance of domestic animals. Subcommittee on mineral toxicity in animals, Washington, DC, USA: National Academy of Sciences. 1980:254.
13. Weatherell J A, Weidman S M. The skeletal changes of chronic experimental fluorosis. *J. Path. Bact.*, 1959; 78:233.
14. Romero-Paredes R J, Pureco A A, Cuarón I J A. Intoxicación por flúor en conejos. Un caso de campo. *Téc. Pecu. Méx.* 1990. 28(2):103.
15. Jubb K V F, Kennedy P C. Patología de los animales domésticos. 1er. tomo, España: Edt. Labor. S.A., 1974:692.

16. Miller R F, Phillips P H. The effect of age on the level and metabolism of fluorine in the bones of the fluoridate rat. *J. Nutr.*, 1956; 59:425.
17. AOAC. Official Methods of Analysis, 14th. ed.. Washington, DC, USA: Assoc. of Analyt. Chem. 1984:1141.
18. National Research Council. Nutrient Requirements of Domestic Animals. Nutrient Requirements of Rabbits. 2nd Rev. Washington, DC, USA: Ed. National Academy of Sciences, 1977:30.
19. Tejada de H I. Manual de laboratorio para análisis de ingredientes utilizados en la alimentación animal. 1a. ed. México: PAIEPEME. A.C. 1983:397.
20. Steel R G D, Torrie J H. Bioestadística. 1a. ed. español. México: Mc Graw Hill, 1988:622.
21. Guerrero F E, Cuarón I J A. Utilización del nitrógeno y disponibilidad del cobre en heces hidratadas de cerdo. *Téc. Pecu. Méx.* 1987; 25(3):315.
22. Suttie J W. Effect of dietary fluoride on the pattern of food intake in the rat and the development of a programmed pellet dispenser. *J. Nutr.* 1968; 96:529.
23. Suttie J W, Miller R F, Phillips P H. Studies of the effect of dietary NaF on dairy cows. *J. Nutr.* 1957; 63:211.
24. Anónimo. Fluorides in cattle nutrition. *Nutrition Abstracts and Reviews, Series B.* 1983; 53(12):43.
25. Ammerman C B, Henry P R, Conrad J H, Fick K R, Araujo E C. Inapetence in ruminants as a measure of fluoride solubility in various phosphates. *J. Dairy Sci.* 1980; 63(6):1167.
26. Suttie J W. Nutritional aspects of fluoride toxicosis. *J. Anim. Sci.* 1980; 51(3):759.
27. Bartik K M. Veterinary toxicology. Oxford-New York, USA: Elsevier Scient. Pub. Comp. Amsterdam. 1981:346.
28. Shupe J L, Olson A E. Clinical and pathological aspects of fluoride toxicosis in animals. In: International Fluoride Symposium, Utah, USA: Utah State University. 1982:319-338.
29. Stolman A, Stewart C P. Progress in chemical toxicology. 1st. ed. New York and London, USA: Academic Press. 1965:416.
30. Holmes J J. Fluorosis. Letters to the editor. *Vet. Rec.* 1964; 76(18):510.
31. Underwood E J. Los minerales en la nutrición del ganado 2a. Ed. Zaragoza. España: Acribia, 1983:210.