

**VI Congreso de Nutrición Animal y
Producción Industrial de Alimentos Balanceados**

DISPONIBILIDAD DEL FÓSFORO Y SU IMPACTO EN PARÁMETROS ZOOTÉCNICOS PORCINOS

Ldo. F Javier Dupuy Arnau



CIAB

CÁMARA DE INDUSTRIALES DE ALIMENTOS BALANCEADOS



ÍNDICE

FÓSFORO EN LA NATURALEZA

FUNCIONES DEL FÓSFORO

HOMEOSTASIS DEL FÓSFORO

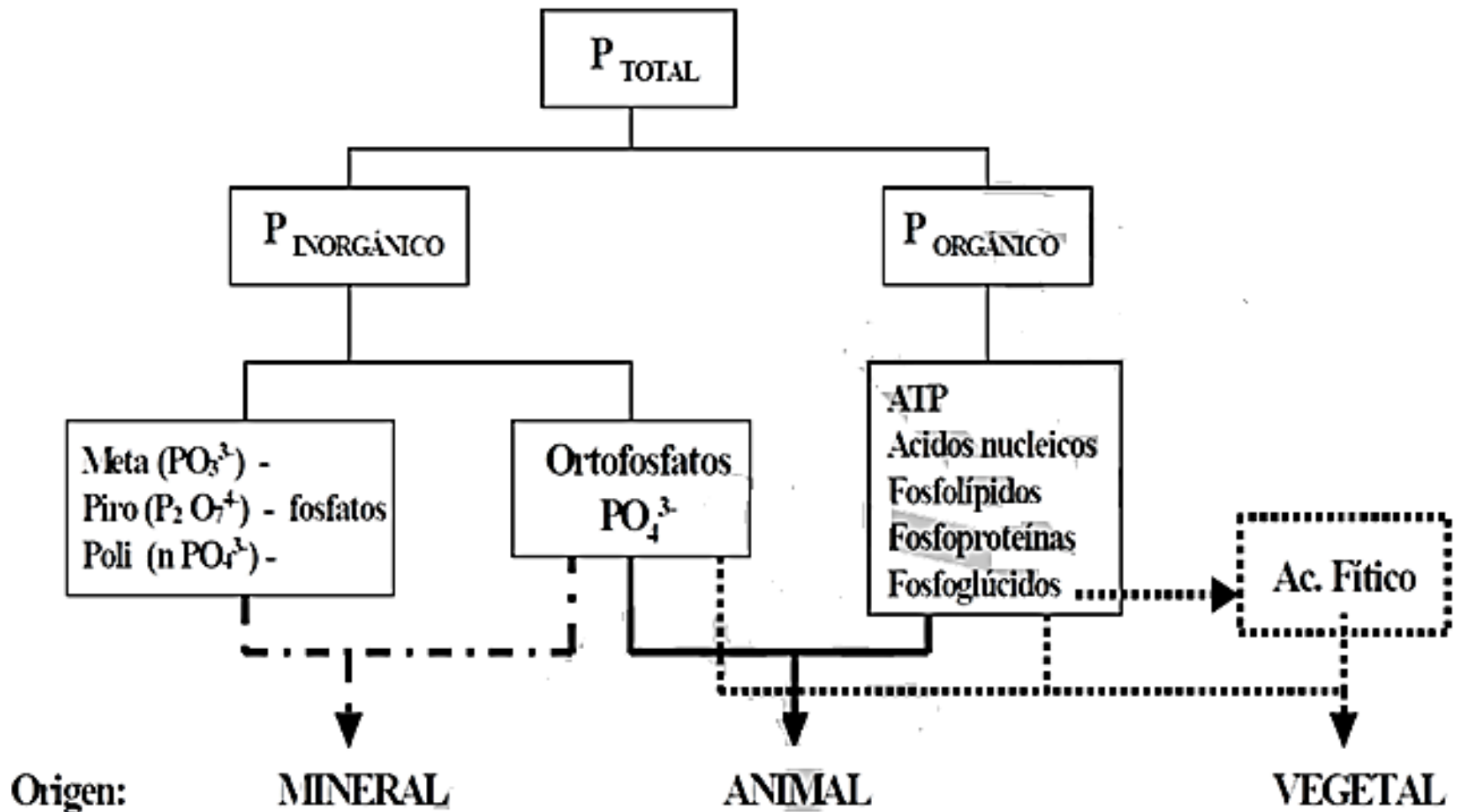
IMPACTO DE INGESTA DE FÓSFORO EN PARÁMETROS ZOOTÉCNICOS

VARIACIÓN DE DOSIS DE FÓSFORO CUANTITATIVA

VARIACIÓN DE CALIDAD DE PRESENTACIÓN DE FÓSFORO

FORMULACIÓN DE FOSFATOS. CRITERIOS DE SELECCIÓN

FÓSFORO EN LA NATURALEZA





FÓSFORO EN LOS ANIMALES

- ESTRUCTURA ÓSEA 75-85 %
- TEJIDOS BLANDOS 15-25%
 - ADN
 - ARN
 - ATP
 - FOSFOLÍPIDOS (FOSFOGLICÉRIDOS, FOSFOMIELINA)
 - COMPUESTOS ENERGÉTICOS
 - FOSFOENOLPIRUVATOS
 - 1,3 BIFOSFOGLICÉRIDO
 - CREATININA FOSFATO
 - PROTEÍNAS FOSFORILADAS
- FÓSFORO INORG. EN PLASMA <1% (3-8 mg/dl)



FUNCIONES DEL FÓSFORO

- APARATO LOCOMOTOR
 - FORMA PARTE DE LOS HUESOS QUE TAMBIÉN SIRVEN DE ALMACÉN
 - CREATININA FOSFATO SUMINISTRA ENERGÍA A MÚSCULOS
 - ESFINGOMIELINA FORMA PARTE DEL SISTEMA NERVIOSO QUE ACTÚA EN LOS MÚSCULOS
- SISTEMA ENZIMÁTICO
 - PARTICIPANDO EN LAS CODIFICACIONES ADN,ARN
 - ACTIVIDAD CATALÍTICA
- PIEZA FUNDAMENTAL EN EL SUMINISTRO DE UNIDADES ENERGÉTICAS ADP-ATP
- MANTENIMIENTO DE PRESIÓN OSMÓTICA Y TAMPÓN DE pH
- TRANSPORTE DE GRASAS
- MEMBRANA CELULAR (FOSFOLÍPIDOS)
- PROTEÍNAS FOSFORILADAS

**VI Congreso de Nutrición Animal y
Producción Industrial de Alimentos Balanceados**

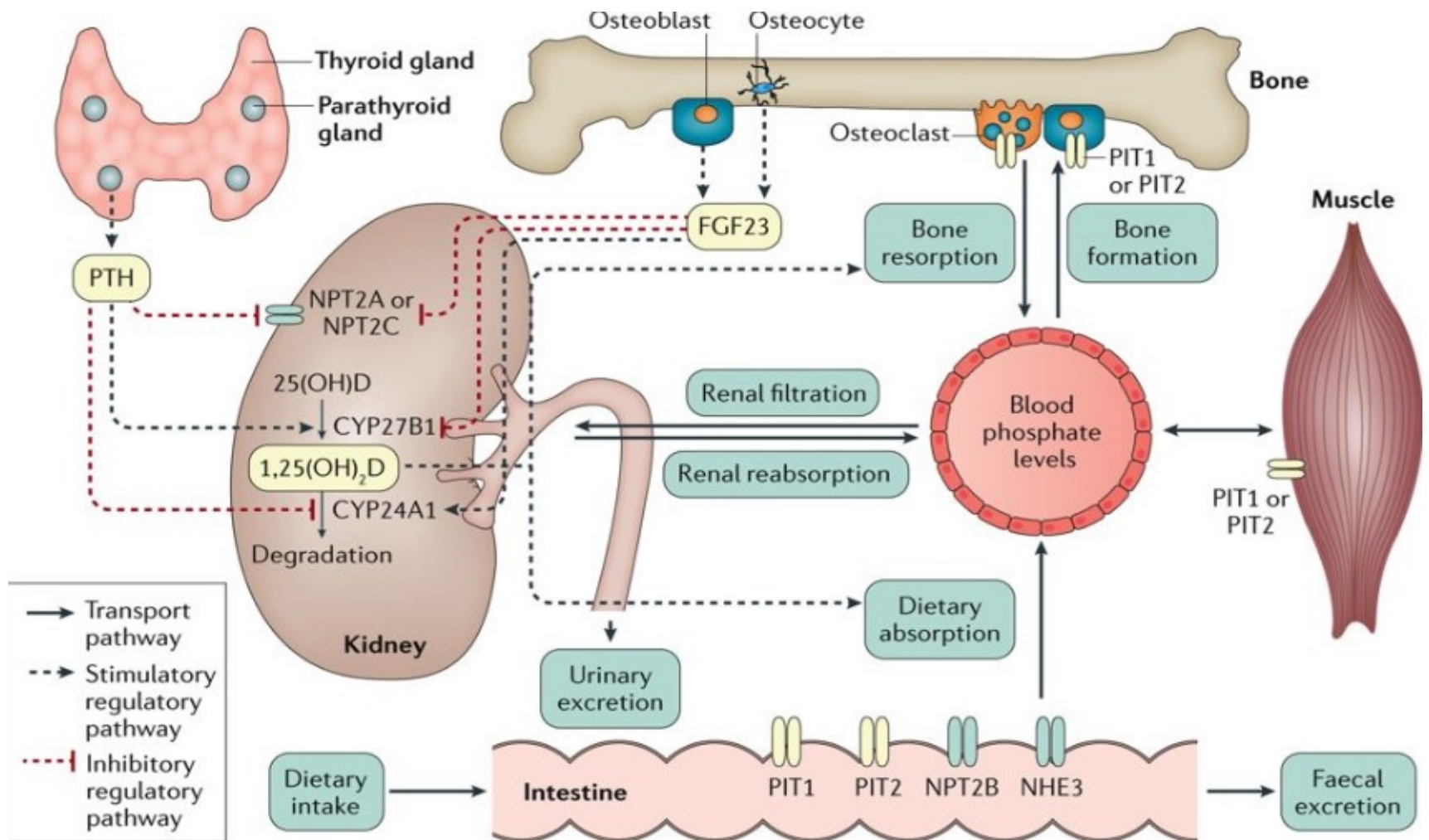
HOMEOSTASIS DEL FÓSFORO



CIAB

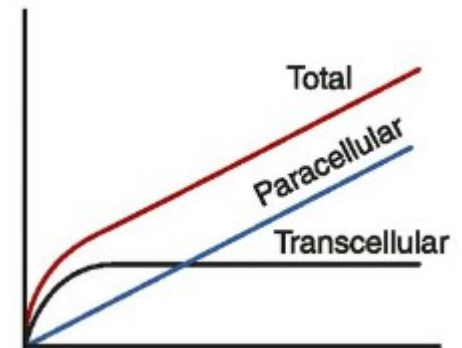
CÁMARA DE INDUSTRIALES DE ALIMENTOS BALANCEADOS

HOMEOSTASIS DEL FÓSFORO

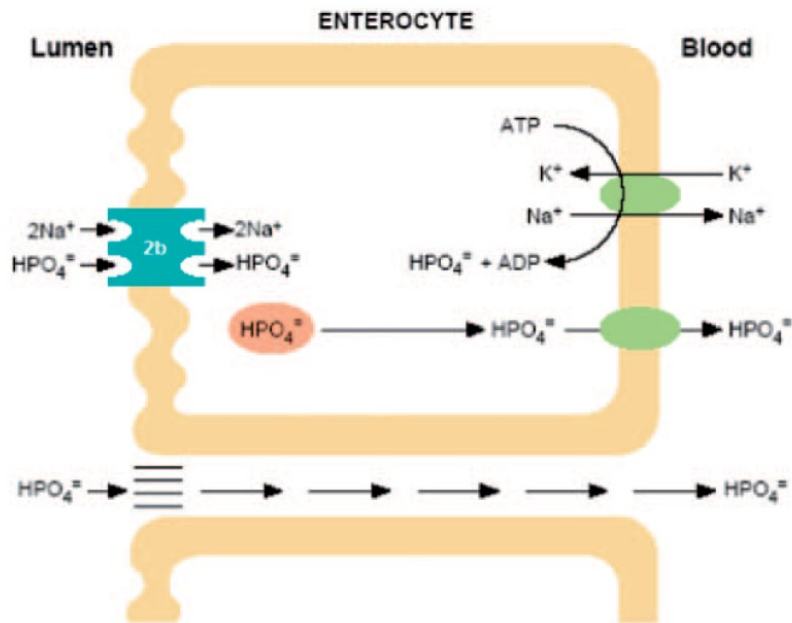


ABSORCIÓN DEL FÓSFORO

- SE ABSORBE MAYORITARIAMENTE EN INTESTINO DELGADO (DUODENO)
- MECANISMOS
 - ABSORCIÓN ACTIVA MEDIANTE COTRANSPORTADORES DEPENDIENTES DEL SODIO (TRANSCELULAR)
 - SE FAVORECE EN DIETAS BAJAS EN FÓSFORO
 - ABSORCIÓN PASIVA MEDIANTE PASO PARACELULAR ENTRE UNIONES DE CÉLULAS
 - ES PROPORCIONAL A LA CONCENTRACIÓN DE FOSFATOS EN EL LUMEN INTESTINAL



ABSORCIÓN ACTIVA



• COTRANSPORTADOR

– NPT2b (proteína expresada en enterocitos)

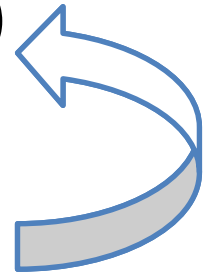
- Necesita 2 sodios para paso de fosfato monosustituido
- Energía de ATP/ADP de la bomba de potasio
- Muy afín al fosfato

– PiT1 y PiT2 (expresado en intestino)

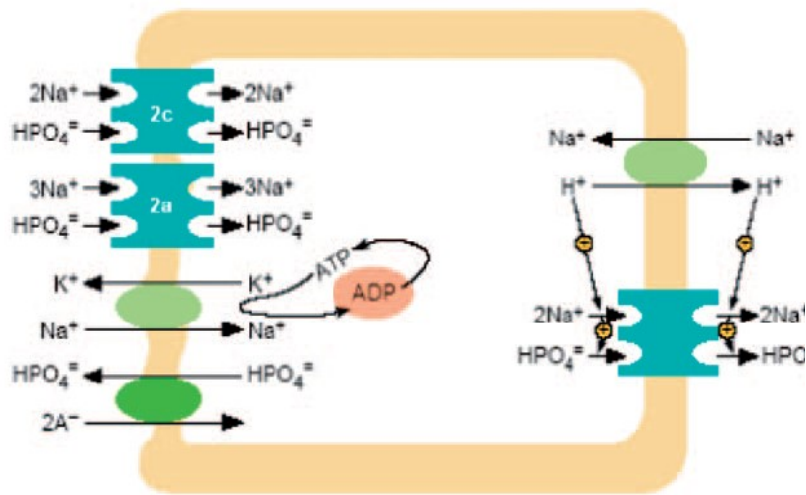
- En ratones se ha comprobado que no tiene actividad transportadora

FACTORES QUE AFECTAN ABSORCIÓN INTESTINAL

- ABSORCIÓN PASIVA
 - INGESTA DE FOSFATO EN DIETA
- ABSORCIÓN ACTIVA
 - INGESTA DE FOSFATO EN DIETA
 - 1,25 DIHIDROXICOLECALCIFEROL (CALCITRIOL)
 - INDUCE LA TRANSCRIPCIÓN DE *NPT2b*
 - HORMONA PARATIROIDEA
 - INDUCE 1 α HIDROXILASA (ENZIMA DE CALCITRIOL)
 - FOSFATONINAS
 - FGF23 (FACTOR DE CRECIMIENTO DE FIBROBLASTOS)
 - MEPE (MATRIX EXTRACELLULAR GLYCOPROTEINE)



METABOLISMO RENAL



- TÚBULOS PROXIMALES
- COTRANSPORTADORES
 - **70 % NPT2a** (mayor afinidad a P)
 - **30% NPT2c, PiT1, PiT2**
 - VELOCIDAD PASO
 - Nº TRANSPORTADORES
 - GRADIENTE DE SODIO GENERADO POR Na/K

FACTORES QUE AFECTAN EL METABOLISMO RENAL



- **CONSUMO DE FOSFATO EN DIETA**
 - SENSORES DE FOSFATO MANDAN AJUSTAR NIVELES DE NPT2a (INMEDIATO) Y RESTO DE TRANSPORTADORES
- **HORMONA PARATIROIDE**
 - DESACTIVA LOS TRANSPORTADORES EXISTENTES AUMENTANDO EXCRECIÓN Y REDUCIENDO FÓSFORO EN PLASMA
- **CALCITRIOL**
 - INDUCE EXPRESIÓN DE TRANSPORTADORES REDUCIENDO EXCRECIÓN Y AUMENTANDO FÓSFORO EN PLASMA
- **FOSFATONINAS. FGF23 (MEPE)**
 - BLOQUEAN EXPRESIÓN DE TRANSPORTADORES AUMENTAN EXCRECIÓN Y REDUCEN FÓSFORO EN PLASMA

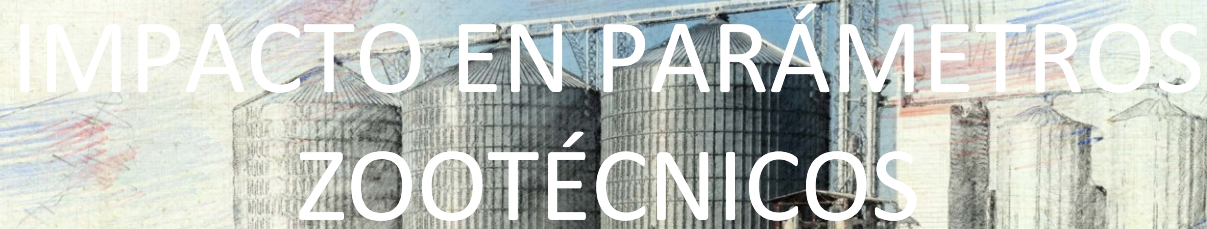


METABOLISMO ÓSEO

- EL HUESO ESTÁ EN PERMANENTE EQUILIBRIO FORMACIÓN/REABSORCIÓN DE FÓSFORO
- COTRANSPORTADORES
 - PiT1 Y PiT2
- HORMONA PARATIROIDE
 - AUMENTA DESTRUCCIÓN ÓSEA
- CALCITRIOL
 - REMODELACIÓN DE HUESOS
- CALCITONINA
 - REDUCE DESTRUCCIÓN ÓSEA
- FGF23
 - SÍNTESIS EN OSTEOCITOS Y OSTEOLASTOS INDUCIDA POR CALCITRIOL Y FOSFATO
 - INHIBE PTH

IMPACTO DE INGESTA DE FÓSFORO

VARIACIÓN DE DOSIS DE FÓSFORO
CUANTITATIVA



IMPACTO EN PARÁMETROS ZOOTÉCNICOS

- SE VAN A UTILIZAR LOS DATOS DE LOS SIGUIENTES ESTUDIOS

Hans H. Stein

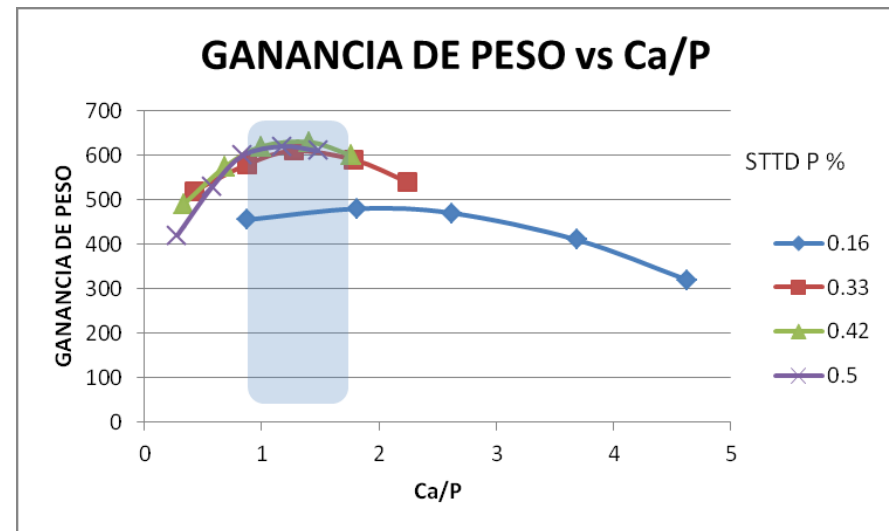
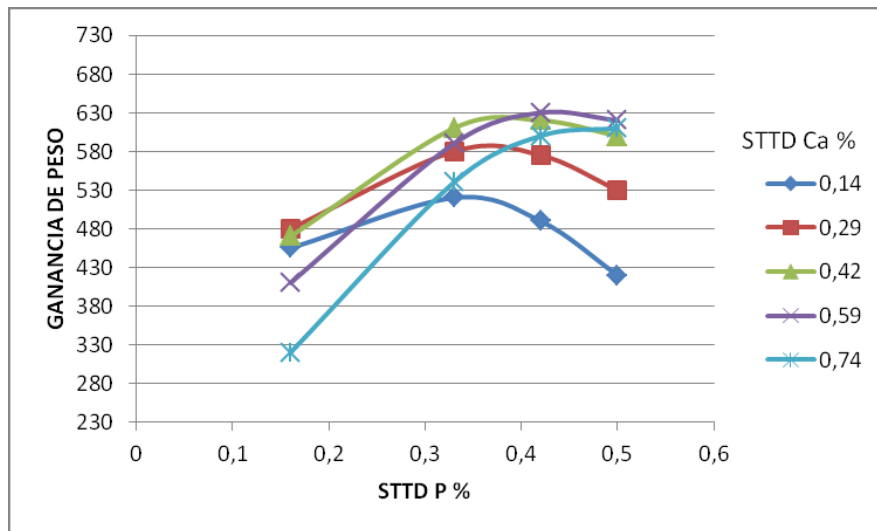
Division of Nutritional Sciences; Department of Animal Sciences

University of Illinois

<http://nutrition.ansci.illinois.edu>

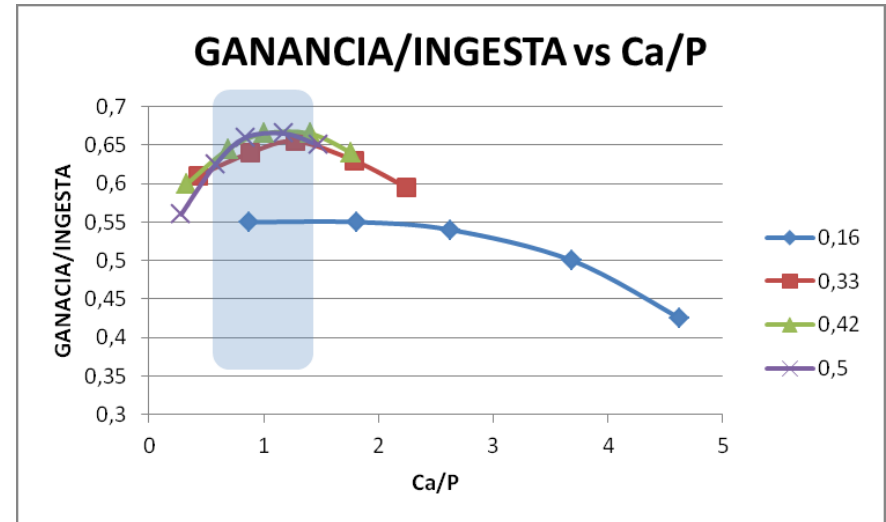
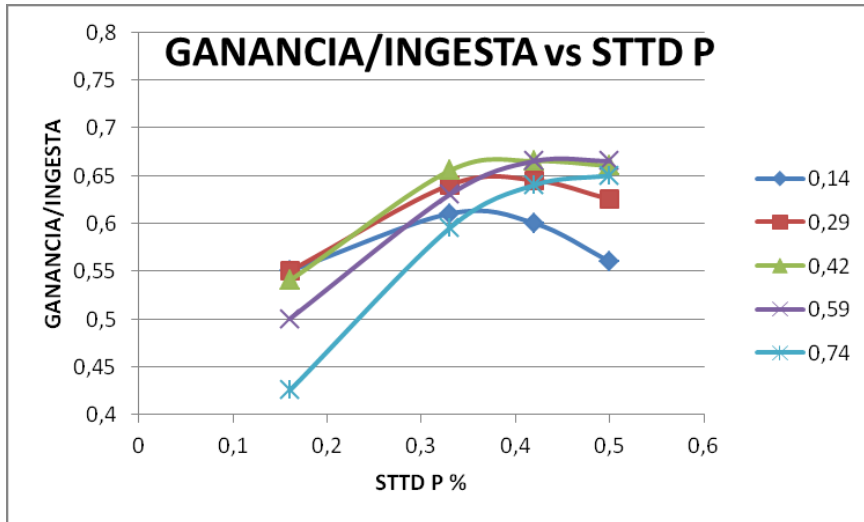
Juan Manuel Shiguetomi Medina,* Kristina Ulrich Sørensen,** Hanne Damgaard Poulsen**
Universidad de Aarhus, Dinamarca.

GANANCIA DE PESO



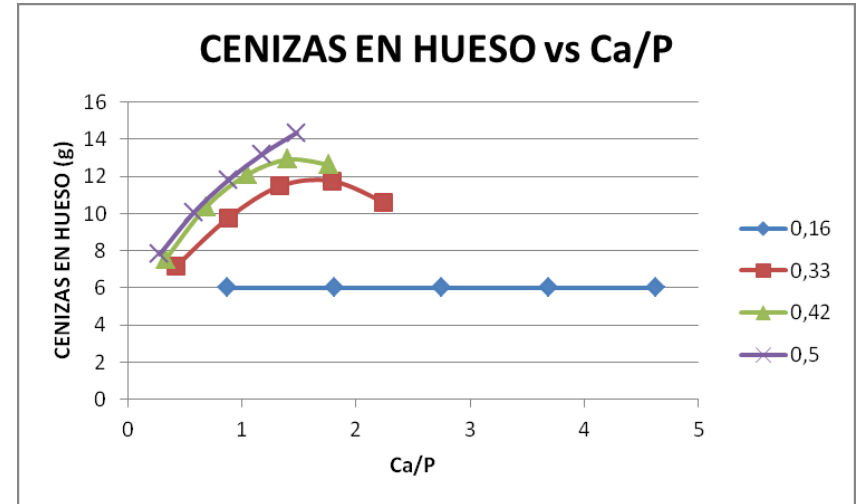
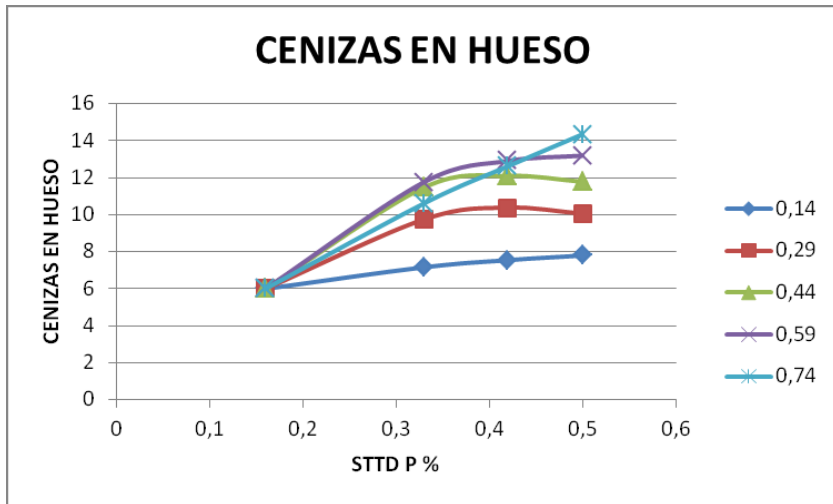
- EL AUMENTO DE PESO TIENE UN LÍMITE DE CRECIMIENTO EN FUNCIÓN DE LA INGESTA DE FÓSFORO
- LAS MISMAS DOSIS DE FÓSFORO DEPENDEN DE LA RELACIÓN CON LA INGESTA DE CALCIO
 - EXISTE UN ÓPTIMO DE RELACIÓN Ca/P QUE VARÍA EN FUNCIÓN DE LA INGESTA DE FÓSFORO

GANANCIA/INGESTA



- SE COMPORTA IGUAL QUE LA GANANCIA DE PESO

CENIZAS EN HUESO



- LA MINERALIZACIÓN AUMENTA CON LA INGESTA DE FÓSFORO
 - LA INGESTA DE CALCIO VARÍA LA PENDIENTE
 - EXISTEN UNAS NUEVA RELACIÓN Ca/P QUE MAXIMIZA LA MINERALIZACIÓN DE LOS HUESOS



CONCLUSIONES

- HAY UNA CLARA RELACIÓN ENTRE CONTENIDO EN FÓSFORO Y MEJORA DE PARÁMETROS ZOOTÉCNICOS
- SOBREDOSIFICACIONES NO TIENEN AUMENTO DE EFECTO CORRESPONDIENTE
- INFLUYE LA RELACIÓN Ca/P
 - EXISTEN ÓPTIMOS DIFERENTES PARA LA GANANCIA DE PESO Y PARA LA MINERALIZACIÓN ÓSEA

GANACIA DE PESO

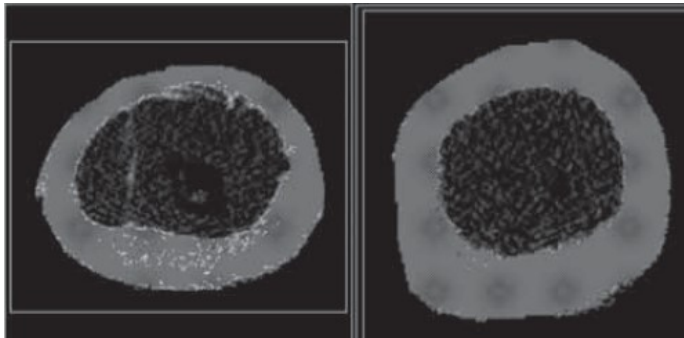


- SE VUELVE A VER EL IMPACTO DEL AUMENTO DE FÓSFORO SOBRE EL PESO
 - LLEGADO A UN VALOR DE FÓSFORO NO HAY MÁS EFECTO DE AUMENTO DE PESO

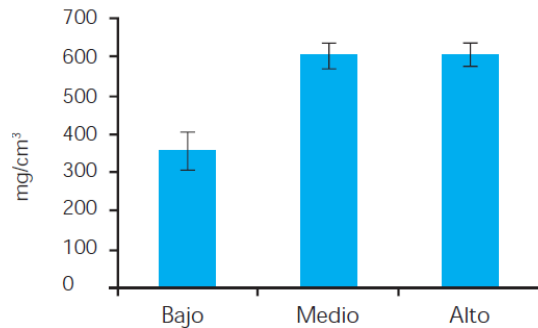
MINERALIZACIÓN ÓSEA



- AUMENTA EL ESPESOR DE HUESO EN 2,54 mm ENTRE DIETA BAJA Y NORMAL
 - EL EXCESO NO AUMENTA MÁS EL ESPESOR



- AUMENTA DEL DIÁMETRO TRANSVERSO
 - EL EXCESO NO PROVOCA MÁS EFECTO



- AUMENTA LA DENSIDAD DEL HUESO SIN QUE EL EXCESO AUMENTE EL EFECTO



IMPACTO DE DIFERENTES FUENTES DE FÓSFORO

SE HA UTILIZADO EL SIGUIENTE ESTUDIO

FUENTES DE FÓSFORO EN LA ALIMENTACIÓN DE CERDOS.

1. CRECIMIENTO Y MINERALIZACIÓN ÓSEA

Phosphorus Sources in Swine Feeding. 1. Growth and Bone Mineralization

Daggert Franseuie, Claudio F. Chicco, Susmira Godoy y Julio Garmendia

*Postgrado producción Animal. Facultades de Agronomía y Ciencias Veterinaria.
Universidad Central de Venezuela.*

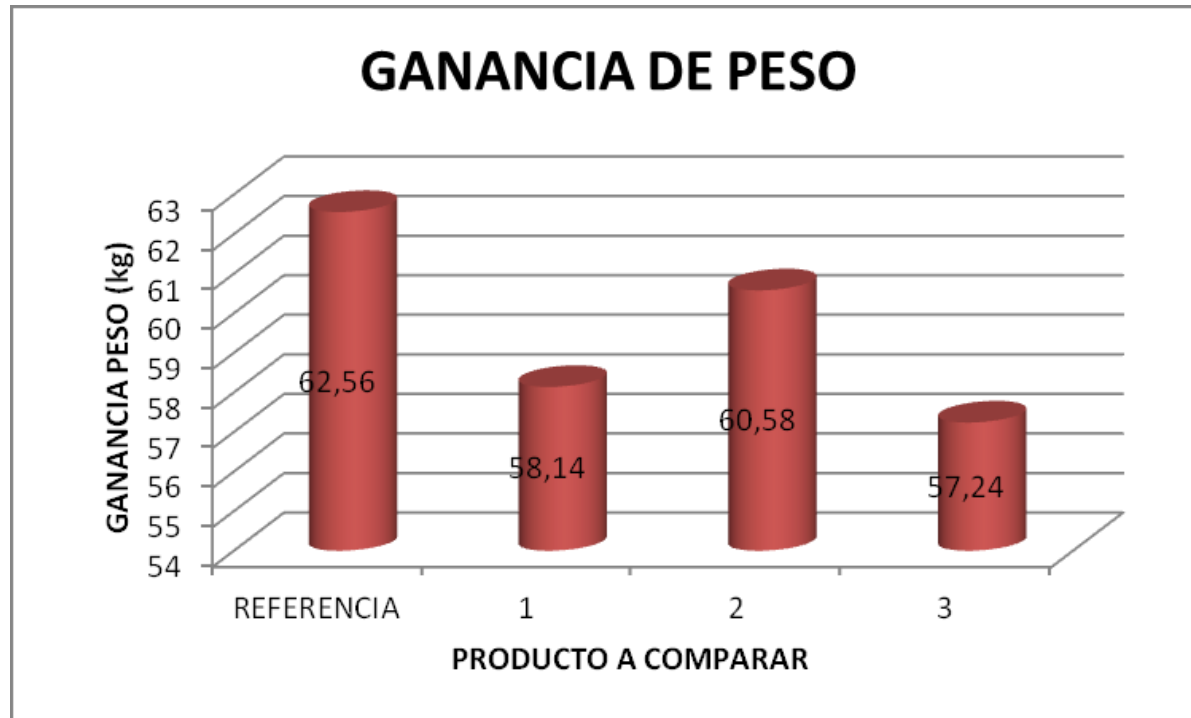
Maracay, Venezuela. sgodoy@inia.gov.ve, sgodoy@telcel.net.ve

**VI Congreso de Nutrición Animal y
Producción Industrial de Alimentos Balanceados**

IMPACTO DE INGESTA DE FÓSFORO

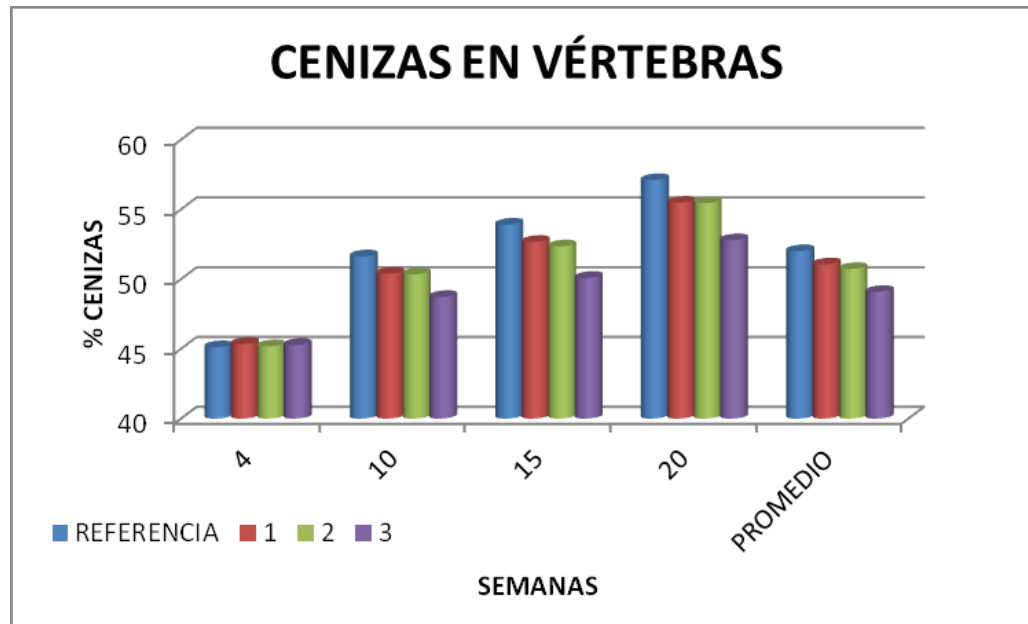
VARIACIÓN DE CALIDAD DE
PRESENTACIÓN

GANANCIA DE PESO



ÚNICA DIFERENCIA ES EL TIPO DE FOSFATO QUE TIENEN
DIFERENTE GRADO DE ABSORCIÓN (DIGESTIBILIDAD)

MINERALIZACIÓN



- LA MINERALIZACIÓN AUMENTA AL CRECER EL CERDO
- TAMBIÉN VARÍA EN FUNCIÓN DEL TIPO DE FOSFATO

CONCLUSIÓN

DISPONIBILIDADES CALCULADAS

	REF	1	2	3
PESO	100%	93,9%	97,2%	89,6%
CENIZAS	100%	85,9%	86,6%	62,5%
PROMEDIO	100,0%	89,9%	91,9%	76,1%

- A PARTIR DE LOS PARÁMETROS ZOOTÉCNICOS SE OBSERVAN LOS EFECTOS DE LAS DISPONIBILIDADES/DIGESTIBILIDADES
- LOS PARÁMETROS ZOOTÉCNICOS ESTÁN CLARAMENTE AFECTADOS POR LA DISPONIBILIDAD/DIGESTIBILIDAD DEL FÓSFORO

**VI Congreso de Nutrición Animal y
Producción Industrial de Alimentos Balanceados**

FORMULACIÓN DE PIENSOS

SELECCIÓN DE FOSFATOS



DIGESTIBILIDAD

- **ESPECIE DE TRANSMISIÓN DEL FÓSFORO**

ANIÓN ORTOFOSFATO H_2PO_4^- (pH 4) > HPO_4^{2-} (pH7)

pH más bajo, mejor digestibilidad

MONOCÁLCICO > DICÁLCICO

HIDRATADOS > ANHIDROS

- **OTRAS ESPECIES FOSFATADAS NECESITAN HIDRÓLISIS PREVIA**



- **EL FÓSFORO FÍTICO NECESITA ENZIMAS ESPECÍFICAS**

ácido fítico/fitatos + fitasa > $6\text{H}_2\text{PO}_4^-$

COMPOSICIÓN DE FOSFATOS



SON MEZCLAS DE:

— LOS DIFERENTES TIPOS DE FOSFATOS PUDIÉNDOSE ENCONTRAR

- Monocálcicos hidratados
- Dicálcicos hidratados y anhidros
- Fosfatos cálcicos condensados
- Fosfatos magnésicos
- Fosfatos férricos
- Fosfatos alumínicos

— CARBONATO CÁLCICO

— SULFATO CÁLCICO

— FLUORUROS

— CLORUROS

COMPOSICIÓN DE FOSFATOS COMERCIALES

Tabla 4. ANÁLISIS XRD DE DIFERENTES FUENTES COMERCIALES DISPONIBLES (%)

Fuente vendido como:	CaCO ₃	DCPa	DCPd	MCP	CaSO ₄	MgHPO ₄ ·3H ₂ O	Al ₃ KH ₁₄ (PO ₄) ₈ ·xH ₂ O	Ca(OH) ₂	No encontrado
DCPa		93			5			2	
DCPa	7	59	25			3		6	
DCPd		9	91						
DCPd		48	52						
MDCP	22	17		51	3		3		3
MDCP	32	17		37	3	6			5
MDCP	3	28		56	3	9			
MCP	4			96	4				
MCP	4			83	4		9		



CRITERIOS 'IN VITRO'

- **CONTENIDO EN FÓSFORO TOTAL**
 - 1er parametro a cumplir ya que es el elemento principal que aporta el producto
 - No hay que olvidar que hay que aún siendo importante, lo que realmente influye es el fósforo digestible para lo que hay que atender al resto de parámetros
- **FÓSFORO SOLUBLE AL CÍTRICO**
 - Estudios realizadas en los años 70 por L Gueguen indican la correlación con la digestibilidad
 - Sólo discriminan fosfatos con digestibilidades inferiores a un 55 %
- **FÓSFORO SOLUBLE AL AGUA**
 - Algunos clientes lo toman como parámetro de referencia para determinar la eficiencia del producto
 - INDICA LA PRESENCIA DEL ANIÓN H_2PO_4^- QUE ES EL MÁS DIGESTIBLE
- **FÓSFORO SOLUBLE AL CITRATO AMÓNICO ALCALINO**
 - Determinan la presencia de fosfatos tricálcicos de muy baja digestibilidad.
 - Discriminan por debajo de 60 % digestibilidad
- **CALCIO**
 - No es el parámetro más importante ya que lo pueden aportar fácilmente con otras materias primas a coste bajo

VALORES EN FOSFATOS COMERCIALES

	MCP	MDCP	DCP	SÓDICO CÁLCICO
P_{total}	21,5-23	20-21,5	17-18	18-20
$P_{\text{citr 2\%}}$	>95%	>95%	>95%	>95%
$P_{\text{sol aq}}$	75-90	65-80	5-50	0-50
P_{caa}	>95%	>95%	>95%	>95%
Ca	15-17	18-21	21	18-35

TABLAS DE DIGESTIBILIDAD EN PORCINO

Tipo de Fosfato:	ATTD	FEDNA 2010	CVB 2011	INRA 2004	NRC 2012 ¹	
					ATTD	STTD
<u>Fosfato Monocálcico</u>	82.5 ± 7.1	84	83	83	82.8	88.3
<u>Fosfato Monodivalente</u>	77.5 ± 6.6	80	82	75	-	-
<u>Fosfato Divalente dihidratado</u>	72.2 ± 6.7	72	71	69	73.9	81.4
<u>Fosfato Divalente anhidro</u>	64.5 ± 4.7	64	65	66	-	-
<u>Fosfato defluorado</u>	66.3 ± 10.1	-	-	-	-	-
<u>Fosfato trivalente</u>	52.5 ± 6.2	-	-	-	48	53.4

- NRC ACONSEJA DESDE 2012 LA UTILIZACIÓN DE DIGESTIBILIDAD P STTD

NUEVO SISTEMA DE COMPARACIÓN



- ANÁLISIS QUÍMICO DEL FOSFATO
 - P_{total} , $P_{sol\ aq}$, P_{caa} , Ca, Humedad, Agua de hidratación, sulfatos, carbonatos, acidez libre, pirofosfatos, Fe, Mg, Al.
 - Balance químico de especies

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL FOSFATO POR ESPECIES FOSFATADAS DIGESTIBLES

MONOCÁLCICO, DICÁLCICO ANHIDRO, DICÁLCICO DIHIDRATADO, TRICÁLCICO, ACIDEZ LIBRE, FOSFATO MAGNÉSICO, PIROFOSFATO

- ASIGNACIÓN DE DIGESTIBILIDAD PONDERADA EN FUNCIÓN DE COMPOSICIÓN

EJERCICIO COMPARATIVO EN MERCADO COSTARRICENSE

Referencia	Origen	P total	P sol aq	Ca	Acidez H ₃ PO ₄	MCPM	DCPD	DCPA	PIRO ÁCIDO	Balance 1	unit P disp
CO18/35	CR-001-	22,66%	79,84%	17,51%	0,00%	70,30%	0,00%	14,40%	1,90%	85,8%	194
CO18/41	CR-002-	22,47%	87,76%	14,59%	3,00%	73,60%	4,00%	0,00%	4,60%	87,1%	196
CO18/38	CR-003-	23,04%	68,94%	17,00%	0,00%	61,80%	6,50%	11,00%	9,10%	82,3%	190
CO18/42	CR-004-	17,87%	0,49%	32,03%	COMPOSICIÓN NO DETERMINADA POR NO SER PROCESO NORMAL						
CO18/37	CR-005-	21,59%	67,95%	16,36%	0,00%	51,70%	13,90%		17,20%	79,2%	171
CO18/40	CR-006-	23,37%	67,71%	17,39%	0,00%	61,60%	1,30%	18,90%	7,30%	82,2%	192
CO18/36	CR-007-	22,50%	96,93%	14,25%	4,70%	73,20%	0,00%			89,9%	202
CO18/39	CR-008-	22,48%	79,42%	15,24%	5,70%	63,20%	6,10%	0,00%	8,80%	84,7%	190
FA18/0161	MCP GBF 2	22,85%	88,60%	16,80%	0,70%	80,20%	6,90%	5,70%	0,90%	89,3%	204

- EXISTE UNA RELACIÓN CUALITATIVA ENTRE FÓSFORO SOLUBLE AL AGUA
- LA MEDIA DE LOS FOSFATO MCP ENCONTRADOS DA 84,8% DEL ORDEN DE LOS DATOS DE LA TABLA ANTERIOR



CONCLUSIONES

- CARENCIAS DE FÓSFORO AFECTAN DIRECTAMENTE A
 - GANANCIA DE PESO
 - MINERALIZACIÓN ÓSEA
- LA ABSORCIÓN PASIVA DEPENDE EN GRAN MEDIDA DE LA ELECCIÓN DEL FOSFATO PARA FORMULACIÓN
- LA RELACIÓN Ca/P VA A AFECTAR LA HOMEOSTASIS DEL FÓSFORO Y A LA ABSORCIÓN ACTIVA