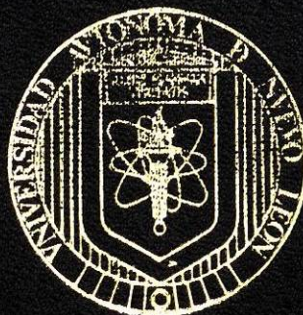


78

# UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA



EFFECTO DE LA ADICION DE FITASA Y FOSFATO  
MONOCALCICO A DIETAS PARA CERDOS  
EN CRECIMIENTO

TESIS:

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO

PRESENTA

ZAHIDD MEZA CARRANCO

MARIN, N. L.

DICIEMBRE DEL 2002



TL  
SF396  
.5  
M49  
2002  
c.1 .



1080124510

# UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

## FACULTAD DE AGRONOMIA



EFECTO DE LA ADICION DE FITASA Y FOSFATO  
MONOCALCICO A DIETAS PARA CERDOS  
EN CRECIMIENTO

TESIS:

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO

PRESENTA

ZAHIDD MEZA CARRANCO

MARIN, N. L.

DICIEMBRE DEL 2002





TL  
SF396  
.5  
M4  
2002

Consiglio Regionale  
della Valle d'Aosta

B

U A L  
FONDO  
IS LICENCIATURA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMIA

EFFECTO DE LA ADICIÓN DE FITASA Y FOSFATO  
MONOCÁLCICO A DIETAS PARA CERDOS EN  
CRECIMIENTO

TESIS  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÓNOMO

PRESENTA:  
ZAHIDD MEZA CARRANCO

APROBACIÓN DE TESIS



---

Dr. sc. agr. HUGO BERNAL BARRAGÁN  
Asesor principal



---

Ph. D. JAVIER COLÍN NEGRETE  
Coasesor



---

Ph. D. ERASMO GUTIERREZ ORNELAS  
Coasesor



## DEDICATORIA

### A DIOS:

Por permitirme concluir un paso más en la vida, en compañía de mis seres queridos ya que sin la presencia divina, la vida no tiene sentido alguno, y al compartir la vida con Dios: es compartirla con todo el universo, disfrutando hasta el más insignificante componente que en él exista.

### AMIS PADRES:

Sr. José Luis Meza Guerra y Sra. Ma. del Socorro Carranco Peña, por brindarme todo el cariño necesario para una buena formación y enseñarme el camino del bien, para seguirlo por sobre cualquier circunstancia.

### A MIS HERMANOS:

Luis Alexandro Meza Carranco y Milton Israel Meza Carranco, por apoyarme durante el transcurso de mi carrera y enseñarme el valor de la verdadera amistad.

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. sc. agr. Hugo Bernal Barragán.

Por brindarme el apoyo necesario para la realización de este trabajo, además de su incondicional amistad.

Al Ph. D. Javier Colín Negrete

Por estar siempre dispuesto en los momentos de dificultad, y brindarme toda su comprensión.

Al Ph.D. Erasmo Gutiérrez Ornelas

Por su valiosa presencia durante la realización de esta investigación, y mostrarme el valor del compañerismo laboral.

Al Ph. D. Sergio Puente Tristán

Por ser uno de los maestros con mejor visión hacia el futuro, y orientar a los estudiantes para obtener mejores beneficios en todos los aspectos.

Al Ing. José Francisco Uresti Salazar

Por ser un hombre tan amable, y ayudarme directamente con todo lo que concierne en los laboratorios.

Al Ing. Alfredo Peña López

Por ser una persona que le gusta su trabajo, lo cual es muy importante para cualquier ser humano ya que con esta cualidad, se presta incondicionalmente para ayudar de buena voluntad.

Al Ing. Leonel Crespo Ruiz

Por ayudarme, apoyarme y aconsejarme durante mi estancia en la Facultad, como empleado y posteriormente en el servicio social.

A todas aquellas personas que intervinieron para la realización de este trabajo, incluyendo empleados de esta universidad, tanto como alumnos.



# ÍNDICE

	PÁGINA
1. Introducción.....	1
2. Revisión de literatura.....	4
2.1 Papel del fósforo en la alimentación animal.....	4
2.2 Requerimiento de fósforo para cerdos en crecimiento- finalización.....	7
2.3 Complejo ácido fítico-fósforo.....	10
2.4 Utilización de la enzima fitasa en alimentación de cerdos.....	12
2.5 Impacto ambiental de la enzima fitasa adicionada a la dieta de cerdos.....	16
3. Materiales y métodos.....	20
3.1 Localización del trabajo.....	20
3.2 Tratamientos.....	21
3.3 Trabajo experimental.....	24
3.4 Variables a evaluar.....	26
3.5 Análisis económico.....	27
3.6 Análisis estadístico.....	27
4. Resultados y discusión.....	29

4.1	Condiciones climáticas en que se realizó el experimento.....	29
4.1.1	Temperatura ambiental durante el experimento.....	30
4.1.2	Humedad relativa.....	32
4.2	Peso de los animales.....	34
4.3	Aumento de peso.....	36
4.4	Consumo de alimento.....	40
4.5	Conversión alimenticia.....	43
4.6	Ingestión de fósforo.....	47
4.7	Excreción fecal de fósforo.....	48
4.8	Digestibilidad de fósforo.....	50
4.9	Beneficio económico.....	53
5.	Conclusiones y recomendaciones.....	54
6.	Resumen.....	56
7.	Bibliografía.....	59
8.	Apéndice.....	66



## ÍNDICE DE CUADROS

	PÁGINA
Cuadro 1. Composición (kg/ton) de raciones experimentales para cerdos en crecimiento (53 - 85 kg), adicionadas con fitasa y fosfato monocálcico....	23
Cuadro 2. Pesos inicial y final de los cerdos asignados a los cuatro diferentes tratamientos (n = 6).....	35
Cuadro 3. Ingestión, excreción fecal y digestibilidad del fósforo de cerdos en desarrollo (53-86 kg de peso), alimentados con dietas adicionadas con fitasa y diferentes cantidades de fosfato monocálcico.....	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Promedios semanales de temperaturas mínima, media y máxima durante el período experimental.....	30
Figura 2. Temperaturas mínima, media y máxima diarias, registradas en el transcurso del período experimental.....	31
Figura 3. Valores promedio semanales de humedad relativa mínima, media y máxima durante el período experimental.....	32
Figura 4. Valores diarios de humedad relativa mínima, media y máxima, obtenidos durante el período experimental.....	33
Figura 5. Aumento diario de peso (kg/día) de cerdos en desarrollo (53 a 86 kg), alimentados con dietas adicionadas con fitasa y diferentes cantidades de fosfato monocálcico.....	36
Figura 6. Promedios semanales de aumento diario de peso de cerdos en desarrollo (53 a 86 kg),	

alimentados con dietas adicionadas con fitasa y  
diferentes cantidades de fosfato monocálcico.... 39

Figura 7. Consumo diario de alimento de cerdos en  
desarrollo (53 a 86 kg), alimentados con dietas  
adicionadas con fitasa y diferentes cantidades  
de fosfato monocálcico..... 41

Figura 8. Promedios semanales de consumo de alimento  
de cerdos en desarrollo (53 a 86 kg),  
alimentados con dietas adicionadas con fitasa y  
diferentes cantidades de fosfato monocálcico.... 42

Figura 9. Conversión alimenticia (kg de alimento/kg  
ADP) de cerdos en desarrollo (53 a 86 kg),  
alimentados con dietas adicionadas con fitasa y  
diferentes cantidades de fosfato monocálcico.... 44

Figura 10. Promedios semanales de conversión alimenticia  
de cerdos en desarrollo (53 a 86 kg),  
alimentados con dietas adicionadas con fitasa y  
diferentes niveles de fosfato monocálcico..... 45

Figura 11. Fósforo consumido en cerdos en desarrollo (53  
a 86 kg de peso), alimentados con dietas

	adicionadas con fitasa y diferentes cantidades de fosfato monocálcico.....	47
Figura 12.	Excreción fecal de fósforo (g/día) de cerdos en desarrollo (53 a 86 kg de peso), alimentados con dietas adicionadas con fitasa y diferentes cantidades de fosfato monocálcico.....	49
Figura 13.	Digestibilidad de fósforo (%) de cerdos en desarrollo (53 a 86 kg), alimentados con dietas adicionadas con fitasa y diferentes cantidades de fosfato monocálcico.....	51
Figura 14.	Beneficio económico (\$) de cerdos en desarrollo (53 a 86 kg), alimentados con dietas adicionadas con fitasa y diferentes cantidades de fosfato monocálcico.....	53



## **1. Introducción**

Los porcicultores sienten la responsabilidad de cumplir con las necesidades que demanda el mercado determinado por la población, ya que la alimentación de los seres vivos debe ser satisfecha plenamente para promover su desarrollo adecuado.

Dentro de las necesidades nutricionales del cerdo se encuentran los minerales y de éstos, uno muy importante es el fósforo, ya que es un elemento esencial para el crecimiento, desarrollo y reproducción de los animales. Prácticamente no hay reacción química en la célula, sin que intervenga, directa o indirectamente, este mineral (Cervantes, 2000).

El fósforo participa en la formación de huesos, la generación de energía, la formación de material genético que se hereda de una a otra célula y organismo, la formación de músculo a través de la síntesis de proteína, la síntesis de grasa, etc. Por tanto, todos los animales deben consumir cantidades adecuadas de este mineral (Cervantes, 2000).

Algunos estudios indican que el cerdo tiene una asimilación muy baja del fósforo en los alimentos (NRC, 1998), pero la utilización de la enzima fitasa incrementa la

digestibilidad y disminuye la excreción del fósforo (Qian et al. 1996).

Ruiz (2002) midió el crecimiento de cerdos alimentados con dietas adicionadas con 0.0 y 9.4 kg de fosfato monocálcico/ton de alimento y observó un mejor crecimiento de los cerdos cuya dieta contenía fosfato monocálcico. La suplementación de fitasa a las dietas sin adición de fosfato monocálcico, provocó un aumento de los datos de crecimiento del cerdo, sin alcanzar los niveles medidos con dietas adicionadas con fosfato. Esto indica que es necesario incluir una cierta cantidad de fosfato monocálcico a dietas adicionadas con fitasa, para obtener un crecimiento adecuado de los cerdos.

El objetivo de la presente investigación consistió en evaluar el desarrollo de cerdos entre 53 y 86 kg de peso, y su excreción de fósforo en heces, al ser alimentados con raciones adicionadas con enzima fitasa y diferentes cantidades de fosfato monocálcico.

Para ello se plantean los siguientes objetivos específicos:

- a) Determinar parámetros de crecimiento en cerdos de 53 a 86 kg de peso, alimentados con dietas adicionadas con enzima fitasa y tres niveles de fosfato monocálcico.
- b) Determinar la mejor opción económica de suplementación con fosfato monocálcico y fitasa a la dieta, para la mejor utilización de fósforo en cerdos en la etapa de crecimiento-finalización.
- c) Determinar la magnitud de la excreción de fósforo en heces, en los cerdos de este estudio.

### HIPÓTESIS

- a) No existe diferencia en el crecimiento de cerdos, al adicionar a su dieta enzima fitasa y diferentes niveles de fosfato monocálcico.
- b) No existe diferencia en la excreción de fósforo en heces de cerdos en crecimiento, al adicionar a su dieta enzima fitasa y diferentes niveles de fosfato monocálcico.

## **2. Revisión de literatura**

### **2.1 Papel del fósforo en la alimentación animal**

El fósforo (P) se encuentra principalmente en forma de compuestos inorgánicos de fosfato en las rocas sedimentarias (Sutton, 1999).

El ciclo básico del P se inicia con los fosfatos disueltos. Las plantas los absorben a través de sus raíces y lo incorporan a todas sus células, formando parte de moléculas complejas. Los animales obtienen el P mediante la ingestión de vegetales. Cuando mueren las plantas y los animales, o bien, cuando excretan productos de desecho, las bacterias fosfatizantes degradan los compuestos orgánicos muertos, transformándolos en fosfatos inorgánicos disueltos, con lo cual se completa el ciclo básico (Sutton, 1999).

En organismos animales, es reconocida la función de los elementos minerales al proveer soporte estructural (esqueleto) para el cuerpo.

De acuerdo a McDowell (1992), del P total del organismo, el 15 o 20% se encuentra en los tejidos suaves, formando parte



de combinaciones inorgánicas tales como fosfoproteínas, fosfolípidos, fosfocreatina y hexosa fosfatos, encontrados en los glóbulos rojos, músculo y tejidos nerviosos, mientras que el 80 u 85% del P en el cuerpo se encuentra en los huesos.

En aspectos funcionales, el fósforo participa como: (1) Buffer de excesos ácidos o alcalinos ayudando así a mantener el pH de la sangre; (2) Almacenamiento temporal y transferencia de energía derivada de los combustibles metabólicos y (3) Activador de algunas proteínas catalíticas, vía fosforilación (IOM, 1999).

Los enlaces de fosfato de alta energía, tales como en el trifosfato de adenosina (ATP), proveen energía para manejar la mayoría de las reacciones metabólicas. El ATP es la fuente de energía usada por las células para transmitir impulsos nerviosos, causar contracción muscular, efectuar procesos de síntesis de macromoléculas, desde las más sencillas y pequeñas, hasta las más complejas, importantes para las funciones vitales (Villem, 1996).

La formación de fosfolípidos permite a los ácidos grasos ser transportados a través del cuerpo (McDowell, 1992).

Las células metabolizan alimentos como glucosa por una serie de reacciones enzimáticas (primera etapa), y la energía presente en los enlaces químicos de los alimentos se transforma y conserva como ATP. En la tercera etapa de transformación de la energía química, recuperada de los alimentos, se genera el ATP, el cual es usado por las células para producir una variedad de trabajos (Viljee, 1996).

El P además funciona en metabolismo de proteínas al ser parte de nucleoproteínas y fosfoproteínas. Como componente de los ácidos nucleicos RNA y DNA, el P es necesario para la transmisión genética. También el P es un elemento esencial de sistemas buffer en la sangre y otros fluidos corporales, incluyendo aquellos del rumen. El P participa además en el control del apetito y en la utilización eficiente de la alimentación (McDowell, 1992).

La función del P dietario consiste en promover el crecimiento de los tejidos, ya sea a través del desarrollo individual, o durante la gestación y lactancia, y además, reemplaza pérdidas excretorias y dérmicas para mantener un nivel normal en el fluido extracelular (IOM, 1999).

En el cerdo, la excreción de P endógeno ocurre principalmente por vía renal. El fosfato inorgánico sérico es filtrado por los glomérulos y reabsorbido por los túbulos proximales; sin embargo, la capacidad de transporte de los túbulos proximales para el P es limitada. Por ello se recomienda tener una dieta adecuada para cada tipo de organismo (cabras, cerdos, aves, etc.) en las diferentes etapas de su desarrollo (IOM, 1999).

Los síntomas de hipofosfatemia, incluyen anorexia, anemia, debilidad general, incremento en la susceptibilidad a infecciones, parestesia, ataxia, confusión e incluso la muerte. La debilidad del músculo causada por la hipofosfatemia, si se prolonga severamente, puede llevar a la degeneración de la fibra muscular. Por causa de deficiencia de P, el esqueleto puede mostrar raquitismo en lactantes u osteomalacia en adultos (IOM, 1999).

## **2.2 Requerimiento de fósforo para cerdos en crecimiento-finalización**

Es importante tener una dieta adecuada para cada tipo de organismo (cabras, cerdos, aves, etc.), en las diferentes etapas

de su desarrollo, con el fin de obtener un crecimiento adecuado (IOM, 1999; Cervantes, 2000).

Dentro de las necesidades nutricionales del cerdo se encuentran los minerales, y de éstos uno muy importante es el fósforo, ya que es un elemento esencial para el crecimiento, desarrollo y reproducción.

La cantidad de P total necesaria en el alimento para cerdos entre 50 y 80 kg de peso vivo (pv) es de 0.45% y para cerdos entre 80 y 120 kg pv es de 0.40%. El contenido de P disponible necesario en el alimento para cerdos entre 50 y 80 kg pv es de 0.19%, y para cerdos entre 80 y 120 kg pv es de 0.15% (NRC, 1998).

Eeckhout et al. (1995) en un experimento factorial 3x3 de tres niveles de P combinados con tres niveles de Ca, determinaron los requerimientos de P para cerdos en crecimiento-finalización dentro del rango de peso de 37 kg a 100 kg. Concluyeron que 0.17% de P digestible en la dieta (0.44% P total), se acerca a los requerimientos mínimos para esos cerdos.



Liu et al. (1998) utilizando cerdos en la etapa de crecimiento-finalización, alimentados con diferentes relaciones de Ca:P total (1.5:1, 1.3:1 o 1.0:1) en la dieta, y agregando fitasa microbiana a razón de 500 unidades de fitasa/kg de alimento, observaron que disminuyendo el contenido de Ca (de 0.60 a 0.40%) en raciones para cerdos en crecimiento, con 0.39% de P, así como de 0.50 a 0.32% de Ca en raciones para cerdos en finalización con 0.32% de P, se incrementó el crecimiento, así como la cantidad de P absorbido diariamente.

En una investigación posterior realizada por Liu et al., (2000), se concluyó que disminuyendo la relación de Ca:P total de 1.5 hasta 1.0:1 en una dieta con bajo contenido de P, para cerdos en la etapa de crecimiento (0.39% P total y 0.07% P inorgánico) y finalización (0.32% P total sin P inorgánico), conteniendo fitasa (500 unidades/kg), se incrementó la absorción aparente de este elemento en el intestino delgado. Además una cantidad significativa de P fue absorbida en el ciego.

### 2.3 Complejo ácido fítico-fósforo

El P contenido en ingredientes típicos de la dieta de los cerdos (pasta de soya y cereales) se encuentra principalmente en forma de fitatos (hexafosfato éster de mio-inositol; Figura 1).

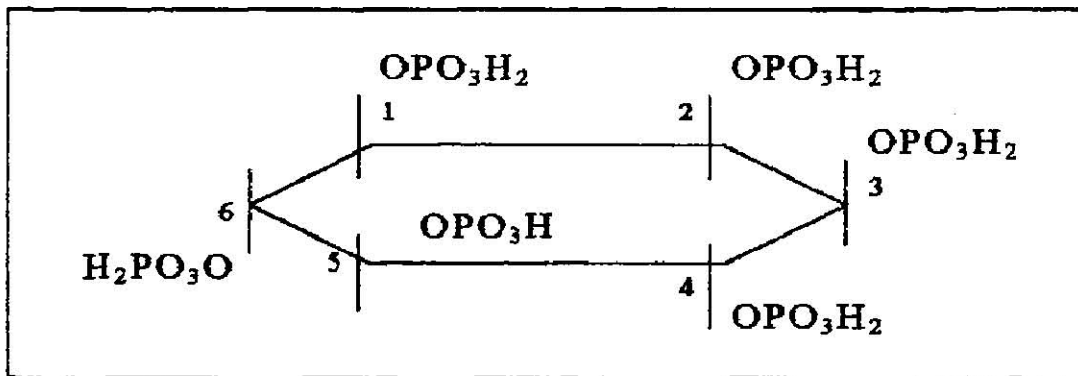


Figura 1. Molécula de Mioinositol Hexafosfato (fitato).

Aunque el P es relativamente abundante, su disponibilidad es muy baja debido a que el animal no produce ninguna enzima que rompa los enlaces P-fitato. Adicionalmente, a los fitatos se les considera como factores antinutricionales debido a que forman quelatos con otros minerales esenciales como el Ca, Zn, Mg, Fe, y pueden reaccionar también con proteínas, disminuyendo la disponibilidad de proteína y aminoácidos (Cervantes, 2000).

El maíz es un muy buen ingrediente para la dieta en cerdos, pero su disponibilidad de P es menor a 15% (NRC, 1998), aunque un estudio realizado por Spencer et al. (2000), se estableció que en un maíz modificado genéticamente para tener un contenido bajo en fitatos, había por lo menos cinco veces más P disponible que en el maíz normal, siendo las disponibilidades de P para el maíz bajo en fitatos y el maíz normal de 62 y 9%, respectivamente.

En un estudio efectuado por Phillips y Forsberg (2001) en la Universidad de Guelph con el “enviropig” o cerdo ecológico, se estableció que este animal produce estiércol favorable para el ambiente porque contiene hasta 75% menos de fósforo. Estos investigadores estudiaron 33 líneas de “enviropigs” que ellos mismos modificaron genéticamente para que sus organismos absorbieran una forma de fósforo normalmente no digerible.

La utilización de fitasas ha sido muy intensa durante los últimos años, ya que la mayoría de los mamíferos no puede hidrolizar el ácido fítico. La fitasa hidroliza la molécula de fitato y, de esta manera, libera al fósforo ligado a ella (Jongbloed et al., 1992; IOM, 1999).

También se ha encontrado que la frecuencia de alimentación influye significativamente sobre la digestibilidad aparente en el tracto digestivo total, de calcio, triptofano e isoleucina, así como la digestibilidad aparente en íleon, del ácido fítico, cisteína, arginina, isoleucina y fenilalanina (Mroz et al., 1994).

Los fitatos así como los xilanos y glucanos, aunque no inhiben la acción de ninguna enzima ni son tóxicos, sí impiden la digestión de proteína, minerales y energía (Cromwell et al., 1995b; Yi et al., 1996).

#### **2.4 Utilización de la enzima fitasa en alimentación de cerdos**

El P fítico contenido en los alimentos pecuarios no es aprovechado por el cerdo, ya que este carece de la enzima necesaria (fitasa) para liberar este nutriente de los fitatos. Por ello, solo el 15% del P de una dieta típica de maíz-soya, es disponible para el cerdo. Desde hace 50 años es conocido que la fitasa vegetal tiene la facultad de hidrolizar el fitato y se ha demostrado que es efectiva para mejorar la digestibilidad del P en cerdos y aves. Con excepción del trigo, la mayoría de los

granos, incluyendo el maíz y la harina de soya, tienen una actividad de fitasa tan baja, que no tiene importancia práctica (López, 2001).

La mejoría en la disponibilidad del P en la dieta es variable y depende del tipo de ingrediente, de la fitasa utilizada y de su actividad catalítica (Cervantes, 2000).

El lograr una reducción en la excreción de P fue uno de los hechos que motivó el desarrollo de la tecnología con respecto a las fitasas comerciales, las cuales son el resultado de avances en la biotecnología y en la tecnología de fermentación que condujeron a la producción de hongos modificados genéticamente (López, 2001).

En un estudio realizado por Kemme et al. (1997) se encontró que en la formulación de raciones para cerdos, la cantidad de fitasa agregada debe ser especificada para cada tipo de ración.

Al reemplazar P inorgánico con fitasa y disminuir el nivel de proteína en la dieta, mientras se suplementan aminoácidos en raciones a base de cebada, se puede disminuir la excreción de P en estiércol hasta un 44% y de nitrógeno en 28%, sin efectos

adversos en el desarrollo de los cerdos (Grandhi et al., 2001)

Cromwell et al., (1993), trabajaron con 225 cerdos para probar la eficacia de la fitasa microbiana producida por *Aspergillus niger* (Finase<sup>TM</sup>), adicionada a la dieta a razón de 250, 500 o 1,000 unidades/kg, en dietas a base de maíz-soya, encontrando que el nivel alto de fitasa (1,000 unidades/kg) convirtió aproximadamente un tercio del P no disponible a una forma disponible. Los resultados indican que la fitasa fue eficaz en mejorar la disponibilidad del P fítico para cerdos.

Qian et al. (1996) utilizaron 96 cerdos destetados (peso inicial de 9.3 kg a 37 días de edad) para evaluar las respuestas de la relación Ca:P en la dieta, (1.2:1, 1.6:1 ó 2.0:1) en combinación con 2 niveles de P (0.07 ó 0.16% disponible que corresponde a 0.36 ó 0.45% de fósforo total) y 2 niveles de fitasa (700 o 1,050 unidades de fitasa/kg de dieta) sobre el crecimiento durante 4 semanas post-destete. Con la inclusión de la enzima fitasa en la dieta se incrementó la digestibilidad del P ( $P < 0.05$ ) y disminuyó su excreción ( $P < 0.01$ ) en heces.

Un estudio fue realizado por Harper et al. (1997) con 413 cerdos en la etapa de crecimiento-finalización, utilizando fitasa



microbiana comercial (Natuphos<sup>®</sup>) en dietas de maíz-soya para mejorar la disponibilidad de fósforo fítico y además reducir la suplementación de P inorgánico y la excreción fecal del P. No hubo efectos del nivel de P o fitasa sobre la calidad de la canal. Usando ecuaciones de predicción estimaron que 500 unidades de fitasa liberan una cantidad de P fítico equivalente a 0.87 y 0.96 g de fósforo de los suplementos de fosfato monodivalente. La reducción en la excreción de P fecal fue estimada en 21.5%.

Cromwell et al. (1995a) utilizaron 115 cerdos para evaluar la eficacia de una fitasa microbiana producida por *Aspergillus niger* (Allzyme Phytase<sup>™</sup>, Alltech, USA), en dietas con bajo contenido de P, basadas en maíz-soya. Aproximadamente 4, 7, 10 y 15% del P fue hecho disponible por los 4 niveles de fitasa evaluados (250, 500, 1,000 ó 2,000 unidades de fitasa/kg respectivamente). La fitasa incrementó ( $P < 0.01$ ) la absorción aparente de P en la dieta. La fitasa no afectó la excreción diaria de P, pero sí redujo ( $P < 0.01$ ) el porcentaje de P en la dieta que fue excretado. Estos resultados indican que esta fuente de fitasa,

fue moderadamente eficaz en mejorar la disponibilidad de P fítico para cerdos.

En otro estudio realizado por Cromwell et al. (1995b) en cerdos, se determinó que la fitasa fue efectiva en mejorar la disponibilidad de P fítico. Basados en comparación de las respuestas lineales para P inorgánico y la suplementación de fitasa, los datos indicaron que para cada 100 unidades de fitasa incluidas por kilogramo de dieta, el nivel de P inorgánico puede ser reducido en 0.0085 unidades porcentuales.

## **2.5 Impacto ambiental de la enzima fitasa adicionada a la dieta de cerdos.**

La estrategia del control de la contaminación del agua debe involucrar la reducción de entrada de todos los materiales que la contaminen y los tóxicos, y no solamente uno o dos de ellos (Odum, 1999).

El proceso de eutroficación, consiste en los cambios físicos, químicos y biológicos que tienen lugar después de que un lago o embalse recibe residuos que sirven como nutrientes a los vegetales en la tierra circundante, generalmente nitratos y

fosfatos además de cieno, como resultado de la erosión natural y escurrimiento durante un largo tiempo (Villem, 1996; Miller, 1994).

Las plantas acuáticas requieren, en porciones fijas, nutrientes como P, nitrógeno (N) y el carbono (C). La productividad de los sistemas acuáticos está limitada generalmente por el nivel en que aparecen estos nutrientes, particularmente el P y el N, los cuales solo existen en reducidas cantidades en las aguas naturales (Sutton, 1999).

A través de un desarrollo natural y un proceso de envejecimiento denominado eutroficación, los sistemas acuáticos adquieren mayores cantidades de dichos nutrientes, y “maduran” lentamente. Este proceso se presenta en forma natural a través del tiempo geológico, pero puede acelerarse grandemente mediante las descargas de nutrientes del hombre (Sutton, 1999).

Lo anterior determina el crecimiento de las algas por la introducción de grandes cantidades de fosfato y de nitrato a los sistemas de agua, mediante fuentes de origen agropecuario y las corrientes, lo cual hace una fácil identificación del origen de la

contaminación. Con esta fertilización las algas florecen, se incrementan, mueren, y las bacterias comienzan el proceso de la putrefacción. La materia orgánica en descomposición se hunde al fondo, y las bacterias reductoras utilizan rápidamente el oxígeno de las aguas profundas, que los peces, los crustáceos, gusanos, insectos y las larvas necesitan para vivir. Este proceso puede denominarse eutroficación de cultivos (Sutton, 1999; Sharpley et al., 1994).

Cuando se presentan casos de contaminación como sucede en muchas tierras de los Estados Unidos y México, como consecuencia de fertilizar con P ya sea utilizando estiércol o químicos, los principales problemas a enfrentar son económicos y ambientales. Se puede empezar desde analizar el suelo y tomar medidas necesarias como distribuir el estiércol en superficies mayores para volver a normalizar los niveles de P. De la misma manera se procede a analizar el agua y determinar las cantidades de P que contiene y posteriormente se hace un estudio para normalizar las cantidades de P en ella (Sharpley et al., 1994; Sims, 1993).

En cuanto a contaminación del medio ambiente con P proveniente de la producción intensiva de ganado, se ha propuesto modificar las raciones agregando fitasa microbiana y suplementando las dietas solo con los niveles de P requeridos para reducir la cantidad de P excretado (NRC, 1998).

En Estados Unidos se está desarrollando un sistema para detectar tierras contaminadas que pudieran tener impactos desfavorables para los cuerpos de agua debido al movimiento del P. Este sistema es nombrado índice de fósforo, cuyo propósito es proporcionar al personal de campo, y usuarios de tierra, una herramienta para evaluar los diversos componentes de esa tierra y dirigir prácticamente el riesgo potencial del movimiento del P a cuerpos de agua (Lemunyon and Gilbert, 1993).

### **3. Materiales y métodos**

#### **3.1 Localización del trabajo**

La investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Centro Genético Porcino de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León en el Municipio de Marín, en el área Central del estado de Nuevo León, a 25° 53' de latitud norte y 100° 03' longitud oeste, con una altitud de 325 msnm (INEGI, 1983).

El clima es cálido-seco y la temperatura media anual es de 21 °C con temperaturas extremas de -3 a 41.5 °C (en invierno y en verano respectivamente). La precipitación media anual es de 573 mm y la media de humedad relativa es de 64% (Estación de observación meteorológica FAUANL en Marín, N.L.)

El presente trabajo se inició el 26 de febrero del 2001 y finalizó el 26 de agosto del mismo año. La evaluación experimental de las dietas se llevó a cabo del 26 de febrero al 2 de abril. Se utilizaron 24 cerdos de las razas Yorkshire, Hampshire, Duroc y sus cruzas, considerando cada animal como unidad experimental. Los animales tuvieron un peso inicial



promedio de 53.4 kg. El alojamiento se efectuó en corrales individuales de 1.50 x 2.2 m con piso de concreto.

El alimento se ofreció a libre acceso mediante comederos de tolva individuales. El agua también se ofreció a libre acceso por medio de un bebedero de tipo chupón para cada jaula.

### 3.2 Tratamientos

Se evaluaron 4 tratamientos representados por cuatro raciones experimentales, en las cuales variaban los niveles de fosfato monocálcico adicionados a los tratamientos 2, 3 y 4 en cantidades crecientes (3.5, 7.0 y 10.5 kg/ton). Al tratamiento 1 no se le adicionó fosfato (Cuadro 1).

La enzima fitasa Ronozyme<sup>TM</sup> P (Roche, Francia; ver Apéndice A10), fue aplicada en los tratamientos 1, 2 y 3 en la misma cantidad (0.300 kg/ton), mientras que al tratamiento 4 no se le adicionó (Cuadro 1).

Se asignaron seis cerdos por pesos semejantes a cada uno de cuatro tratamientos.

Las raciones experimentales se formularon a través del paquete Nutrion®, considerando los requerimientos nutricionales

para cerdos en crecimiento publicados por el NRC (1998), y se elaboraron en la Planta de Alimentos de la Facultad de Agronomía en Marín, Nuevo León, utilizando sorgo, harina de soya, sebo de res, lisina HCL, metionina al 98%, treonina al 98%, sal, fosfato, calcio 38%, sulfato de cobre 25%, premezcla vitamínica y de minerales traza, antibiótico y fitasa Ronozyme<sup>®</sup> (Cuadro1).

**Cuadro 1. Composición (kg/ton) de raciones experimentales para cerdos en crecimiento (53 – 85 kg), adicionadas con fitasa y fosfato monocálcico.**

	Precio	Trat 1	Trat 2	Trat 3	Trat 4
<b>Ingrediente</b>	<b>\$/kg</b>	<b>kg</b>	<b>kg</b>	<b>Kg</b>	<b>kg</b>
Sorgo	1.20	755.75	752.75	748.75	743.55
Harina de soya	2.45	200.00	200.00	200.00	200.00
Sebo de res	3.00	21.00	22.00	24.00	25.00
Lisina HCL	17.00	0.37	0.37	0.37	0.37
Metionina	27.64	0.21	0.21	0.21	0.21
Treonina	34.00	0.07	0.07	0.07	0.07
Sal	1.45	4.00	4.00	4.00	4.00
Fosfato monocálcico	3.25	0.00	3.50	7.00	10.50
Carbonato de calcio	0.90	15.00	13.50	12.00	13.00
Sulfato de cobre	12.60	0.50	0.50	0.50	0.50
Vit/min *	13.95	2.50	2.50	2.50	2.50
Antibiótico **	30.00	0.30	0.30	0.30	0.30
Fitasa Ronozime <sup>TM</sup> P	83.60	0.30	0.30	0.30	0.00
<b>Total (kg)</b>		<b>1000.00</b>	<b>1000.00</b>	<b>1000.00</b>	<b>1000.00</b>
<b>Costo (kg)</b>		<b>\$1.57</b>	<b>\$1.58</b>	<b>\$1.59</b>	<b>\$1.57</b>

**Análisis calculado de nutrientes y energía**

Energía metabolizable Mcal/kg	3.29	3.28	3.29	3.24
Proteína %	16.06	16.03	15.99	15.95
Calcio %	0.76	0.77	0.77	0.76
Fósforo % ***	0.45	0.52	0.59	0.56
Lisina %	0.78	0.78	0.78	0.78
Met + cis %	0.52	0.52	0.52	0.52
Triptofano %	0.19	0.19	0.19	0.19
Treonina %	0.50	0.50	0.50	0.58

\* Contenia lo siguiente por 2.5 kg: 6,500,000 UI Vit A, 1,500,000 UI Vit D3, 15,000 UI Vit E, 2g Vit K3, 0.5 g Tiamina (Vit B1), 4 g Riboflavina (Vit B2), 1.5 g Piridoxina (Vit B6), 15 mg Vit B12, 20 g Niacina, 8 g Acido Pantoténico, 250 g Cloruro de Colina, 40 g Antioxidante, 30 g Manganeso, 55 g Zinc, 50 g Hierro, 5 g Cobre, 0.3 g Yodo, 0.2 g Selenio, 0.1 g Cobalto.

\*\* BMD (Bacitracina Metileno Disalicilato) al 11%.

\*\*\* Se consideró un contenido virtual de 333% de fósforo para la enzima fitasa (Apéndice A10).

### **3.3 Trabajo experimental**

La elaboración de las raciones se llevó a cabo utilizando una mezcladora horizontal de listones, con una capacidad de 100 kg. Para hacer las premezclas, los ingredientes se pesaron en una báscula digital con una capacidad de 20 kg, (división mínima de 5 g). Se utilizó también una báscula mecánica con una capacidad de 500 kg para pesar el sorgo por ser el ingrediente mayoritario. Para pesar la enzima fitasa se utilizó otra báscula digital con capacidad de 200 g y división mínima de 0.0001 g. Se utilizaron crisoles y bolsas plásticas para pesar y llevar la enzima a su ración correspondiente. La elaboración del alimento se hizo semanalmente para tener siempre alimento fresco.

Se colocaron cubetas de 19 L al exterior de cada jaula para mantener el alimento fresco y seco en ellas, colocándoles una cantidad conocida de alimento de entre 10 y 12 kg, registrando en cada relleno el dato del suministro individual.

Diariamente se recogieron los rechazos de alimento, para registrar su peso en una báscula digital con capacidad de 50 kg (división mínima de 10 g).

Se registraron igualmente las temperaturas y las humedades máxima y mínima por día. Los animales se pesaron cada semana en una báscula con capacidad de 500 kg (división mínima de 200 g). Cada semana se calculó el alimento ofrecido, el alimento rechazado y el alimento consumido, así como el aumento de peso de los animales.

En el transcurso de la cuarta semana, se realizó una recolección total de heces frescas durante 24 horas, las cuales después de su expulsión fueron depositadas inmediatamente en una cubeta individual provista de una bolsa de polietileno. Al término de las 24 horas de colección, las heces fueron pesadas, y de cada una de ellas se tomaron muestras representativas, las cuales fueron almacenadas a -20 °C hasta su análisis en el laboratorio. De cada muestra de heces se realizaron análisis del contenido de materia seca y de fósforo (AOAC, 1990), en el laboratorio de Bromatología de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

### **3.4 Variables a evaluar**

Con los datos registrados en el experimento, se obtuvieron las variables evaluadas en forma semanal y para el periodo experimental completo.

Las variables fueron:

Peso corporal (kg).

Aumento diario de peso (ADP, kg).

Consumo promedio de alimento (kg/día).

Conversión alimenticia, calculada como la relación entre el consumo de alimento (kg) y el aumento de peso (kg).

Utilización de fósforo ó diferencia entre la ingestión y excreción fecal de fósforo.

Beneficio económico, calculado como la diferencia entre los ingresos resultantes por venta del producto obtenido durante el período experimental y el costo de alimentación, para cada tratamiento.



### **3.5 Análisis económico**

La evaluación económica de los tratamientos probados se llevó a cabo en el escenario de la etapa de crecimiento de 53 86 kg. Los precios utilizados fueron los vigentes al 26 de febrero del 2001 (Cuadro1). El precio del cerdo en pie considerado, fue de \$11.5/kg.

### **3.6 Análisis estadístico**

El presente trabajo se realizó bajo un diseño de bloques al azar. Los animales de cada tratamiento fueron asignados aleatoriamente a los seis bloques, utilizando como criterio de bloqueo al peso inicial.

El análisis de varianza se realizó utilizando el paquete de diseños experimentales FAUANL, Versión 2.5 (Olivares, 1994).

Las variables analizadas fueron: peso vivo, aumento diario de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia y utilización de fósforo.

El modelo estadístico utilizado fue:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  =  $i$ -ésima observación de la variable dependiente

$\mu$  = Media verdadera general

$T_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo tratamiento

$B_j$  = Efecto del  $j$ -ésimo bloque

$E_{ij}$  = Error experimental de la  $ij$ -ésima observación

## **4. Resultados y discusión**

### **4.1 Condiciones climáticas en que se realizó el experimento**

En el transcurso del período experimental, el promedio general de temperatura mínima fue de 15 °C, la máxima fue en promedio 28 °C. La temperatura promedio general fue de 22 °C. La temperatura con la que se trabajó durante el presente experimento es mayor a la registrada en trabajos anteriores como el de Ruiz (2002), en el cual trabajó con cerdos en la etapa de finalización (67-99 kg), durante los meses de diciembre del 2001 y enero del 2002, registrando una temperatura media durante el experimento de 16.3 °C. Por el contrario, González (2000) realizó experimentos en las fechas de febrero-marzo de 1999, registrando una temperatura media promedio de 22.5 °C, semejante a la del presente trabajo.

Durante el período experimental, el promedio general de humedad relativa mínima fue de 42%, la máxima fue en promedio 83%. La humedad promedio general fue de 63%. Ruiz (2002) registró una humedad mínima de 46%, máxima de 86% y en promedio 66%. Por otra parte González (2002) registró

humedades de 28, 72 y 50% correspondiente a la humedad mínima, máxima y promedio durante el período experimental.

Las condiciones ambientales registradas durante el presente trabajo corresponden en general a las esperadas para la localidad en la estación del año en que éste se realizó.

#### 4.1.1 Temperatura ambiental durante el experimento

La temperatura semanal promedio varió de 21.4 a 22.5 °C para las semanas 2, 3 y 5, y fue de 19.9 °C para la cuarta semana (Figura 1; Ver Apéndice "A1") (Los valores correspondientes a la semana 1 no fueron considerados debido a errores en las lecturas).

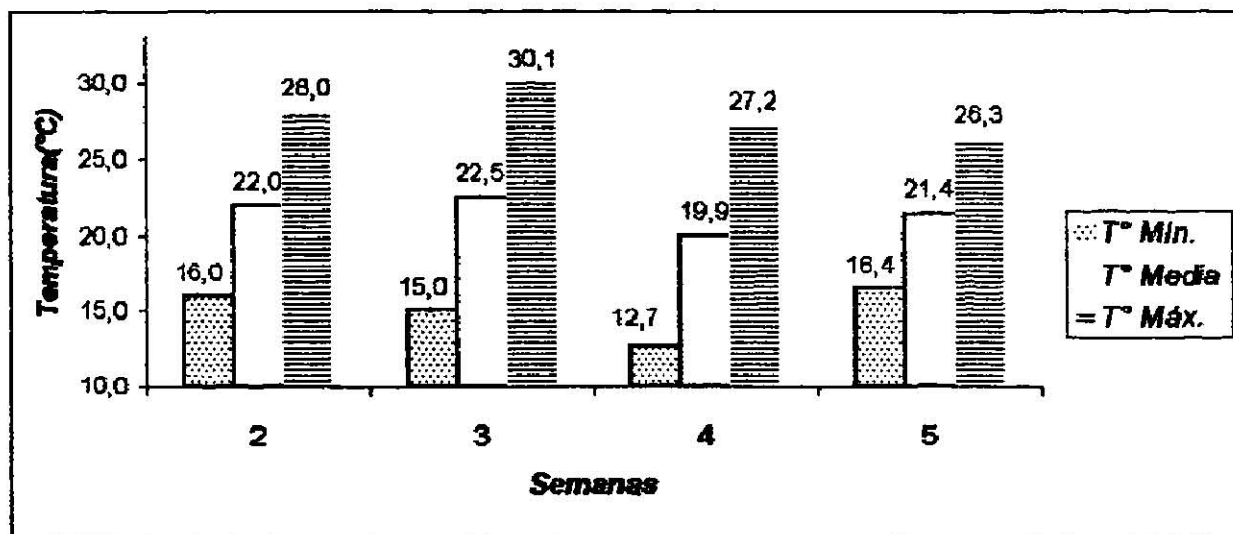


Figura 1.- Promedios semanales de temperaturas mínima, media y máxima durante el período experimental.

Se observa que la temperatura mínima de las semanas 2, 3 y 5 se mantuvo entre 15 y 16.4 °C mientras que para la semana 4 fue de 12.7 °C.

La temperatura mínima absoluta registrada durante el experimento fue de 7.5°C el 20 de marzo del 2001. La temperatura máxima absoluta se registró el 13 de marzo, con 35.3°C. (Figura 2; Ver Apéndice "A1").

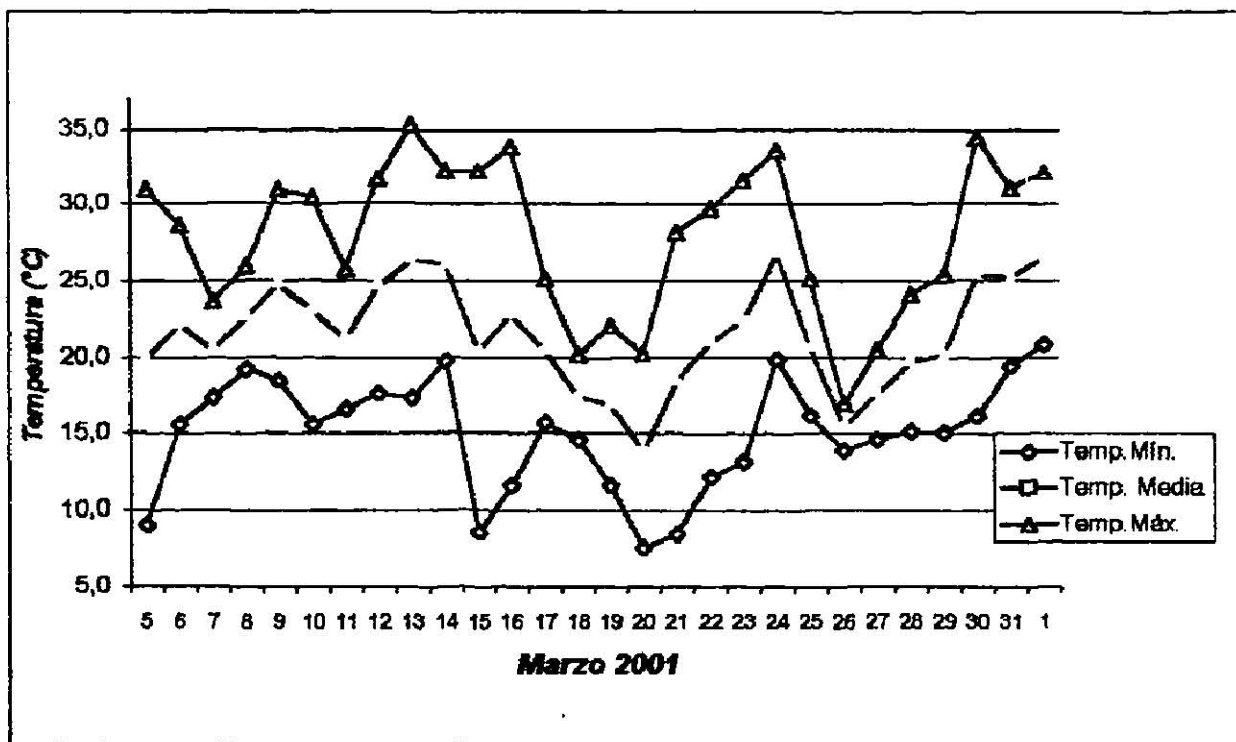


Figura 2.- Temperaturas mínima, media y máxima diarias, registradas en el transcurso del periodo experimental.

#### 4.1.2 Humedad relativa

Los promedios semanales mínimos de humedad relativa fueron de 55 y 58% para las semanas 3 y 2 respectivamente de la evaluación, aumentando a 62 y 75% en la cuarta y quinta semanas (Figura 3; A1) (Los valores correspondientes a la semana 1 no fueron considerados debido a errores en las lecturas).

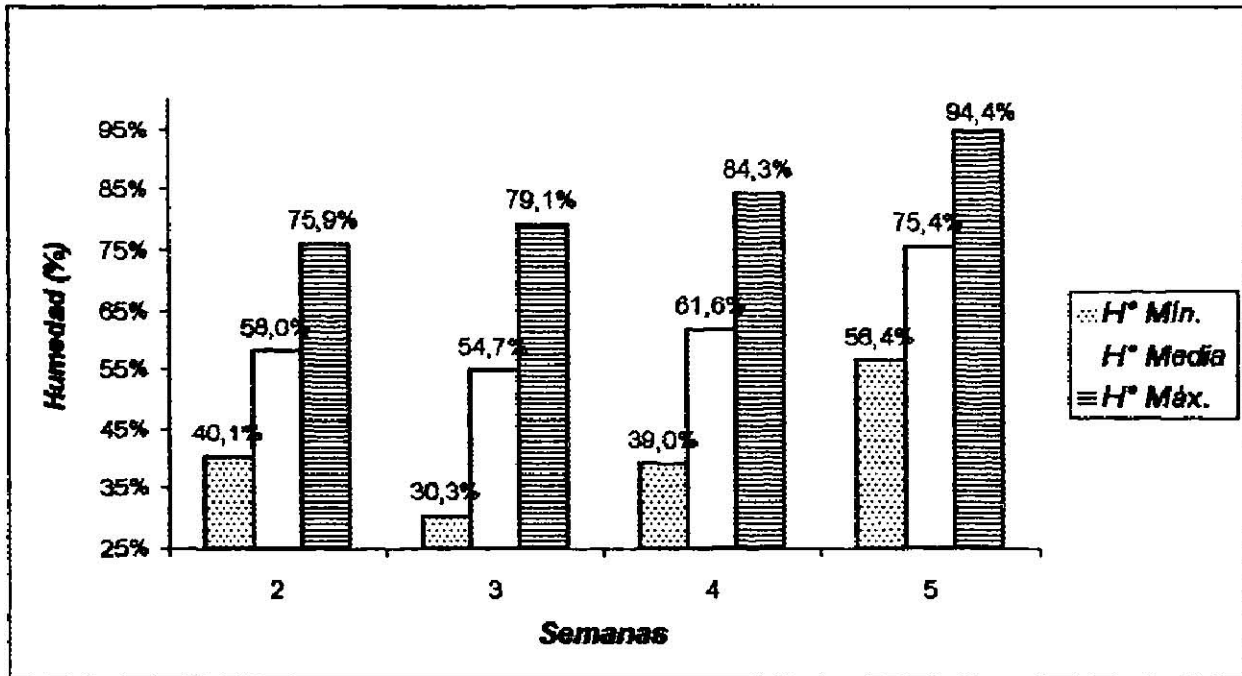


Figura 3.- Valores promedio semanales de humedad relativa mínima, media y máxima durante el periodo experimental.



El valor promedio de la humedad mínima de la semana 2 fue de 40%, descendiendo a 30% en la semana 3 pero aumentando progresivamente en las semanas 4 y 5 con 39 y 56% respectivamente.

La humedad relativa mínima absoluta registrada durante el experimento fue de 16% el 13, 15 y 16 de marzo, del 2001. La humedad relativa máxima absoluta registrada fue de 99% el 17, 18, 26 y 27 de marzo (Figura 4; Apéndice A1).

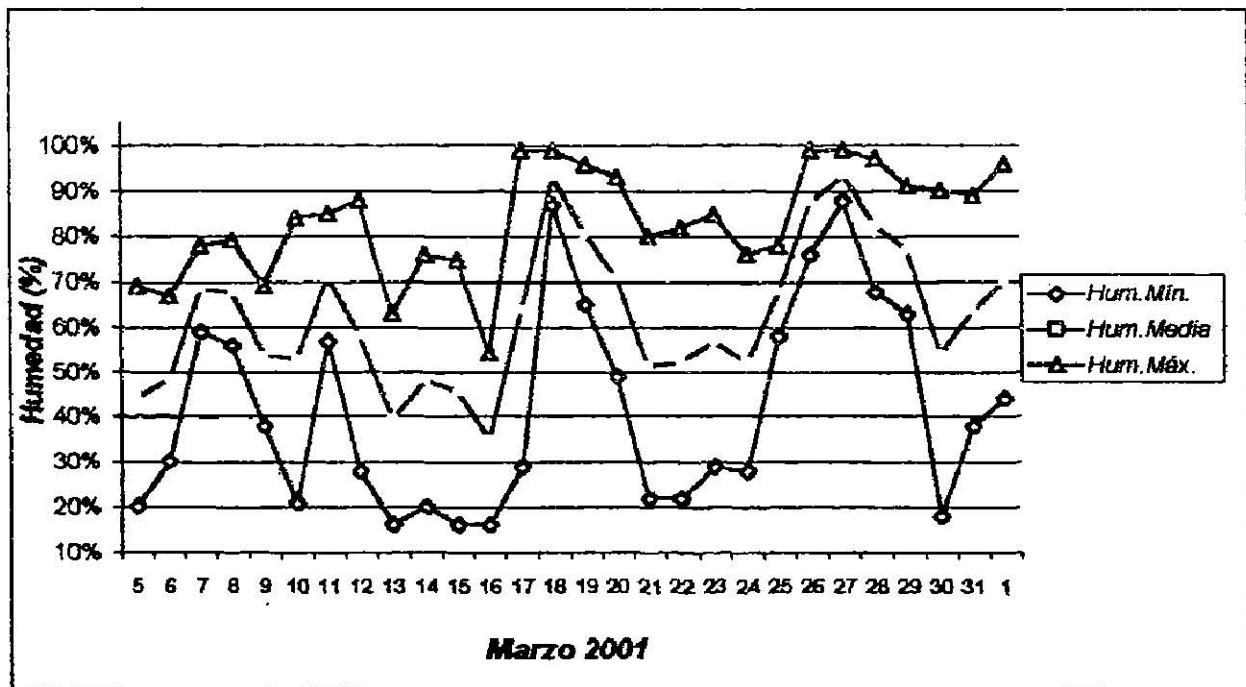


Figura 4.- Valores diarios de humedad relativa mínima, media y máxima, obtenidos durante el periodo experimental.

#### 4.2 Peso de los animales

El peso inicial de los animales fué de 51.4 kg para el tratamiento 1 (T1), 53.7 y 53.4 kg para los tratamientos 2 (T2) y 3 (T3) respectivamente y de 54.9 kg para los animales del tratamiento 4 (T4). No hubo diferencia estadística en el peso inicial entre tratamientos ( $P>0.05$ ) (Cuadro 2).

La variación de los pesos individuales al inicio del experimento fue mantenida en límites estrechos, de manera que el coeficiente de variación resultante fue de 8.9% para el tratamiento 4 y de 12.9% para el tratamiento 1. Para lograr una variación reducida de los lotes asignados a los diferentes tratamientos, se realizó una distribución homogénea de animales de acuerdo a su peso, formando 6 bloques aleatorizados.

El peso final registrado de los animales experimentales varió entre 82.5 kg (tratamiento 1) y 87.9 kg correspondiente al tratamiento 4, sin haber diferencia significativa entre tratamientos ( $P>0.05$ ), aunque sí entre bloques ( $P<0.05$ ). El coeficiente de variación resultante en pesos finales osciló entre 8% para el tratamiento 3, y el 11.1% para el tratamiento 4 (Cuadro 2)

Respecto al desarrollo del presente trabajo, en los primeros 28 días los animales tuvieron un incremento de 26 kg. González (2000) trabajó con animales de un peso inicial aproximado de 68 kg y un peso final de 94 kg, aumentando 26 kg en 28 días.

**Cuadro 2.- Pesos inicial y final de los cerdos asignados a los cuatro diferentes tratamientos (n = 6).**

	T1	T2	T3	T4	Prom.Gral.
<b>Peso Inicial (kg)</b>					
Prom.	51.43	53.67	53.43	54.87	53.35
S.D.	6.61	6.25	4.97	4.88	1.42
C.V.	12.86	11.65	9.29	8.89	2.67
<b>Peso Final (kg)</b>					
Prom.	82.47	86.67	84.73	87.93	85.45
S.D.	8.58	8.80	6.79	9.74	2.38
C.V.	10.40	10.15	8.01	11.08	2.79
<b>Diferencia de pesos (kg)</b>	<b>31.04</b>	<b>33.00</b>	<b>31.30</b>	<b>33.06</b>	<b>32.10</b>

### 4.3 Aumento de peso

En general, los animales del presente estudio registraron en el rango de 53 a 85 kg un aumento de peso promedio diario de 0.917 kg. González (2000) reportó 0.940 kg/día en cerdos de 68-94 kg de peso en una evaluación de 28 días.

El aumento de peso general durante las 5 semanas de la evaluación no fue diferente entre tratamientos ( $P>0.05$ ), con las variaciones numéricas entre los 0.891 kg/día para los tratamientos 1 y 3 y 0.944 kg/día para a los tratamientos 2 y 4 (Figura 5; Apéndice A3).

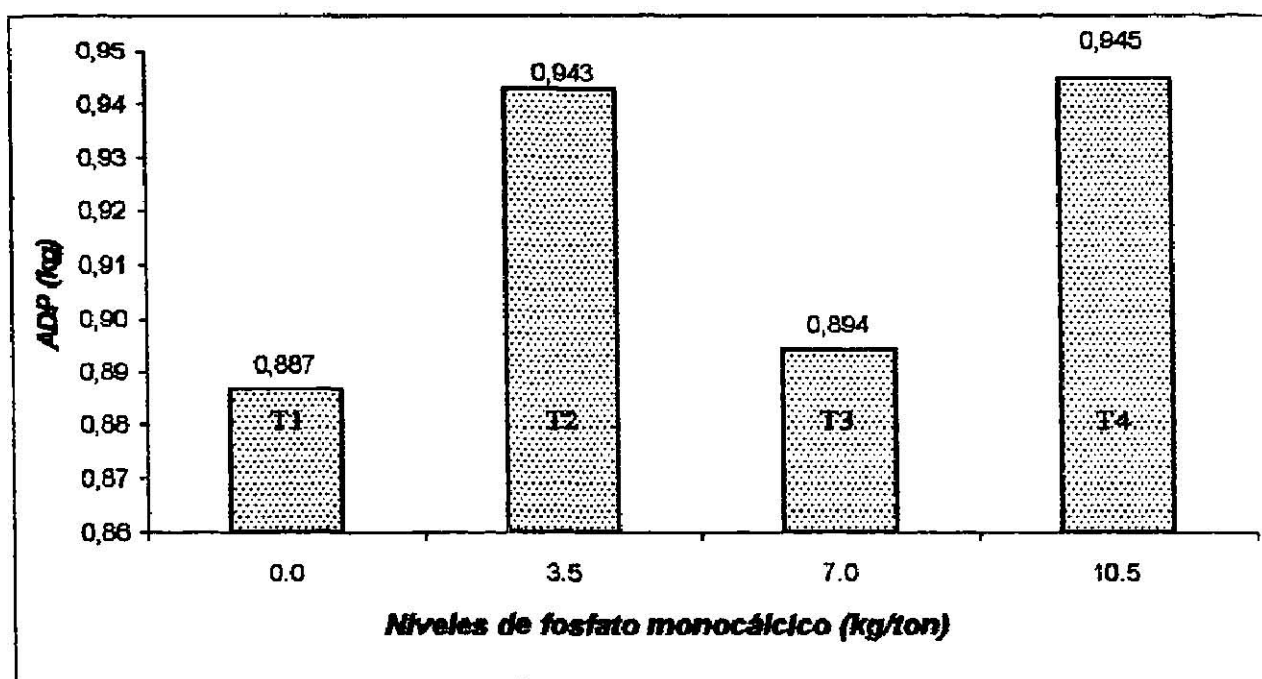


Figura 5.- Aumento diario de peso (kg/día) de cerdos en desarrollo (53 a 86 kg), alimentados con dietas adicionadas con fitasa y diferentes cantidades de fosfato monocalcico.

Harper et al. (1997) en un primer experimento obtuvieron un aumento de peso de 0.735 kg/día con cerdos en la etapa de crecimiento, mientras que en cerdos en etapa de finalización obtuvieron resultados con promedio de 0.874 kg/día. En el experimento 2 el aumento de peso para los cerdos en la etapa de crecimiento fue en promedio de 0.892 kg/día, y para los cerdos en la etapa de finalización 0.957 kg/día.

La diferencia entre estos aumentos de peso y los del presente trabajo, puede ser debida a que Harper et al. (1997) en el experimento 1 utilizaron cerdos con pesos de 18.6 a 51.7 kg para la etapa de crecimiento y de 51.7 a 108.8 kg en el período de finalización. En el experimento 2 trabajaron con animales de 29.5 a 70.3 kg en la etapa de crecimiento y de 70.3 a 106.6 kg en la etapa de finalización.

El promedio general de aumento de peso se incrementó ( $P < 0.01$ ) desde la semana 1 (0.768 kg/día) hasta la semana 3 (1.051 kg/día), cuando los animales registraron un peso promedio de 71.9 kg. Posteriormente, el promedio general de aumento de peso se redujo tendencialmente ( $P > 0.05$ ) durante las semanas 4 y 5 hasta un valor de 0.950 kg/día (Figura 6).

Durante la semana 1, el aumento de peso de los tratamientos 1, 3 y 4 osciló numéricamente ( $P>0.05$ ) entre 0.648 y 0.795 kg/día, mientras que los animales asignados al tratamiento 2 registraron un aumento de peso de 0.924 kg/día ( $P>0.05$ ). En la semana 2 el aumento de peso de los animales asignados a los tratamientos 1 y 2 fue de 0.729 y 0.776 kg/día; para los tratamientos 3 y 4 se calcularon los aumentos de peso de 0.924 y 0.905 kg/día. Debido a altos coeficientes de variación (19.3-26.1%; Apéndice A3) entre los valores individuales, originados por aumentos de peso calculados en un rango de valores extremos entre 0.540 y 1.260 kg/día, no se encontraron diferencias estadísticas significativas ( $P>0.05$ ) entre tratamientos ni entre bloques (Figura 6).

Los aumentos de peso de los cerdos asignados al tratamiento 1 en la semana 3 fueron de 0.924 kg/día, y con ello, menores ( $P<0.01$ ) a los del tratamiento 2 (1.176 kg/día). Los tratamientos 3 y 4 tuvieron aumentos de peso intermedios (Figura 6).

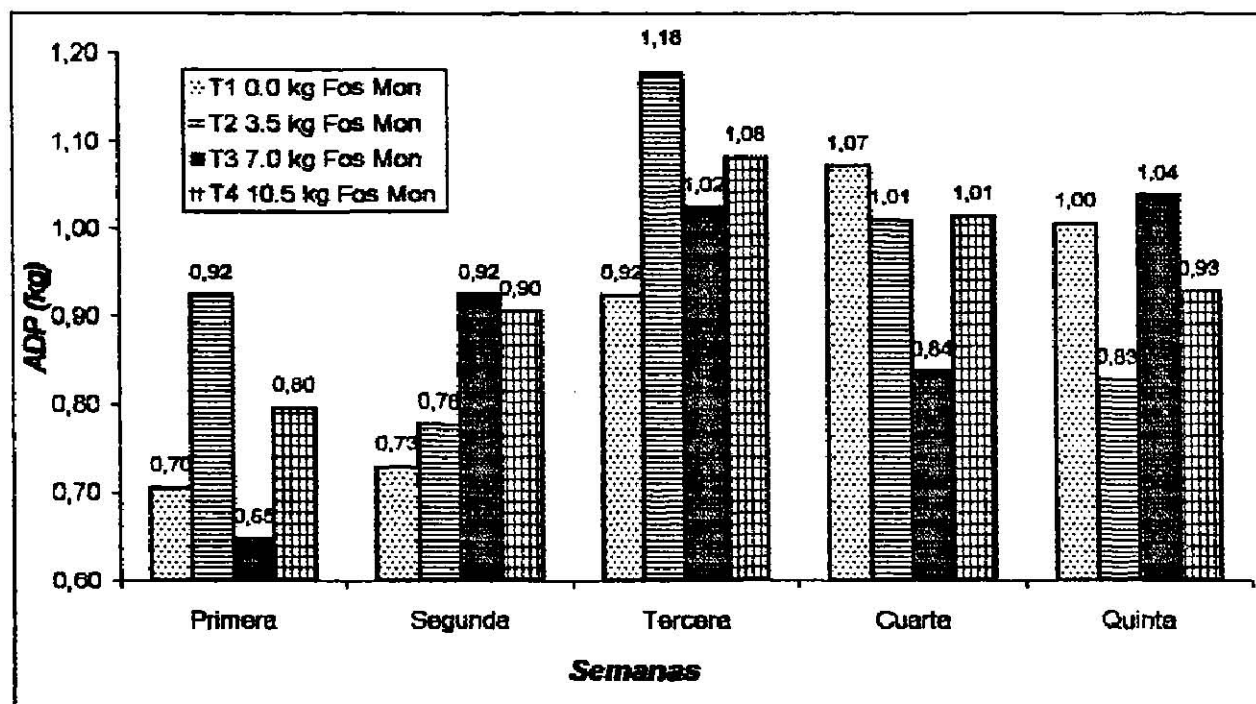


Figura 6.- Promedios semanales de aumento diario de peso de cerdos en desarrollo (53 a 86 kg), alimentados con dietas adicionadas con fitasa y diferentes cantidades de fosfato monocálcico.

Durante la semana 4 solo los animales del tratamiento 3 no registraron un aumento de peso superior a 1 kg. En esta semana no se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos ni entre bloques. Durante la semana 5 el aumento de peso para los tratamientos 2 y 4 fue de 0.829 y 0.929 kg/día respectivamente, mientras que los animales de los tratamientos 1 y 3 registraron aumentos de peso ligeramente superiores a 1 kg,

sin encontrarse diferencia significativa ( $P>0.05$ ) entre los tratamientos ni entre bloques (Figura 6).

#### **4.4 Consumo de alimento**

El promedio general del consumo de alimento de los cuatro tratamientos durante las cinco semanas de observación fue de 3.05 kg/día. González (2000) obtuvo un consumo de alimento general de 3.44 kg/día, para cerdos de entre 68 y 94 kg de peso.

El promedio de consumo de alimento durante el experimento fue de 3.26 kg/día para el tratamiento 4. Los tratamientos 2 y 3 tuvieron un consumo promedio de 3.13 y 3.02 kg/día respectivamente, mientras que el menor consumo ( $P<0.01$ ) correspondió al tratamiento 1, con 2.81 kg/día (Figura 7; Apéndice A4).



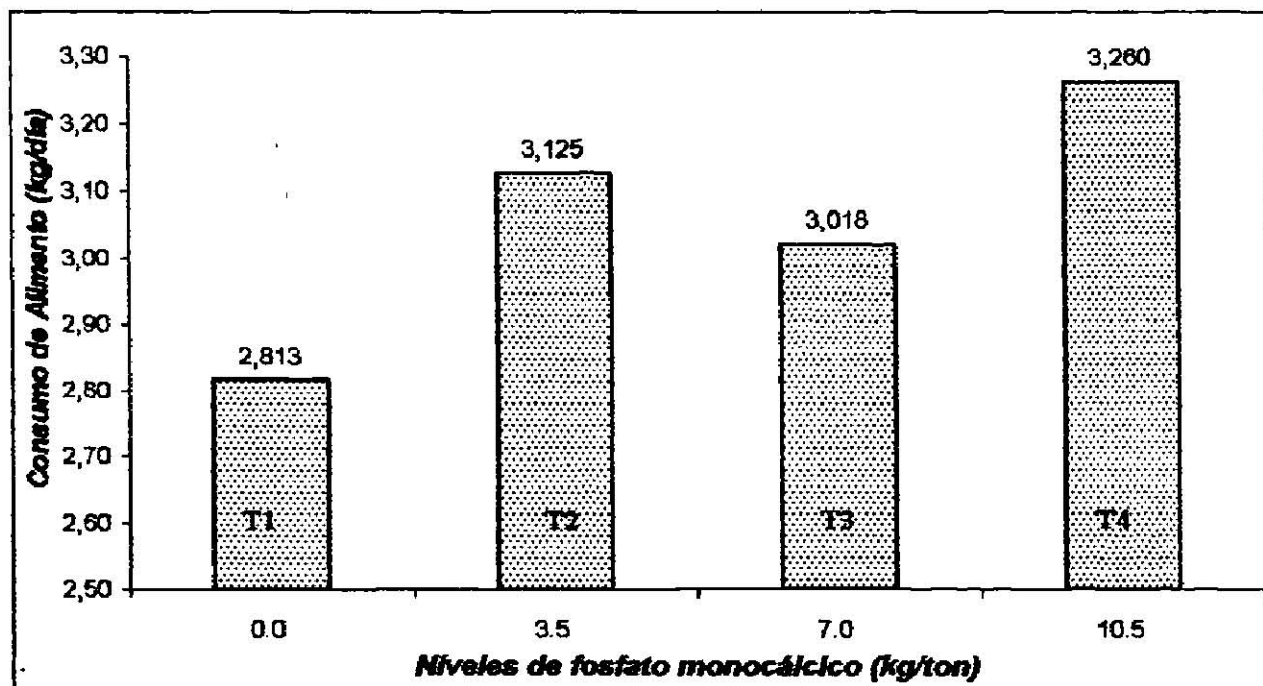


Figura 7.- Consumo diario de alimento de cerdos en desarrollo (53 a 86 kg), alimentados con dietas adicionadas con fitasa y diferentes cantidades de fosfato monocalcico.

Considerando los cuatro tratamientos durante las cinco semanas, se observó el consumo mínimo ( $P < 0.01$ ) en la segunda semana (2.83 kg/día), mientras que el consumo máximo ( $P < 0.01$ ) se presentó en la cuarta semana (3.22 kg/día) (Figura 8; Apéndice A4).

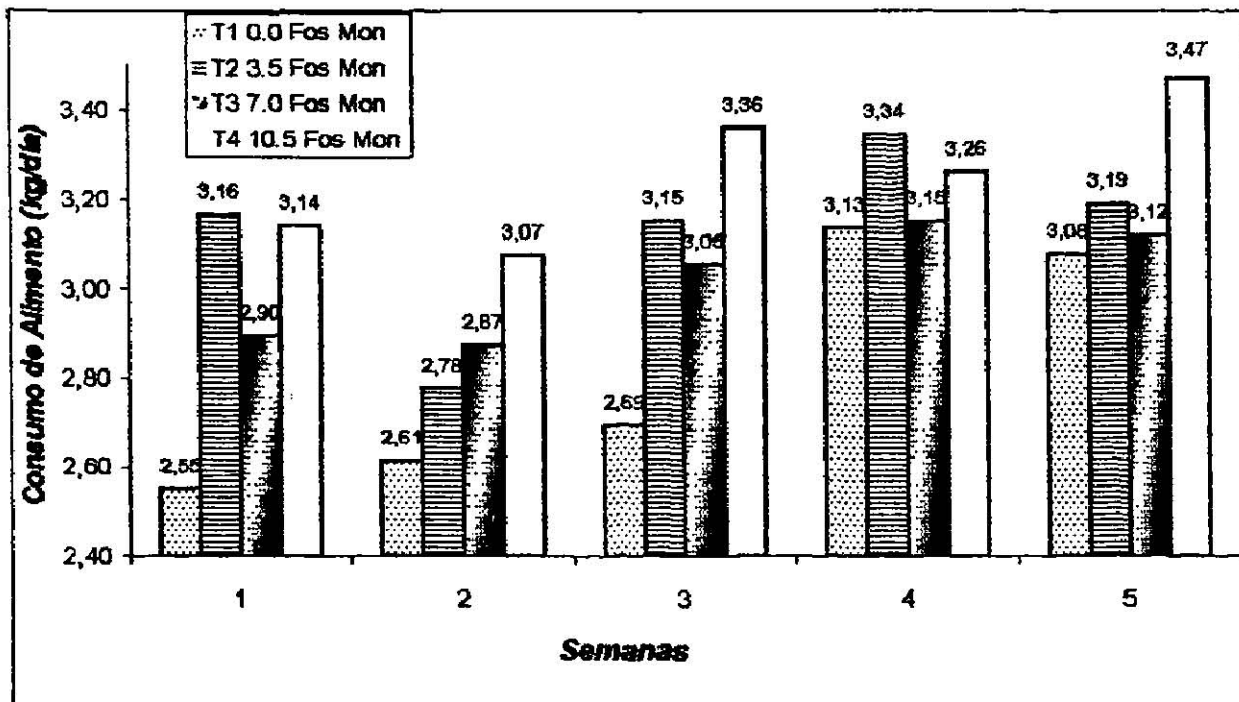


Figura 8.- Promedios semanales de consumo de alimento de cerdos en desarrollo (53 a 86 kg), alimentados con dietas adicionadas con fitasa y diferentes cantidades de fosfato monocálcico.

Durante las semanas 1 y 2 no hubo diferencias estadísticas ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos, con respecto al consumo de alimento. Durante la semana 3, sí hubo diferencia ( $P < 0.01$ ) entre los tratamientos, con 2.69, 3.15, 3.05 y 3.36 kg/día para los tratamientos 1, 2, 3 y 4 respectivamente. En el transcurso de las semanas 4 y 5 no se encontraron diferencias ( $P > 0.05$ ) entre los tratamientos.

En el período experimental el consumo mínimo de alimento se observó indistintamente ( $P>0.05$ ) entre las semanas 1 y 2 con valores de 2.55, 2.78, 2.87 y 3.07 kg/día, respectivamente para los tratamientos 1, 2, 3 y 4.

El consumo máximo de alimento se registró en la cuarta semana para los tratamientos 1, 2 y 3 con valores de 3.13, 3.34 y 3.15 kg/día. Para el tratamiento 4 el consumo máximo se obtuvo en la quinta semana con 3.47 kg/día, sin registrarse diferencia ( $P>0.05$ ) entre los tratamientos.

#### **4.5 Conversión alimenticia**

La conversión alimenticia promedio general del experimento fue de 3.65:1. Es notorio que al trabajar con animales de mayor peso en la etapa de crecimiento-finalización, la conversión alimenticia tiende a ser menos eficiente. Un ejemplo de ello se tiene al comparar los datos de la presente investigación con los de González (2000), que registró una conversión alimenticia de 3.71:1.

El promedio por tratamientos de la conversión alimenticia durante el experimento varió entre valores de 3.48, para el

tratamiento 1, y 3.93:1, para el tratamiento 3, sin haber diferencia significativa entre tratamientos ( $P>0.05$ ) (Figura 9; Apéndice A5).

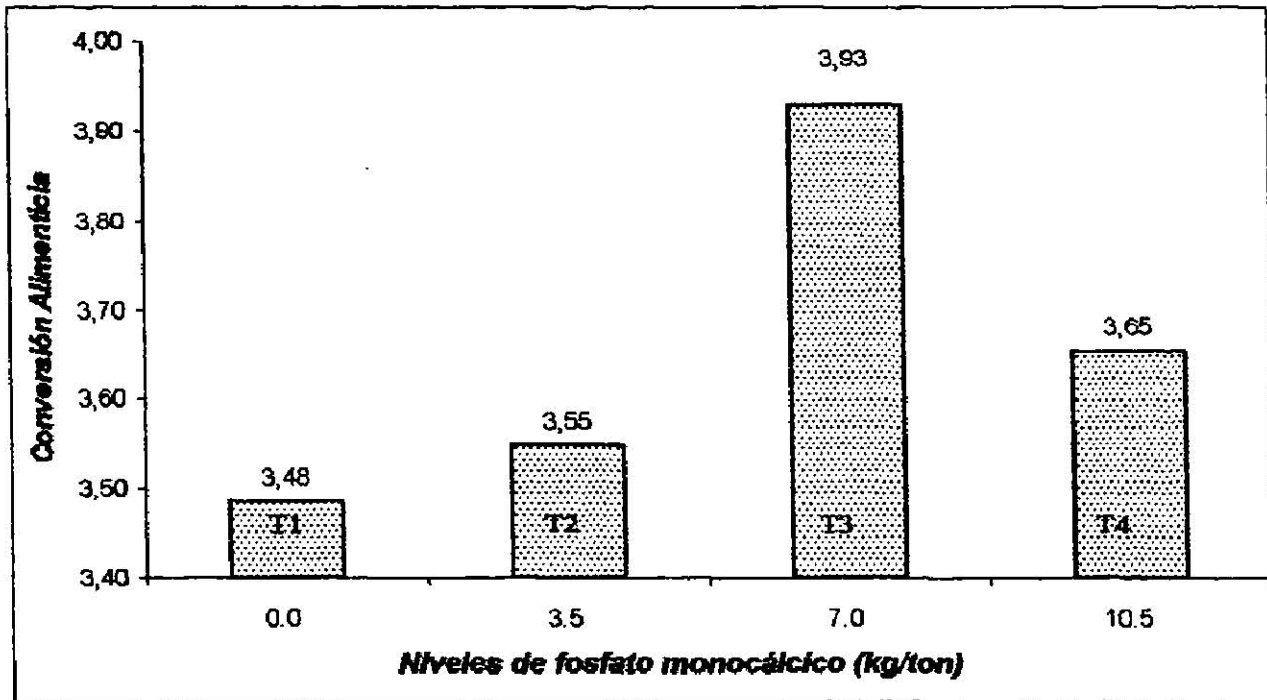


Figura 9.- Conversión alimenticia (kg de alimento/kg ADP) de cerdos en desarrollo (53 a 86 kg), alimentados con dietas adicionadas con fitasa y diferentes cantidades de fosfato monocálcico.

En resultados obtenidos por Ruiz (2002), la variación de la conversión alimenticia entre tratamientos fue de 3.85 a 4.28:1. La diferencia entre la conversión de ambos trabajos, puede ser

debida a la diferencia de pesos de los cerdos de la investigación de Ruiz (66-100 kg) y los de la presente (53-86 kg).

Los valores calculados promedios semanalmente para esta variable fueron de 4.73, 3.53, 2.95, 3.50 y 3.56 kg de alimento/kg de ADP para la primera, segunda, tercera, cuarta y quinta semana respectivamente. Los datos estadísticos muestran que solo hubo diferencia ( $P < 0.01$ ) de la semana 1 sobre las demás (Figura 10; Apéndice A5).

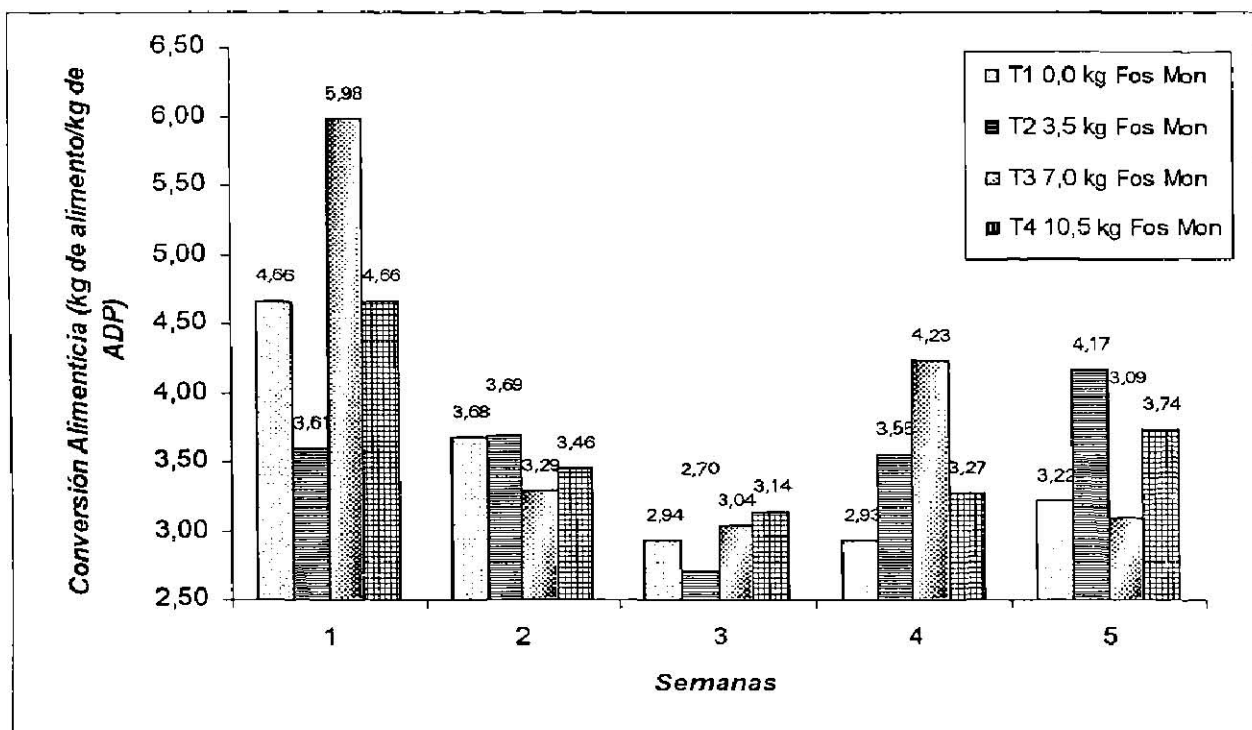


Figura 10.- Promedios semanales de conversión alimenticia de cerdos en desarrollo (53 a 86 kg), alimentados con dietas adicionadas con fitasa y diferentes niveles de fosfato monocálcico.

Durante la primer semana, los tratamientos 1 y 4 registraron conversiones de 4.66, mientras que el tratamiento 2 obtuvo la mejor conversión con 3.61. La conversión menos eficiente fué la del tratamiento 3 con 5.98:1, pero no hubo diferencia estadística ( $P>0.05$ ) entre tratamientos durante esta primer semana (Figura 10: Apéndice A5).

En la segunda semana los tratamientos 1 y 2 tuvieron conversiones de 3.68 y 3.69:1 respectivamente. La mejor conversión en esta semana correspondió al tratamiento 3 con 3.29:1 y la conversión menos eficiente fue para el tratamiento 4, con 3.46:1. No se registró diferencia ( $P>0.05$ ) durante esta semana.

Para la tercer semana la conversión alimenticia, fué 2.70 y 2.94:1 respectivamente para los T2 y T1, en cuanto que para el T3 y T4 fué de 3.04 y 3.14:1, sin haber diferencia ( $P>0.05$ ) entre los tratamientos.

Durante la cuarta semana la mejor conversión fue para el T1 con 2.93:1, seguida de los tratamientos 4, 2 y 3 con valores de 3.27, 3.55 y 4.23:1 respectivamente, sin haber diferencia estadística ( $P>0.05$ ). Finalmente, para la quinta semana se

obtuvo la mejor conversión para el T3 (3.09:1), registrando los tratamientos 1, 4 y 2 los valores de 3.22, 3.74 y 4.17:1 respectivamente, sin haber diferencia estadística ( $P>0.05$ ) entre los tratamientos.

#### 4.6 Ingestión de fósforo

La ingestión de fósforo general durante el experimento fue de 14.0 g/día, correspondiendo valores de 7.9, 13.7, 15.2 y 19.3 g/día para los tratamientos 1, 2, 3 y 4, respectivamente, ( $P<0.01$ ) (Figura 11; Apéndice A7) (Cuadro 3).

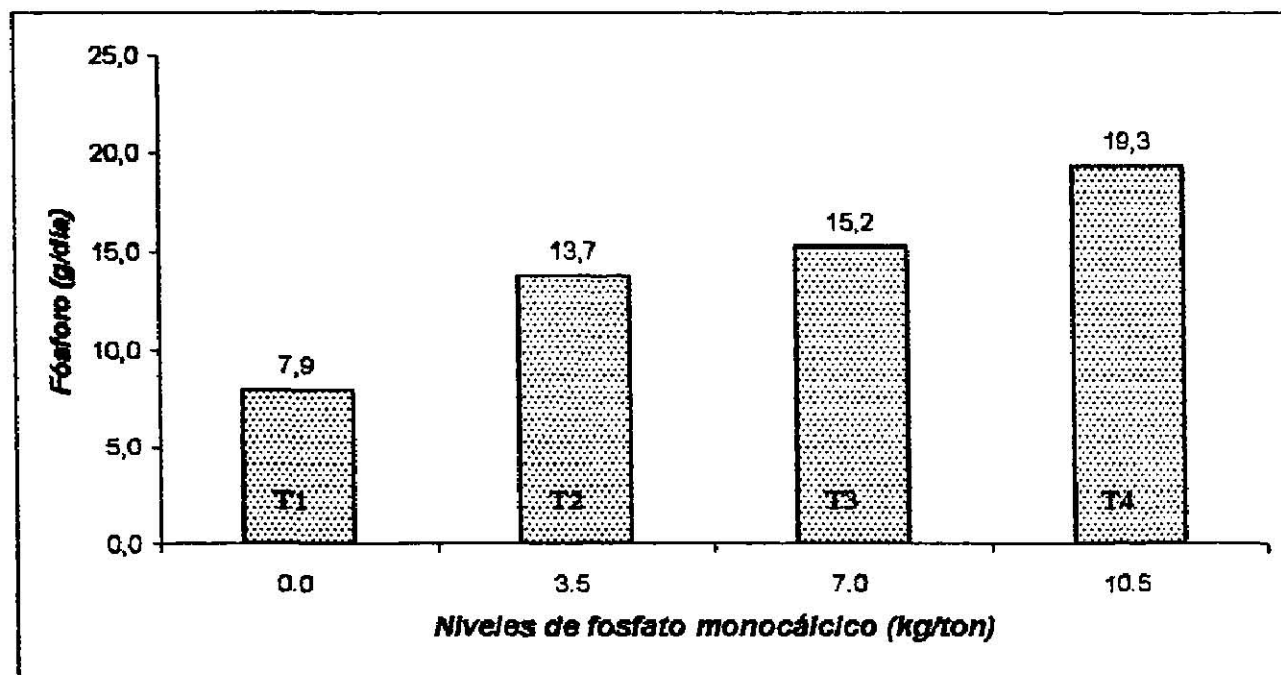


Figura 11.- Fósforo consumido en cerdos en desarrollo (53 a 86 kg de peso), alimentados con dietas adicionadas con fitasa y diferentes cantidades de fosfato monocálcico.

Ruiz (2002) llevó a cabo una investigación en donde la ingestión de P fue de 12.5 y 19.8 g/día para tratamientos equivalentes al 2 y 4 del presente trabajo, respectivamente.

Han et al. (1997) aplicaron tratamientos equivalentes al 1 y 4 del presente trabajo y reportaron ingestión de 6.9 y 9.9 g de P/día, en cerdos de 50 kg de peso. Harper et al. (1997) alimentaron cerdos en finalización (70-107 kg de peso), con dietas equivalentes a los tratamientos 1 y 2 del presente trabajo, y reportaron consumos de 11.5 y 14.8 g de P/día.

#### **4.7 Excreción fecal de fósforo**

La cantidad de fósforo excretada en promedio por los tratamientos fue de 6.8 g/día, siendo de 5.2 g/día para el tratamiento 1 con la menor cantidad de fósforo excretado, seguido de los tratamientos 2, 3 y 4 con 6.5, 7.1 y 8.4 g/día. La diferencia entre tratamientos tuvo una probabilidad de significancia de  $P = 0.188$  (Figura 12; Apéndice A8) (Cuadro 3). Ruiz (2002), reportó que cerdos alimentados con dietas sin adición de fosfato monocálcico registraron una excreción de 6.5 g/día, mientras que animales alimentados con una dieta que



incluía fosfato monocálcico excretaron 30% más P/día (8.7 g/día;  $P < 0.05$ ).

Los resultados obtenidos por Harper et al. (1997) al aplicar tratamientos equivalentes al T1 y T2 del presente trabajo, concuerdan con las observaciones de un aumento de 25% de excreción fecal de P observada en el tratamiento 2 respecto al tratamiento 1.

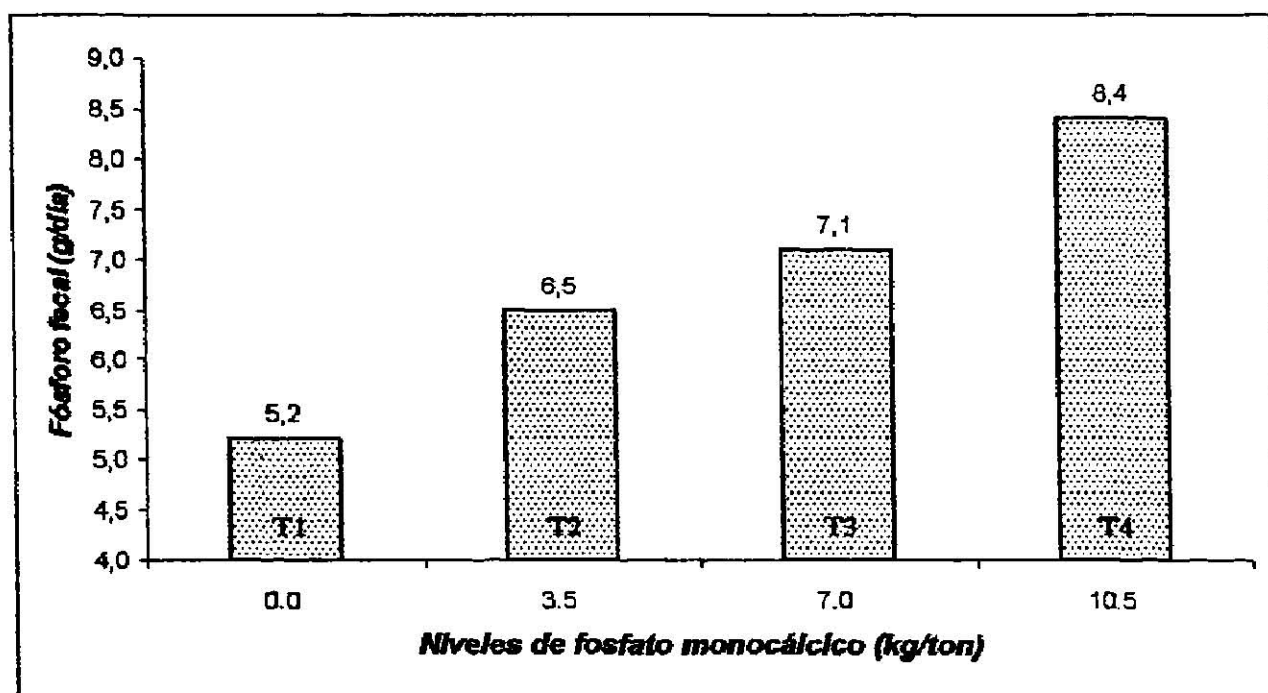


Figura 12.- Excreción fecal de fósforo (g/día) de cerdos en desarrollo (53 a 86 kg de peso), alimentados con dietas adicionadas con fitasa y diferentes cantidades de fosfato monocálcico.

En el presente trabajo, la excreción de P fue 60% mayor para el tratamiento 4 que para el tratamiento 1 (Figura 12; Apéndice A8). Han et al. (1997) reportaron un aumento de 30% en la excreción fecal de P de cerdos de 50 kg alimentados con dietas equivalentes a las del T4 del presente trabajo, en relación a la excreción de P medida en el grupo de animales alimentados con una dieta equivalente al T1.

#### **4.8 Digestibilidad de fósforo**

La digestibilidad de fósforo, medida en la fase final del experimento, fue de 49%. Los cerdos asignados a los tratamientos 2, 3 y 4 tuvieron una digestibilidad de 52.7, 54.0 y 55.4% respectivamente, en tanto que el tratamiento 1 tuvo una digestibilidad de 33.9% ( $P=0.054$ ) (Figura 13; Apéndice A9) (Cuadro3).

En forma similar a los resultados de la Figura 13, Han et al. (1997) reportaron digestibilidad de P de 56% para una dieta equivalente al T4 del presente estudio. Sin embargo para la dieta equivalente al tratamiento 1 (33.9% digestibilidad de P en el presente estudio) obtuvieron una digestibilidad de P de 67%.

Lo anterior resultó de las cantidades diferentes de consumo y excreción de fósforo, tal y como se discutió en los capítulos 4.6 y 4.7.

Para el rango de pesos de 70 – 107 kg, Harper et al. (1997) reportaron 45% de digestibilidad de P, que representa un valor intermedio a los obtenidos en los tratamientos 1 y 2 del presente trabajo (Figura 13).

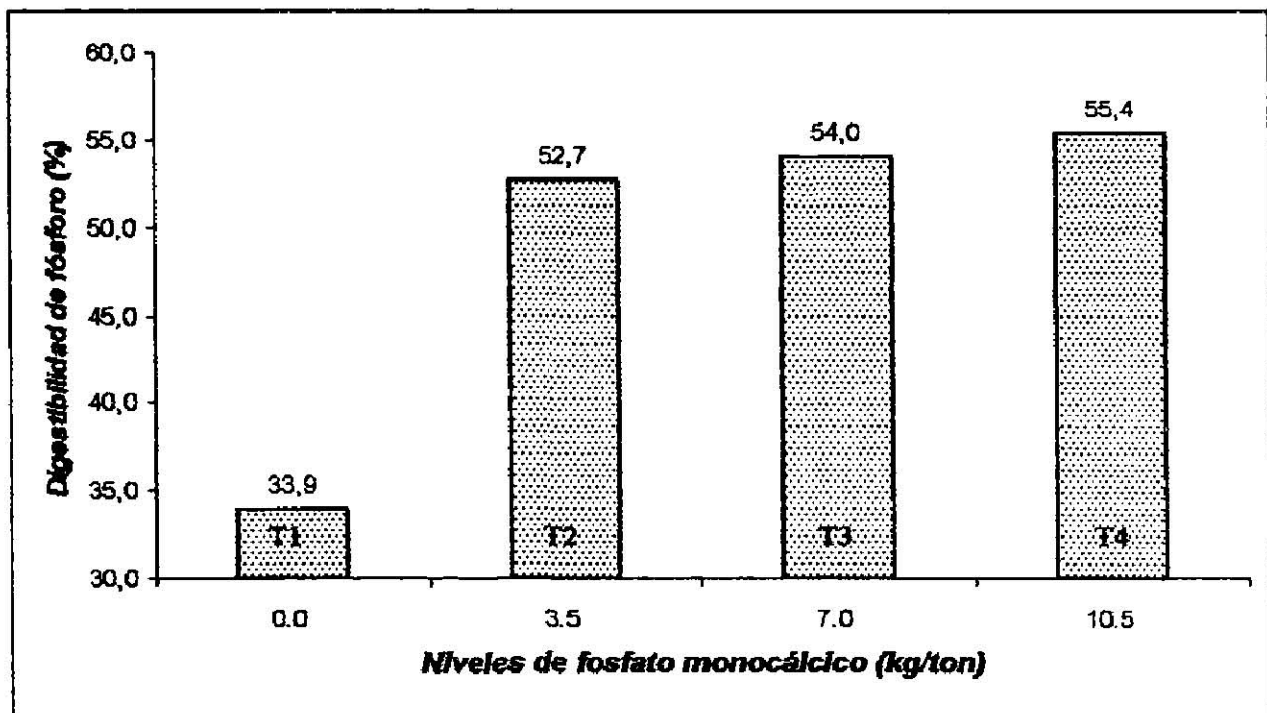


Figura 13.- Digestibilidad de fósforo (%) de cerdos en desarrollo (53 a 86 kg), alimentados con dietas adicionadas con fitasa y diferentes cantidades de fosfato monocalcico.

Ruiz (2002), obtuvo una digestibilidad más favorable (56.1%; P=0.144) para la dieta con adición de P (0.521% P total) que para la dieta sin adición de P (0.324% P total) ni fitasa, en la cual fue de 45.7%. La adición de 750 FTU de fitasa/kg de alimento a ésta última dieta, mejoró la digestibilidad de P en 9%, hasta alcanzar 50%.

**Cuadro 3.- Ingestión, excreción fecal y digestibilidad del fósforo de cerdos en desarrollo (53-86 kg de peso), alimentados con dietas adicionadas con fitasa y diferentes cantidades de fosfato monocálcico.**

	Fosfato monocálcico en la dieta (kg/ton)				
	T1 = 0.0*	T2 = 3.5*	T3 = 7.0*	T4 = 10.5	Prom.Gral.
<b>Ingestión de fósforo (g/día)</b>					
Prom.	7.9	13.7	15.2	19.3	14.0
S.D.	0.7	1.6	1.5	3.4	4.7
C.V.	9.4	11.9	10.1	17.8	33.6
<b>Excreción fecal de fósforo (g/día)</b>					
Prom.	5.2	6.5	7.1	8.4	6.8
S.D.	0.9	2.3	1.9	3.2	1.3
C.V.	17.3	35.4	26.8	38.1	19.5
<b>Digestibilidad de fósforo (%)</b>					
Prom.	33.9	52.7	54.0	55.4	49.0
S.D.	7.6	17.0	8.4	16.2	10.1
C.V.	22.3	32.3	15.6	29.3	20.7

\* Se aplicó la enzima fitasa a razón de 0.300 kg/ton(750 FTU/kg).

#### 4.9 Beneficio económico

El beneficio económico, calculado como la diferencia ingreso-costo de alimentación, fue, en promedio general, de \$207/cerdo. Para los tratamientos 1, 2, 3 y 4, la diferencia ingreso-costo fue de 217, 205, 199 y \$207/cerdo respectivamente, observándose una mejor ganancia en el tratamiento 1, y la menor ganancia para el tratamiento 3, aunque la diferencia entre los tratamientos no alcanzó niveles de significancia ( $P>0.05$ ) (Figura 14; A6). Ruiz (2002) registró un beneficio económico de 154, 178 y \$192/cerdo para los tratamientos 1,2 y 3 de su investigación, respectivamente.

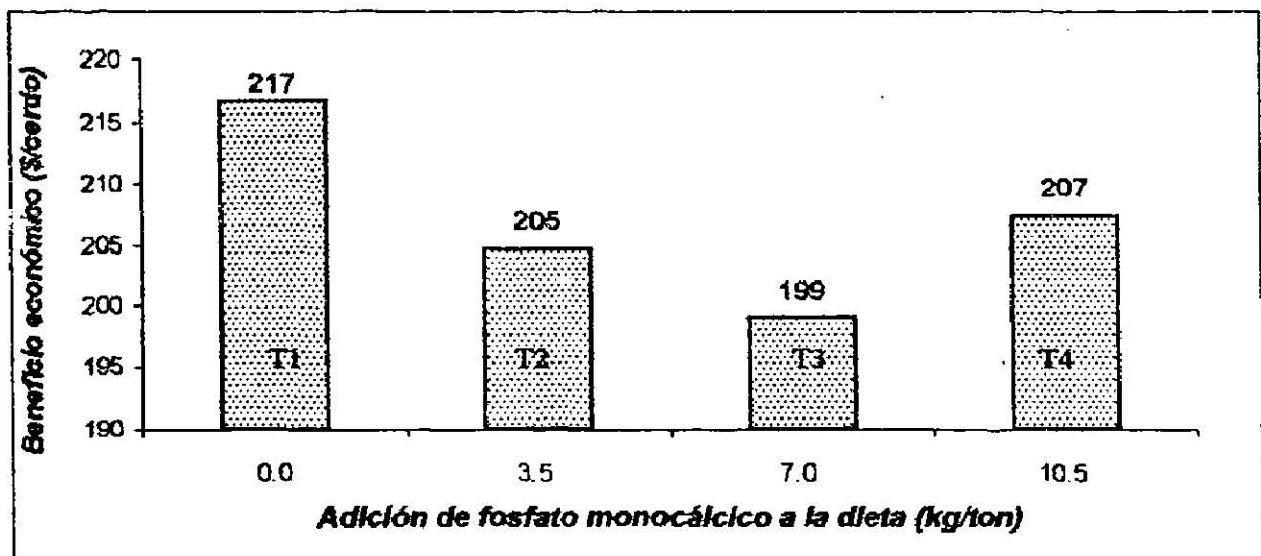


Figura 14.- Beneficio económico (\$) de cerdos en desarrollo (53 a 86 kg), alimentados con dietas adicionadas con fitasa y diferentes cantidades de fosfato monocalcico.

## 5. Conclusiones y recomendaciones

Los resultados obtenidos bajo las condiciones en que se realizó el presente experimento, permiten concluir lo siguiente:

Los cerdos en desarrollo (53-86 kg de peso) alimentados con dieta basal de sorgo-soya sin suplementación con fosfato monocálcico, fueron inferiores en aumento de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia, a los animales alimentados con adición de fosfato monocálcico a la dieta.

La excreción fecal de P se incrementó un 25% en cerdos alimentados con la dieta adicionada con 3.5 kg de fosfato monocálcico/ton (6.5 g/día) (T2), respecto a la dieta sin adición de fosfato (5.2 g/día). La adición en la dieta de 7.0 kg de fosfato monocálcico/ton, incrementó la excreción fecal de P en 9% adicional. Los cerdos alimentados con el tratamiento 4, excretaron 61% más fósforo que los del tratamiento 1.

Una adición limitada de fosfato monocálcico (3.5 kg/ton) a dietas suplementadas con 750 FTU de enzima fitasa, tal como se probó en el tratamiento 2, permitió obtener datos productivos

similares a los del tratamiento 4, con la ventaja de reducir 22% las descargas de fósforo al ambiente.

Se recomienda realizar experimentos similares al presente, para estudiar y evaluar la adición de diferentes combinaciones de fitasa y fosfato monocálcico, en diversas etapas (destete-finalización) de vida del cerdo.

## 6. Resumen

El presente trabajo se llevó a cabo en los meses de febrero-abril del 2001, con el objetivo de evaluar el desarrollo de cerdos entre 53 y 86 kg de peso al ser alimentados con dietas adicionadas con diferentes cantidades de fosfato monocálcico y de enzima fitasa. Se utilizaron 24 cerdos cruzados de las razas Yorkshire, Hampshire y Duroc, con un peso inicial de 53.4 kg, alojados en jaulas individuales de 1.50 x 2.20m con piso de concreto, con alimentación a libre acceso mediante comederos de tolva individuales, y ofrecimiento de agua por medio de un bebedero de tipo chupón.

Los animales fueron asignados aleatoriamente a las cuatro dietas experimentales, en las cuales variaban los niveles de fosfato monocálcico adicionados en cantidades de 0.0, 3.5, 7.0 y 10.5 kg/ton. La enzima fitasa Ronozyme<sup>TM</sup> P (CT) (Roche, Francia), fue aplicada en los tratamientos 1, 2 y 3 en la misma cantidad (0.300kg/ton = 750FTU/kg), mientras que al tratamiento 4 no se le adicionó.

Los pesos finales de los tratamientos 1, 2, 3 y 4 fueron 82.5, 86.7, 84.7 y 87.9 kg (P=0.354). El aumento diario de peso



para los 35 días del experimento fue de 0.890, 0.940, 0.890 y 0.940 kg/día, respectivamente ( $P>0.05$ ). El consumo de alimento promedio, durante 35 días fue de 2.81, 3.13, 3.02 y 3.26 kg/día para los tratamientos 1, 2, 3 y 4, respectivamente ( $P<0.01$ ). La conversión alimenticia promedio general para el rango de pesos estudiados (53-86 kg) fue de 3.48, 3.55, 3.93 y 3.65:1 kg de alimento/kg de ADP ( $P>0.05$ ).

La ingestión de fósforo (g/día) promedio para los tratamientos 1, 2, 3 y 4 fue de 7.9, 13.7, 15.2 y 19.3 ( $P<0.01$ ). La excreción fecal de P (g/día) promedio para los cuatro tratamientos probados fue de 5.2, 6.5, 7.1 y 8.4 ( $P=0.188$ ). La digestibilidad de fósforo (%) promedio para los tratamientos 1, 2, 3 y 4 fue de 33.9, 52.7, 54.0 y 55.4 ( $P=0.054$ ). El beneficio económico calculado como la diferencia ingreso-costos (\$/animal) para los cuatro tratamientos probados fue de 217, 205, 199 y 207 ( $P>0.05$ ).

Los resultados obtenidos en este trabajo indican que una adición limitada de fosfato monocálcico (3.5 kg/ton) a dietas suplementadas con 750 FTU de enzima fitasa/kg, tal y como se probó en el tratamiento 2, permitió obtener datos productivos

similares a los del tratamiento 4, con la ventaja de reducir 22% las descargas de fósforo al ambiente.

## 7. Bibliografía

AOAC, 1990. Oficial Methods of Analysis (15th Ed.)

Asociation of Oficial Analytical Chemists, Arlington, VA.

Cervantes, M. R. 2000. Utilización de enzimas exógenas en dietas para cerdos. VIII Congreso Internacional de Nutrición Animal. Instituto de Ciencias Agrícolas Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali. pp 3-21.

Cromwell, G. L., R. D. Coffey, H. J. Monegue, and J. H. Randolph. 1995a. Efficacy of low-activity, microbial phytase in improving the bioavailability of phosphorus in corn-soybean meal diets for pigs. *J. Anim. Sci.* 73:449-456.

Cromwell, G. L., R. D. Coffey, G. R. Parker, H. J. Monegue, and J. H. Randolph. 1995b. Efficacy of a recombinant-derived phytase in improving the bioavailability of phosphorus in corn-soybean meal diets for pigs. *J. Anim. Sci.* 73:2000-2008.

Cromwell, G. L., T. S. Stahly, R. D. Coffey, H. J. Monegue, and J. H. Randolph. 1993. Efficacy of phytase in improving the

- bioavailability of phosphorus in soybean meal and corn-soybean meal diets for pigs. *J. Anim. Sci.* 71:1831-1840.
- Eeckhout, W., M. de Paepe, N. Warnants, and H. Bekaert. 1995. An estimation of the minimal P requirements for growing-finishing pigs, as influenced by the Ca level of the diet. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 52:29-40.
- González, C. J. F. 2000. Parámetros productivos de cerdos en finalización alimentados con tres niveles de energía y de aminoácidos manteniendo estable la relación Lisina:Energía. Tesis Licenciatura FAUANL Marín, N.L. México. p. 61.
- Grandhi, R. R. 2001. Effect of supplemental phytase and ideal dietary aminoacid ratios in covered and hulless-barley-based diets on pig performance and excretion of phosphorus and nitrogen in manure. *Can. J. Anim. Sci.* 81:115-124.
- Han, Y. M., F. Yang, A. G. Zhou, E. R. Miller, P. K. Ku, M. G. Hogberg, and X. G. Lei. 1997. Supplemental phytases of microbial and cereal sources improve dietary phytate phosphorus utilization by pigs from weaning through finishing. *J. Anim. Sci.* 75:1017-1025.

- Harper, A. F., E. T. Kornegay, and T. C. Schell. 1997. Phytase supplementation of low-phosphorus growing-finishing pig diets improves performance, phosphorus digestibility, and bone mineralization and reduces phosphorus excretion. *J. Anim. Sci.* 75:3174-3186.
- INEGI. 1983. Nomenclatura de Nuevo León. Dirección de Geografía del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México. ISBN 968-809-275-6. 211 pp.
- IOM, 1999. Reference intakes for calcium, phosphorus, magnesium, vitamin D and fluoride dietary. National Academy Press. Institute of Medicine (IOM) ([www.nap.edu](http://www.nap.edu)) 448 pp.
- Jonbloed, A. W., Z. Mroz, and P. A. Kemme. 1992. The effect of supplementary *Aspergillus niger* phytase in diets for pigs on concentration and apparent digestibility of dry matter, total phosphorus, and phytic acid in different sections of the alimentary tract. *J. Anim. Sci.* 70:1159-1168.
- Kemme, P. A., A. W. Jongbloed, Z. Mroz, and A. C. Beynen. 1997. The efficacy of *Aspergillus niger* phytase in rendering phytate phosphorus available for absorption in

- pigs is influenced by pig physiological status. *J. Anim. Sci.* 75:2129-2138.
- Lemunyon, J. L., and R. G. Gilbert. 1993. The concept and need for a phosphorus assessment tool. *J. Prod. Agric.* 6:483-486.
- Liu, J., D. W. Bollinger, D. R. Ledoux, and T. L. Veum. 1998. Lowering the dietary calcium to total phosphorus ratio increases phosphorus utilization in low-phosphorus corn-soybean meal diets supplemented with microbial phytase for growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 76:808-813.
- Liu, J., D. W. Bollinger, D. R. Ledoux, and T. L. Veum. 2000. Effects of dietary calcium-phosphorus ratios on apparent absorption of calcium and phosphorus in the small intestine, cecum, and colon of pigs. *J. Anim. Sci.* 78:106-109.
- López, C. M. 2001. Utilización de fitasa microbiana en nutrición porcina. *Cerdos-Swine / año 4. No. 47.* pp. 52-56.
- Mc. Dowell, L. R. 1992. Minerals in animal and human nutrition. Academic Press, USA. 524 pp.

- Miller, G. T. Jr. 1994. Ecología y medio ambiente. Rodríguez, I. de L. y Velásquez, V. G. (traductores). 7ª ed. Iberoamérica, México. 867 pp.
- Molina, J. R. 1999. ¿De veras sabe aprovechar la cerdaza en la alimentación animal y bajar contaminación?. Desarrollo Porcícola. Marzo-Abril, No. 51. pp 30-33.
- Mroz, Z., A. W. Jongbloed, and P. A. Kemme. 1994. Apparent digestibility and retention of nutrients bound to phytate complexes as influenced by microbial phytase and feeding regimen in pigs. J. Anim. Sci. 72:126-132.
- NRC, 1998. Nutrient requirements of swine. 10<sup>th</sup> edition. National Academy Press. ([www.nap.edu](http://www.nap.edu)) 210 pp.
- Odum, E. P. 1999. Ecología: El vínculo entre las ciencias naturales y las sociales. Marrón, A. M. A. (traductor), 413ª reimpresión. Editorial CECSA. México. 295pp.
- Phillips, J., y C. Forsberg. 2001. El “enviropig” de la Universidad de Guelph. Cerdos-Swine / año 4. No. 47. pp 4-4.
- Qian, H., E. T. Kornegay, y D. E. Jr. Conner. 1996. Adverse effects of wide calcium:phosphorus ratios on supplemental

- phytase efficacy for weanling pigs fed two dietary phosphorus levels. *J. Anim. Sci.* 74:1288-1297.
- Ruiz, CH. E. A. 2002. Comportamiento productivo e impacto ambiental de credos en crecimiento al adicionar enzima fitasa a la ración de finalización. Tesis Licenciatura FAUANL Marín, N.L. México. P. 63.
- Sharpley, A. N., S. C. Chapra, R. Wedepohl, J. T. Sims, T. C. Daniel, and K. R. Reddy. 1994. Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: issues and options. *J. Environ. Qual.* 23:437-451.
- Sims, J. T. 1993. Environmental soil testing for phosphorus. *J. Prod. Agric.* 6:501-507.
- Spencer, J.D., G. L. Allee, and T. E. Sauber. 2000. Phosphorus bioavailability and digestibility of normal and genetically modified low-phytate corn for pigs. *J. Anim. Sci.* 78:675-681.
- Sutton, D. B. 1999. Fundamentos de ecología. Velasco, F. J. G. (traductor), 21 reimpresión, Editorial Limusa. México. 293 pp.
- Villee, C. A. 1996. Biología. Zarza, R. E. (traductor.), 8ª ed. Editorial Mc Graw-Hill. 944pp.



Yi, Z., E. T. Kornegay, V. Ravindran, M. D. Lindemann, and J. H. Wilson. 1996. Effectiveness of Natuphos (phytase in improving the bioavailabilities of phosphorus and other nutrients in soybean meal-based semipurified diets for young pigs. *J. Anim. Sci.* 74:1601-1611.

## **8. Apéndice**

**A1.- Temperaturas y humedades mínima, máxima y promedio (°C) y (%) durante el experimento,**

Segunda Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Prom.Sem.
Temp.Máx. (°C)	30.9	28.6	23.6	25.9	30.9	30.4	25.7	28.0
Temp.Mín. (°C)	9.0	15.6	17.3	19.2	18.5	15.6	16.6	16.0
Hum.Máx. (%)	69	67	78	79	69	84	85	0.8
Hum.Mín. (%)	20	30	59	56	38	21	57	0.4
Prom.T° (°C)	20.0	22.1	20.5	22.6	24.7	23.0	21.2	22.0
Prom.H° (%)	45	49	69	68	54	53	71	58

Tercera Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Prom.Sem.
Temp.Máx. (°C)	31.7	35.3	32.2	32.2	33.8	25.1	20.2	30.1
Temp.Mín. (°C)	17.6	17.3	19.7	8.5	11.6	15.7	14.6	15.0
Hum.Máx.(%)	88	63	76	75	54	99	99	0.8
Hum.Mín. (%)	28	16	20	16	16	29	87	0.3
Prom.T° (°C)	24.7	26.3	26.0	20.4	22.7	20.4	17.4	22.5
Prom.H° (%)	58	40	48	46	35	64	93	55

Cuarta Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Prom.Sem.
Temp.Máx. (°C)	22.0	20.2	28.1	29.7	31.6	33.6	25.1	27.2
Temp.Mín. (°C)	11.6	7.5	8.4	12.1	13.1	19.8	16.1	12.7
Hum.Máx. (%)	96	93	80	82	85	76	78	0.8
Hum.Mín. (%)	65	49	22	22	29	28	58	0.4
Prom.T° (°C)	16.8	13.9	18.3	20.9	22.4	26.7	20.6	19.9
Prom.H° (%)	81	71	51	52	57	52	68	62

Quinta Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Prom.Sem.
Temp.Máx. (°C)	16.9	20.5	24.1	25.3	34.5	31.0	32.1	26.3
Temp.Mín. (°C)	13.9	14.6	15.1	15.0	16.1	19.4	20.8	16.4
Hum.Máx. (%)	99	99	97	91	90	89	96	0.9
Hum.Mín. (%)	76	88	68	63	18	38	44	0.6
Prom.T° (°C)	15.4	17.6	19.6	20.2	25.3	25.2	26.5	21.4
Prom.H° (%)	88	94	83	77	54	64	70	75

Prom.Gral. T° (°C)								21.5
Prom.Gral. H° (%)								62

**A2.- Peso vivo (kg) medido durante el experimento.**

Trat.	Repet.	Sexo	Corral	P. Inicial	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 5
1	1	H	31	50.6	58.2	63.0	69.8	78.0	81.8
1	2	MC	36	50.2	55.4	62.0	68.6	75.4	80.8
1	3	MC	40	53.6	55.0	59.2	65.4	72.6	80.8
1	4	MC	52	48.8	51.2	55.4	61.6	68.6	75.4
1	5	MC	53	42.8	48.8	54.8	60.0	68.2	76.8
1	6	MC	57	62.8	69.6	74.4	82.2	89.8	99.2
			Prom.	51.4	56.4	61.5	67.9	75.4	82.5
			S.D.	6.6	7.3	7.2	8.0	8.0	8.6
			C.V.	12.9	12.9	11.7	11.7	10.6	10.4

2	1	MC	32	50.4	59.0	64.6	73.2	79.2	86.2
2	2	MC	35	52.2	57.0	62.2	70.4	74.4	79.6
2	3	MC	42	54.8	61.2	65.0	73.4	83.6	86.6
2	4	H	50	53.2	57.8	65.2	71.4	78.6	83.8
2	5	MC	56	46.4	52.2	56.2	64.6	72.4	80.2
2	6	MC	58	65.0	73.6	80.2	89.8	97.0	103.6
			Prom.	53.7	60.1	65.6	73.8	80.9	86.7
			S.D.	6.3	7.2	7.9	8.5	8.8	8.8
			C.V.	11.7	12.0	12.1	11.5	10.9	10.2

3	1	MC	34	49.4	54.2	62.2	69.2	73.2	81.2
3	2	MC	37	52.4	53.4	60.8	69.8	73.2	82.6
3	3	MC	41	54.2	62.0	68.4	76.2	84.6	92.6
3	4	MC	49	58.0	62.8	67.2	74.4	84.2	91.2
3	5	MC	55	46.8	51.8	57.2	62.8	68.2	74.4
3	6	H	59	59.8	63.6	70.8	77.2	81.4	86.4
			Prom.	53.4	58.0	64.4	71.6	77.5	84.7
			S.D.	5.0	5.4	5.2	5.4	6.8	6.8
			C.V.	9.3	9.3	8.2	7.6	8.8	8.0

4	1	MC	33	50.8	56.4	61.6	68.6	74.2	80.2
4	2	MC	38	55.2	60.0	66.8	75.4	82.6	88.2
4	3	MC	39	58.2	63.2	70.0	78.4	84.6	91.2
4	4	H	51	56.0	58.2	63.6	69.2	74.0	80.4
4	5	MC	54	47.8	52.8	57.8	65.2	75.2	82.0
4	6	MC	60	61.2	72.0	80.8	89.2	98.0	105.6
			Prom.	54.9	60.4	66.8	74.3	81.4	87.9
			S.D.	4.9	6.7	8.1	8.7	9.3	9.7
			C.V.	8.9	11.0	12.1	11.8	11.4	11.1

Prom.G.	53.4	58.7	64.6	71.9	78.8	85.5
S.D.	5.5	6.5	7.0	7.7	8.1	8.2
C.V.	10.3	11.0	10.8	10.7	10.3	9.7

**A3.- Aumento diario de peso (kg/día) medido durante el experimento.**

A.D.P.	Prim. Sem.	Seg. Sem.	Terc. Sem.	Cuar. Sem.	Quin. Sem.	Prom.Gral.
T1R1	1.086	0.686	0.971	1.171	0.543	0.891
T1R2	0.743	0.943	0.943	0.971	0.771	0.874
T1R3	0.200	0.600	0.886	1.029	1.171	0.777
T1R4	0.371	0.600	0.886	1.000	0.971	0.766
T1R5	0.857	0.857	0.743	1.171	1.229	0.971
T1R6	0.971	0.686	1.114	1.086	1.343	1.040
Prom.	0.705	0.729	0.924	1.071	1.005	0.887
S.D.	0.348	0.141	0.122	0.086	0.304	0.107
C.V.	49.4	19.3	13.2	8.0	30.2	12.1

T2R1	1.229	0.800	1.229	0.857	1.000	1.023
T2R2	0.686	0.743	1.171	0.571	0.743	0.783
T2R3	0.914	0.543	1.200	1.457	0.429	0.909
T2R4	0.657	1.057	0.886	1.029	0.743	0.874
T2R5	0.829	0.571	1.200	1.114	1.114	0.966
T2R6	1.229	0.943	1.371	1.029	0.943	1.103
Prom.	0.924	0.776	1.176	1.010	0.829	0.943
S.D.	0.254	0.202	0.159	0.292	0.244	0.113
C.V.	27.5	26.1	13.5	29.0	29.5	12.0

T3R1	0.686	1.143	1.000	0.571	1.143	0.909
T3R2	0.143	1.057	1.286	0.486	1.343	0.863
T3R3	1.114	0.914	1.114	1.200	1.143	1.097
T3R4	0.686	0.629	1.029	1.400	1.000	0.949
T3R5	0.714	0.771	0.800	0.771	0.886	0.789
T3R6	0.543	1.029	0.914	0.600	0.714	0.760
Prom.	0.648	0.924	1.024	0.838	1.038	0.894
S.D.	0.313	0.193	0.167	0.375	0.221	0.122
C.V.	48.4	20.9	16.3	44.7	21.3	13.6

T4R1	0.800	0.743	1.000	0.800	0.857	0.840
T4R2	0.686	0.971	1.229	1.029	0.800	0.943
T4R3	0.714	0.971	1.200	0.886	0.943	0.943
T4R4	0.314	0.771	0.800	0.686	0.914	0.697
T4R5	0.714	0.714	1.057	1.429	0.971	0.977
T4R6	1.543	1.257	1.200	1.257	1.086	1.269
Prom.	0.795	0.905	1.081	1.014	0.929	0.945
S.D.	0.404	0.207	0.165	0.283	0.099	0.189
C.V.	50.8	22.8	15.3	27.9	10.6	20.0

Prom.Gral.	0.768	0.833	1.051	0.983	0.950	0.917
S.D.	0.329	0.194	0.172	0.276	0.229	0.130
C.V.	42.9	23.3	16.3	28.1	24.1	14.2

**A4.- Consumo de alimento (kg/día) medido durante el experimento.**

Cons. de Alim.	Prim. Sem.	Seg. Sem.	Terc. Sem.	Cuar. Sem.	Quin. Sem.	Prom.Gral.
T1R1	2.783	2.946	2.860	3.436	2.226	2.850
T1R2	2.883	2.796	2.913	2.799	2.917	2.861
T1R3	1.970	2.299	2.381	2.973	3.244	2.573
T1R4	2.059	2.461	2.561	3.099	3.176	2.671
T1R5	2.576	2.341	2.510	3.031	3.426	2.777
T1R6	3.039	2.837	2.924	3.464	3.473	3.147
Prom.	2.551	2.613	2.692	3.134	3.077	2.813
S.D.	0.443	0.279	0.236	0.265	0.462	0.197
C.V.	17.4	10.7	8.8	8.4	15.0	7.0

T2R1	3.339	2.964	2.981	3.437	3.207	3.186
T2R2	3.794	2.864	3.177	3.070	3.094	3.200
T2R3	3.083	2.213	2.891	3.489	2.957	2.927
T2R4	2.439	2.764	2.919	2.889	2.704	2.743
T2R5	2.997	2.466	3.111	3.173	3.036	2.957
T2R6	3.337	3.386	3.827	4.006	4.139	3.739
Prom.	3.165	2.776	3.151	3.344	3.190	3.125
S.D.	0.451	0.407	0.349	0.395	0.495	0.346
C.V.	14.3	14.7	11.1	11.8	15.5	11.1

T3R1	2.561	2.841	2.851	3.020	3.034	2.862
T3R2	2.066	2.376	3.353	2.790	3.184	2.754
T3R3	3.257	2.973	3.217	3.506	3.493	3.289
T3R4	3.420	3.123	2.624	3.516	3.021	3.141
T3R5	3.213	3.184	3.243	3.203	3.339	3.236
T3R6	2.856	2.749	3.021	2.860	2.640	2.825
Prom.	2.895	2.874	3.052	3.149	3.119	3.018
S.D.	0.512	0.294	0.275	0.314	0.296	0.231
C.V.	17.7	10.2	9.0	10.0	9.5	7.7

T4R1	3.023	2.516	2.640	2.431	3.100	2.742
T4R2	3.236	3.341	3.459	3.469	3.616	3.424
T4R3	3.374	3.649	3.751	3.753	3.493	3.604
T4R4	2.544	2.580	3.050	2.216	2.624	2.603
T4R5	3.100	2.917	3.439	3.636	3.617	3.342
T4R6	3.574	3.440	3.804	4.054	4.359	3.846
Prom.	3.142	3.074	3.357	3.260	3.468	3.260
S.D.	0.353	0.472	0.443	0.753	0.581	0.489
C.V.	11.2	15.4	13.2	23.1	16.7	15.0

Prom.Gral.	2.938	2.834	3.063	3.222	3.213	3.054
S.D.	0.484	0.386	0.398	0.449	0.465	0.355
C.V.	16.5	13.6	13.0	13.9	14.5	11.6

**A5.- Conversión alimenticia (kg de alimento/kg de ADP) medida durante el experimento.**

Conv. Alim.	Prim. Sem.	Seg. Sem.	Terc. Sem.	Cuar. Sem.	Quin. Sem.	Prom.Gral.
T1R1	2.56	4.30	2.94	2.93	4.10	3.37
T1R2	3.88	2.97	3.09	2.88	3.78	3.32
T1R3	9.85	3.83	2.69	2.89	2.77	4.41
T1R4	5.54	4.10	2.89	3.10	3.27	3.78
T1R5	3.01	2.73	3.38	2.59	2.79	2.90
T1R6	3.13	4.14	2.62	3.19	2.59	3.13
Prom.	4.66	3.68	2.94	2.93	3.22	3.48
S.D.	2.75	0.66	0.28	0.21	0.61	0.54
C.V.	59.0	18.0	9.4	7.1	19.1	15.4

T2R1	2.72	3.71	2.43	4.01	3.21	3.21
T2R2	5.53	3.86	2.71	5.37	4.17	4.33
T2R3	3.37	4.08	2.41	2.39	6.90	3.83
T2R4	3.71	2.61	3.30	2.81	3.64	3.21
T2R5	3.62	4.32	2.59	2.85	2.72	3.22
T2R6	2.72	3.59	2.79	3.89	4.39	3.48
Prom.	3.61	3.69	2.70	3.55	4.17	3.55
S.D.	1.04	0.59	0.33	1.10	1.47	0.45
C.V.	28.7	15.9	12.1	30.9	35.2	12.8

T3R1	3.74	2.49	2.85	5.29	2.66	3.40
T3R2	14.46	2.25	2.61	5.74	2.37	5.49
T3R3	2.92	3.25	2.89	2.92	3.06	3.01
T3R4	4.99	4.97	2.55	2.51	3.02	3.61
T3R5	4.50	4.13	4.05	4.15	3.77	4.12
T3R6	5.26	2.67	3.30	4.77	3.70	3.94
Prom.	5.98	3.29	3.04	4.23	3.09	3.93
S.D.	4.24	1.06	0.56	1.29	0.56	0.86
C.V.	71.0	32.2	18.5	30.6	17.9	21.9

T4R1	3.78	3.39	2.64	3.04	3.62	3.29
T4R2	4.72	3.44	2.82	3.37	4.52	3.77
T4R3	4.72	3.76	3.13	4.24	3.70	3.91
T4R4	8.10	3.34	3.81	3.23	2.87	4.27
T4R5	4.34	4.08	3.25	2.55	3.72	3.59
T4R6	2.32	2.74	3.17	3.23	4.01	3.09
Prom.	4.66	3.46	3.14	3.27	3.74	3.65
S.D.	1.91	0.45	0.41	0.55	0.54	0.43
C.V.	40.9	13.1	12.9	16.9	14.4	11.7

Prom.Gral.	4.73	3.53	2.95	3.50	3.56	3.65
S.D.	2.70	0.70	0.41	0.97	0.94	0.58
C.V.	57.2	19.8	14.0	27.7	26.3	15.9

**A6.- Beneficio económico (\$/cerdo) calculado al final del experimento.**

Difer. Ing - Costo (\$/cerdo)	T1R1	T1R2	T1R3	T1R4	T1R5	T1R6	Prom.	S.D.	C.V.
	206	194	205	195	249	251	217	26	12

Difer. Ing - Costo (\$/cerdo)	T2R1	T2R2	T2R3	T2R4	T2R5	T2R6	Prom.	S.D.	C.V.
	227	106	196	217	223	259	205	53	26

Difer. Ing - Costo (\$/cerdo)	T3R1	T3R2	T3R3	T3R4	T3R5	T3R6	Prom.	S.D.	C.V.
	223	233	261	192	139	147	199	49	25

Difer. Ing - Costo (\$/cerdo)	T4R1	T4R2	T4R3	T4R4	T4R5	T4R6	Prom.	S.D.	C.V.
	172	201	194	141	223	314	207	59	29

Prom. Gral.	S.D.	C.V.
207	46	22

**A7.- Ingestión de fósforo por tratamientos (g/día) calculado al final del experimento.**

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Prom.	S.D.	C.V.
P. Cons. T1 (g/día)	8.6	7.0	7.4	7.7	8.7	**	7.9	0.7	9.5
P. Cons. T2 (g/día)	14.1	12.6	14.3	11.9	13.0	16.5	13.7	1.6	11.9
P. Cons. T3 (g/día)	14.6	13.5	17.0	17.0	15.5	13.8	15.2	1.5	10.1
P. Cons. T4 (g/día)	13.5	19.3	20.9	20.2	22.5	**	19.3	3.4	17.8

Prom.Gral.	S.D.	C.V.
14.1	4.4	31.4

\*\* No se consideraron por ser outlier (fuera de serie).



**A8.- Excreción fecal de fósforo por tratamientos (g/día) calculado al final del experimento.**

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Prom.	S.D.	C.V.
P.Exc. T1 (g/día)	5.4	4.7	4.3	5.1	6.7	**	5.2	0.9	17.5
P.Exc. T2 (g/día)	5.8	3.8	8.5	4.4	9.9	6.6	6.5	2.4	36.3
P.Exc. T3 (g/día)	7.1	5.8	9.2	9.5	6.0	4.9	7.1	1.9	26.7
P.Exc. T4 (g/día)	7.1	6.1	11.2	12.5	5.3	**	8.4	3.2	38.0

Prom. Gral.	S.D.	C.V.
6.8	2.4	34.6

**A9.- Digestibilidad de fósforo medida al final del experimento.**

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Prom.	S.D.	C.V.
Dig. de P. T1 (%)	37,6	32,5	42,6	34,5	22,2	**	33,9	7,6	22,3
Dig. de P. T2 (%)	58,8	69,8	40,7	62,7	24,1	60,2	52,7	17,0	32,3
Dig. de P. T3 (%)	51,1	57,3	45,8	43,9	61,4	64,6	54,0	8,4	15,6
Dig. de P. T4 (%)	47,6	68,2	46,1	38,3	76,6	**	55,4	16,2	29,3

Prom.Gral.	S.D.	C.V.
49,4	14,9	30,2

\*\* No se consideraron por ser outlier (fuera de serie).

**A10.- Equivalencias nutricionales de la enzima fitasa  
(Ronozyme TM P (CT), Roche) \***

Peso	kg	l
E. Metabolizable aves	Mcal/kg	133
Materia seca	%	99
Calcio	%	333
Fósforo disponible	%	333
Fósforo total	%	333

Mínima actividad de fitasa: 2500 FYT/g

Dosis: 500 – 1000 FYT/kg de alimento  
200 – 400 g/ton de alimento

\* Fuente: Folleto técnico Ronozyme <sup>TM</sup> P (CT), Roche. noviembre de 2000.



