

***XXXI Reunión Científica Anual de la
Asociación Peruana de Producción Animal
APPA 2008***

**Avances en el Uso de Enzimas en la
Nutrición de Aves y Cerdos**

**Carlos Nagashiro, *Ph.D.*
DSM Nutritional Products**



Introducción

- El **rendimiento animal** depende en gran parte de la **biodisponibilidad de nutrientes**, la cual es afectada por varios factores, como por ejemplo :

Especie animal: Capacidad digestiva (*i.e.* Actividad enzimática), y de absorción.

Demanda de nutrientes (*e.g.* Estado fisiológico, edad, etc).

La concentración y composición: *i.e.* Formas químicas (*e.g.* P-Fitado) y Físicas, de nutrientes.

Interacciones nutricionales durante la digestión.

Presencia de compuestos con actividad anti-nutritiva.

Polisacáridos no almidones (PNA), Fitato, Taninos, Lignina, etc.

Enzimas en Nutrición Animal

- El uso de enzimas exógenas para mejorar el valor nutritivo de los ingredientes fue reportado primero en 1925 por Clickner and Follwell (1925).
- Desde finales de los años 80, hubo un crecimiento exponencial en estudio de las enzimas y en el nacimiento de la industria de las enzimas para raciones, debido a :
 - El entendimiento de los substratos de interés.
 - El advenimiento de la tecnología microbiológica.

Enzimas en Nutrición de aves

- Proceso histórico de la aplicación de enzimas en la nutrición de aves (Choct, 2006).

Carbohidrasas para PNA de granos de cereales viscosos:

Xilanasas para degradar arabinoxilanos de trigo, triticale y centeno
 β -glucanasas, para β -glucanos de avena y cebada.

Fitasas: para la degradación del complejo FITATO.

Mezclas o Cocktails para granos de cereales no viscosos en dietas maiz-soya:

Mezclas de xilanasas, α -amilasa, proteasa

Preparaciones enzimáticas para ingredientes proteicos vegetales:

Para degradar PNA, mayormente polisacáridos pécticos.

Además α -galactosidasas y β -mananasas

Enzimas en Nutrición de aves

- Factores a considerar para el uso de productos enzimáticos (Marquardt *et al.*, 1996):

El suplemento enzimático debe contener el **espectro apropiado** de actividades enzimáticas de tal manera que los efectos antinutritivos del substrato objetivo sean neutralizados (*i.e.*, β -glucanasa para cebada y avena, xilanasas para centeno, trigo y triticale, y fitasa para la degradación del fitato).

El suplemento debe contener **cantidades adecuadas** (actividades) de las enzimas apropiadas de tal manera que neutralicen los efectos del factor antinutritivo en la dieta.

Cereales diferentes contienen cantidades diferentes del factor antinutricional sensible a las enzimas. Por lo tanto, la respuesta al tratamiento enzimático puede variar dentro de un cereal dado (*i.e.*, cebada y probablemente trigo).

Enzimas en Nutrición de aves

Los resultados son afectados por la clase y la edad del ave. Las respuestas en cerdos son normalmente menos dramáticas que aquellas en aves y no han sido claramente establecidas.

Las enzimas no deben ser inactivadas por el procesamiento o por el bajo pH o enzimas digestivas en el tracto gastrointestinal.

Enzimas en Nutrición de aves

- Beneficio obtenidos por el uso de productos enzimáticos en la alimentación de aves (Broz and Beardsworth, 2002; Choct, 2006):

Mejora de la utilización de nutrientes (en EM y digestibilidad de nutrientes), por medio de la reducción de los efectos negativos de los factores antinutricionales susceptibles a la acción enzimática.

Mejora en la ganancia de peso y en la conversión alimenticia.

Aumento en la flexibilidad y precisión de la formulación de mínimo costo por:

Un aumento de los niveles de inclusión de ciertos ingredientes, sin ocasionar problemas productivos y en la consistencia fecal.

Disminución de la variación nutricional de ingredientes.

Enzimas en Nutrición de aves

Mejora de la salud, especialmente digestiva, y el bienestar de las aves, por la mejora en la calidad de la cama.

Reducción de la contaminación ambiental por excreción de nutrientes indigeridos.

**Enzimas para granos de cereales no
viscosos: maíz-sorgo**

Mezclas de enzimas

- Las actividades enzimáticas exógenas para mejorar la digestibilidad de los granos de cereales no viscosos (maíz y sorgo) que han sido evaluadas:

Mezclas de carbohidrasas (α -amilasa, β -glucanasa y xilanasas).
Substratos objetivos: almidón y arabinosilanos insolubles.

Mezcla de carbohidrasas más proteasas (raciones maíz – soya).
Substratos objetivos, igual que el anterior y alguna fracción proteica???

Mezclas de enzimas

- Se ha reportado: una mejora en el rendimiento de las aves (Zanella *et al.*, 1999; Yu and Chung, 2004; Cowieson and Adeola, 2005), en la EMA (Meng and Slominski, 2005; Saleh *et al.*, 2005, Bertechini *et al.*, 2006; Rutherford *et al.*, 2007; Sorbara *et al.*, 2008), y más específicamente en la digestibilidad ileal de la proteína (Zanella *et al.*, 1999; Cowieson and Adeola, 2005; Meng and Slominski, 2005; Saleh *et al.*, 2005) y en la digestibilidad ileal de algunos amino ácidos (Zanella *et al.*, 1999; Rutherford *et al.*, 2007).

Mezclas de enzimas : 1

Efectos de una mezcla de enzimas (xilanasa, α -amilasa, proteasa) en dieta maíz-soya

	Método	Tratamiento			
		- Enz	+ Enz		
Digestibilidad de PB, % en MS	I ¹⁾	69.1	73.4		
	II	57.8	60.1	b	a
	III	80.0	82.9	b	a
Digestibilidad de almidón, % en MS	I	99.6	99.6		
	II	98.2	98.5	b	a
	III	91.2	93.0	b	a
Digestibilidad de grasa, % en MS	I	88.7	89.8		
	II	86.2	86.3		
	III	85.1	86.7	b	a
EM, Kcal/Kg	I	3,569	3,623		
	II	3,190	3,225		
	III	3,076	3,153	b	a
Gano de peso, Kg		2.65	2.70	b	a
C.A., gr/gr		1.86	1.82	b	a

¹⁾ Métodos: I, Sibbald, 1986; II, Excreta total; III, Digestibilidad ileal

^{a-b} Valores con diferentes superíndices en la misma fila son diferentes (P<0,05)

Adaptado de Zanella *et al.*, 1999.

Mezclas de enzimas : 2

Efectos de mezclas multienzimáticas sobre el rendimiento de pollos parrilleros alimentados con raciones maíz-soya en época fría (Exp. 2)

Tratamientos

- 1 Control positivo
- 2 Control Negativo (- 3 % EM)
- 3 CN + Enzima A
- 4 CN + Enzima B
- 5 CN + Enzima C
- 6 CN + Enzima D
- 7 CN + Enzima E

Concentración de actividades enzimáticas para proveer en 1 Kg de alimento

Enz A: proteasa, 6.000 U; α -amilasa, 2.000 U; Xilanasas, 800 U.

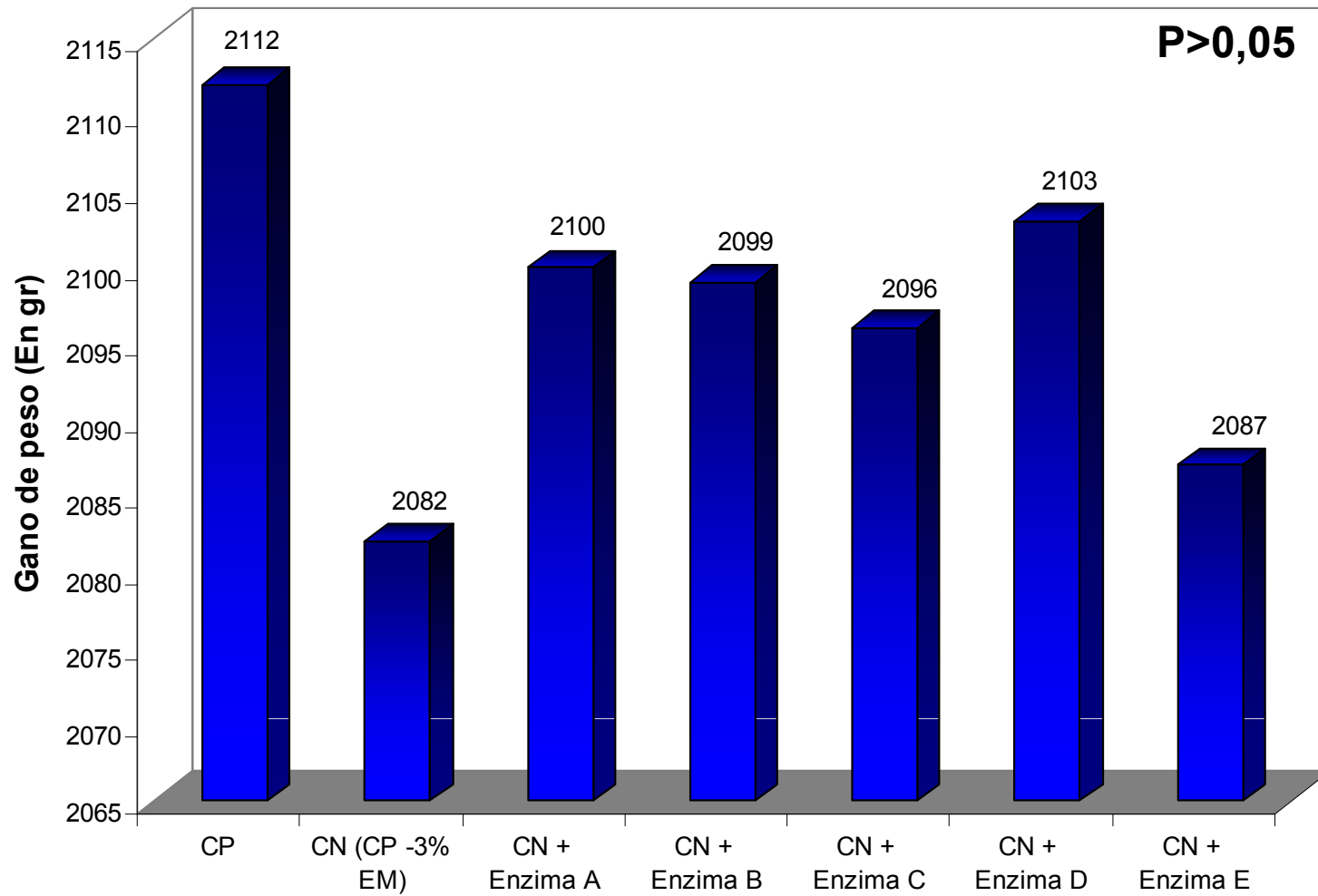
Enz B: α -amilasa, 30 Kilo Novo Units (KNU); β -Glucanasa, 100 β -glucanasa Units (BGU).

Enz C: α -amilasa, 30 Kilo Novo Units KNU; β -Glucanasa, 100 BGU; Xilanasas, 100 Farvet Xilanase Units.

Enz D: α -amilasa, 22,5 Kilo Novo Units KNU; β -Glucanasa, 75 BGU; Xilanasas, 100 Farvet Xilanase Units.

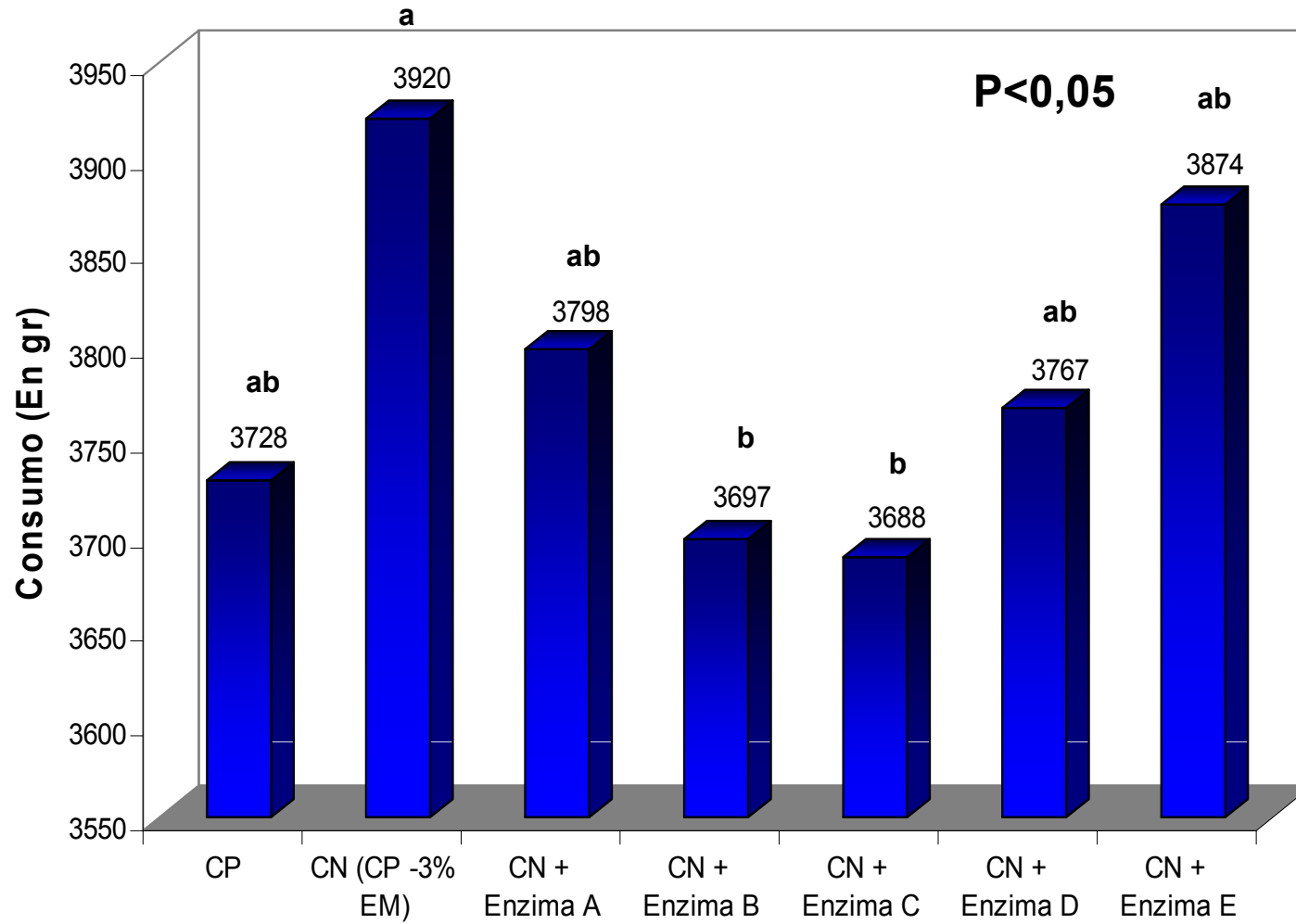
Enz E: α -amilasa, 15 Kilo Novo Units KNU; β -Glucanasa, 50 BGU; Xilanasas, 100 Farvet Xilanase Units.

Mezclas de enzimas : 2



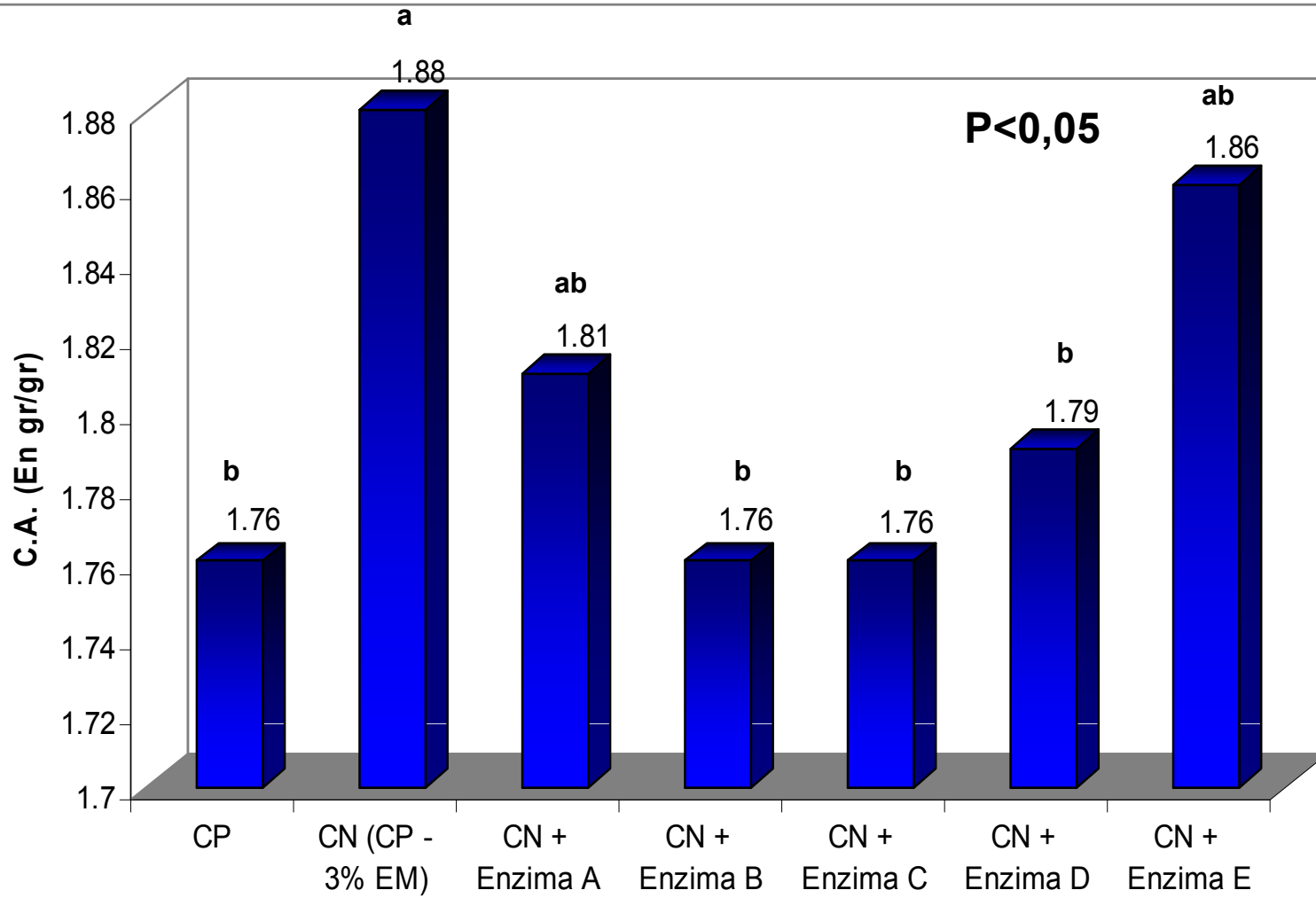
Yu, B. and T. K. Chung. 2004. J. Appl. Poult. Res. 13:178-182

Mezclas de enzimas : 2



Yu, B. and T. K. Chung. 2007. *Appl. Poult. Res.* 13:178–182

Mezclas de enzimas : 2



Yu, B. and T. K. Chung. 2004. *Animals Appl. Poult. Res.* 13:178-182

Efectos de diferentes niveles de RONOZYME A

Adaptado de Bertechini, A.G. *et al.*, 2006.

Experimento en Piso

- 1,440 Cobb X Cobb 500
720 hembras y 720 machos
1 a 42 días de edad
- Mediciones a 7, 21 y 42 d
- Parámetros de Rendimiento
- Contenido Intestinal (yeyuno) a 42 d
- 8 Réplicas / Tratamiento

Poultry Science

Prueba de Metabolismo

- 256 Cobb X Cobb 500 pollitos machos
- Colecta Total de Excreta
- 24 a 30 días
- 4 días de adaptación y 3 días para colecta de excretas
- 32 jaulas / 8 aves

Tratamientos

Adaptado de Bertechini *et al.*, 2006

T1: Control Positivo

T2 : Control Negativo (- 3% EM)

T3 : T2 + Ronozyme A, 300 gr/Ton

T4 : T2 + Ronozyme A, 400 gr/Ton

Mezclas de enzimas : 3

Raciones: Composición

	Fases (días)			
	1 – 7	8 – 21	22 – 35	36 - 42
EM, kcal/kg				
- Control Positivo, CP	2950	3050	3150	3200
- Control Negativo, CN	2861	2958	3055	3104
- Kcal, Dif.: CP - CN	-89	-92	-95	-96
PC, %	21.8	21.0	20.0	18.9
Met + Cis, %	0.91	0.89	0.84	0.79
Lis, %	1.26	1.25	1.19	1.11
Ca, %	0.95	0.9	0.85	0.8
P disp., %	0.46	0.45	0.42	0.39

Mezclas de enzimas : 3

Efectos sobre rendimiento a 42 días

	Parámetros	
	GP	CA
Control +	2,544 ^b	1.761 ^a
Control –	2,460 ^c	1.891 ^b
Ronozyme A (300 gr/Ton)	2,646 ^a	1.773 ^a
Ronozyme A (400 gr/Ton)	2,649 ^a	1.789 ^a
Prob.	0.01	0.01

Mezclas de enzimas : 3

Efectos sobre la Energía Metabolizable

	EMAn		Dif. Kcal	
	Formulada	Analizada		
Control +	3,150	3,151	b	
Control –	3,050	3,080	b	
Ronozyme A (300 gr/Ton)	3,050	3,114	b	+ 34
Ronozyme A (400 gr/Ton)	3,050	3,196	a	+ 116
Prob.		0.01		

Mezclas de enzimas : 4

Efecto de RONOZYME A + RONOZYME WX sobre la EM aparente, la digestibilidad ileal verdadera de amino ácidos, y las pérdidas endógenas ileal de lisina en pollos parrilleros

	Tratamientos		Sign.
	Control	Control + Enzimas	
EM A, Kcal/Kg	2,766	2,829	0.0499
Metabolizabilidad AE, %	67.5	69.0	0.0952

Mezclas de enzimas : 4

Efecto de la mezcla de enzimas α -amilasa, β -glucanasa, xilanasas (Ronozyme A + Ronozyme WX) sobre la digestibilidad ileal verdadera de AA

	Tratamientos		Sign.
	Control	Control + Enzimas	
Digestibilidad ileal verdadera de AA, %			
Ac. Aspártico	81.7	87.7	***
Treonina	84.6	91.0	**
Serina	85.4	92.1	***
Ac. Glutámico	89.5	93.5	***
Prolina	87.1	91.5	**
Glicina	82.0	88.5	***
Alanina	86.3	91.2	***
Cisteína	76.2	85.5	*
Valina	85.5	90.7	***
Metionina	100.3	102.0	*
Isoleucina	85.9	91.3	***
Leucina	86.3	91.0	***
Tirosina	85.9	90.1	**
Fenilalanina	85.2	89.9	***
Histidina	83.2	89.3	**
Lisina	86.2	91.2	***
Arginina	89.3	92.8	**
Nitrógeno	84.0	88.9	***

* $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$

Adaptado de Rutherford *et al.*, 2007.

Mezclas de enzimas : 5

Efecto de la suplementación de Ronozyme A ya sea solo o en combinación con Ronozyme WX para pollos parrilleros después de los 21 días de edad sobre el rendimiento y los costos de producción

Sorbara *et al.*, 2008. Poultry Sci. (Suppl.)

Tratamientos

- 1 Control positivo
- 2 Control Negativo (- 120 Kcal EM)
- 3 CN + Ronozyme A
- 4 CN + Ronozyme A + Ronozyme WX

Concentración de actividades para 1 Kg de alimento

Enz A: α -amilasa, 80 KNU; β -Glucanasa, 140 BGU (Ronozyme A: 400 gr/Ton).

Enz B: Xilanasa, 100 FXU (Ronozyme WX: 100 gr/Ton)

Mezclas de enzimas : 5

Efectos de los tratamientos (21 - 40 días)

	Gano de peso (gr)	Consumo (gr)	C.A. (gr/gr)
T - 1 CP	1556 ^a	2855 ^{ab}	1.835
T - 2 CN (CP - 120 Kcal EM)	1444 ^b	2733 ^b	1.894
T - 3 CN + Ronozyme A	1522 ^{ab}	2910 ^a	1.863
T - 4 CN + Rono A + Rono WX	1601 ^a	2964 ^a	1.850

Sorbara *et al.*, 2008. Poultry Sci.

Mezclas de enzimas: Efectos

- Los efectos positivos podrían ser atribuidos básicamente a la actividad de la **α -amilasa** y **xilanasa** sobre los sustratos almidón y arabinoxilanos de la PC, respectivamente.
- Estos demuestran que la digestibilidad del almidón de los granos de cereales no viscosos (maíz-sorgo) en situaciones de campo podría ser menor que los valores publicados.

Mezclas de enzimas: Mecanismos

- Los mecanismos de la eficacia no son claros, pero podrían estar involucrados:

Reducción de las limitaciones que producen las características físicas y químicas de los gránulos de almidón.

Reducción del efecto “cage” (encapsulador) de los arabinosilanos insolubles.

Complementación la α -amilasa endógena bajo condiciones de alta velocidad de tránsito en hiperfagia de las líneas genéticas modernas de aves y cerdos, cuya ración tiene como principal componente energético al almidón (The concentration of α -amylase in the digesta and transit time determine the amount of starch reaching the colon, Booher *et al.*, 1951).

Almidón

- Principal CHO de reserva: en granos de cereales (55-75 % MS), raíces, tubérculos y algunas leguminosas, pero no los IPV oleaginosos (e.g.: soya, girasol, lupino).
- Es la fuente principal de energía en las raciones de aves y cerdos

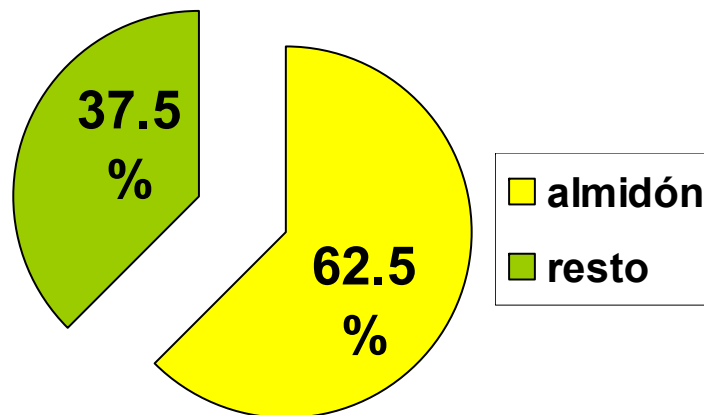
El 75 % de la EM aportada por el maíz y/o sorgo es almidón.

Provee más del 50 % de la EM en raciones prácticas.

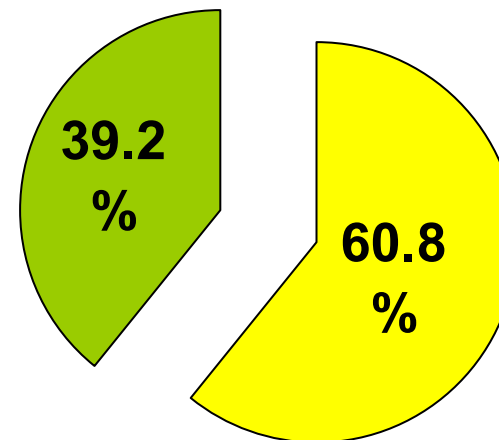
Por ejemplo el maíz contribuye aproximadamente un 65 % de la EM y solo un 20 % de la proteína en las raciones de aves.

Almidón

Concentración de almidón en la materia natural del maíz y sorgo

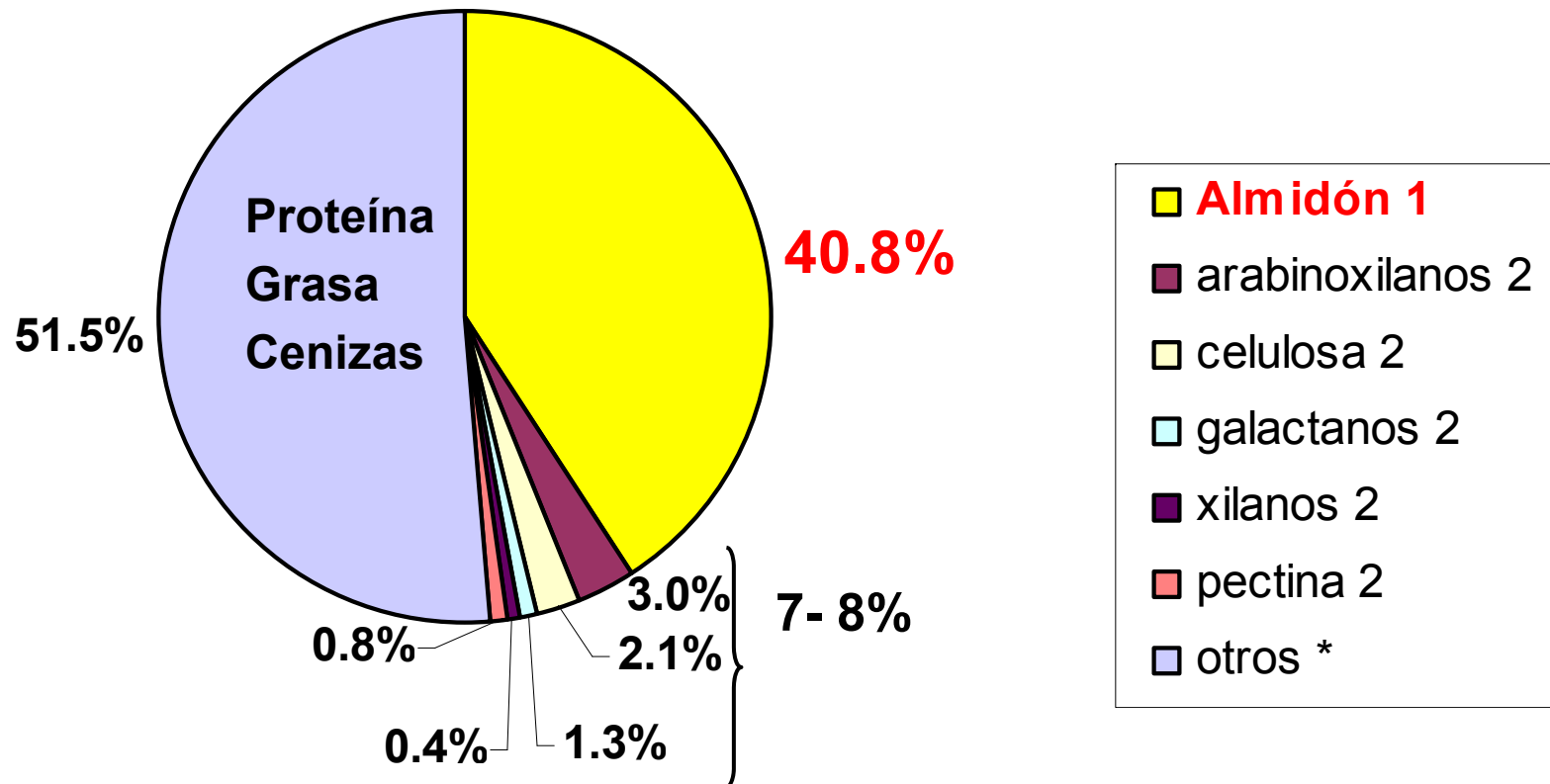


Rostagno, 2005



Almidón

Ración con 65% de maíz + 25% torta de soya

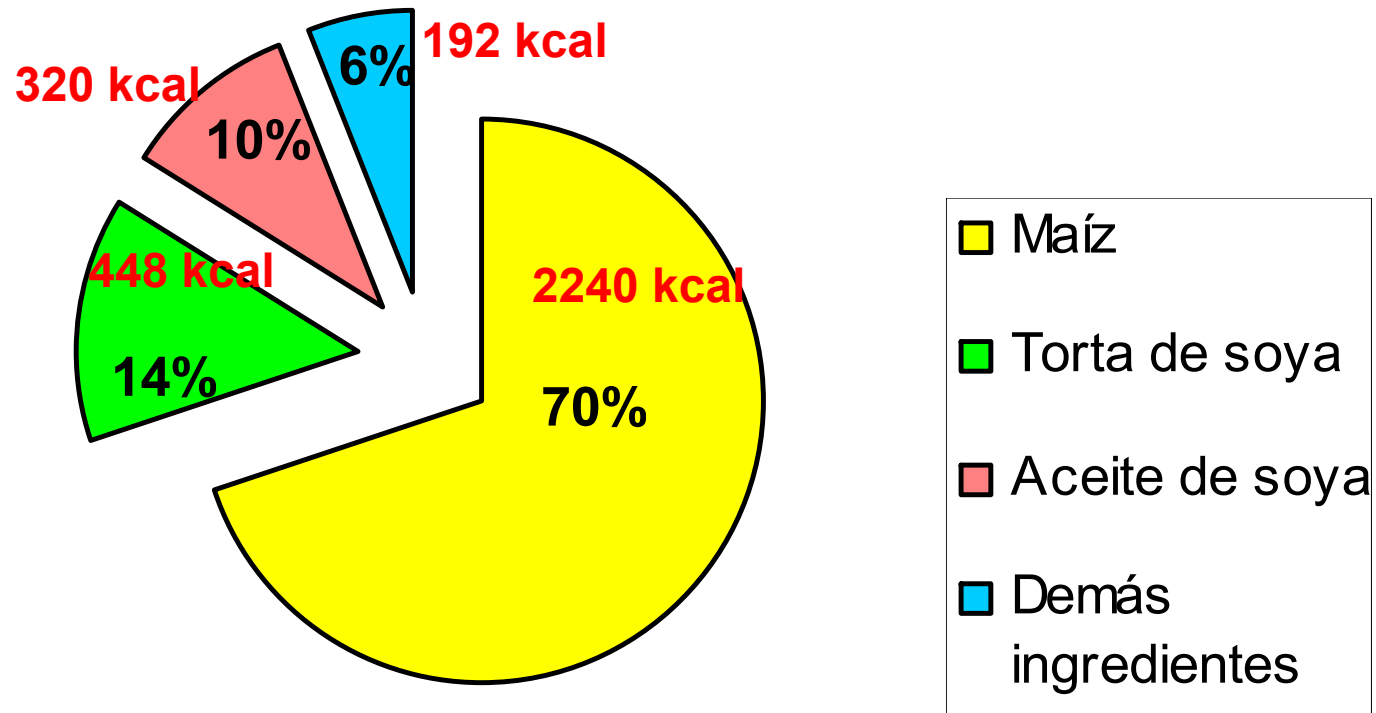


1 Rostagno, 2005

2 Choct, 1997

Almidón

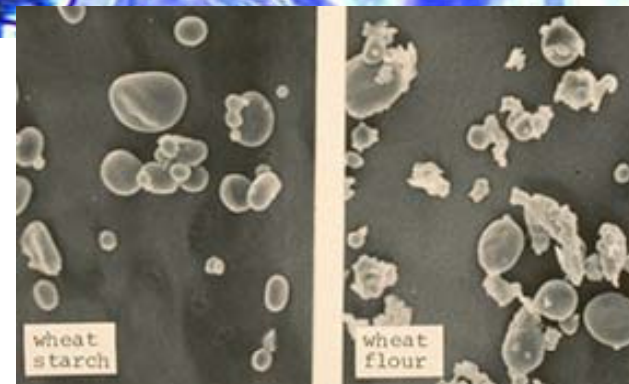
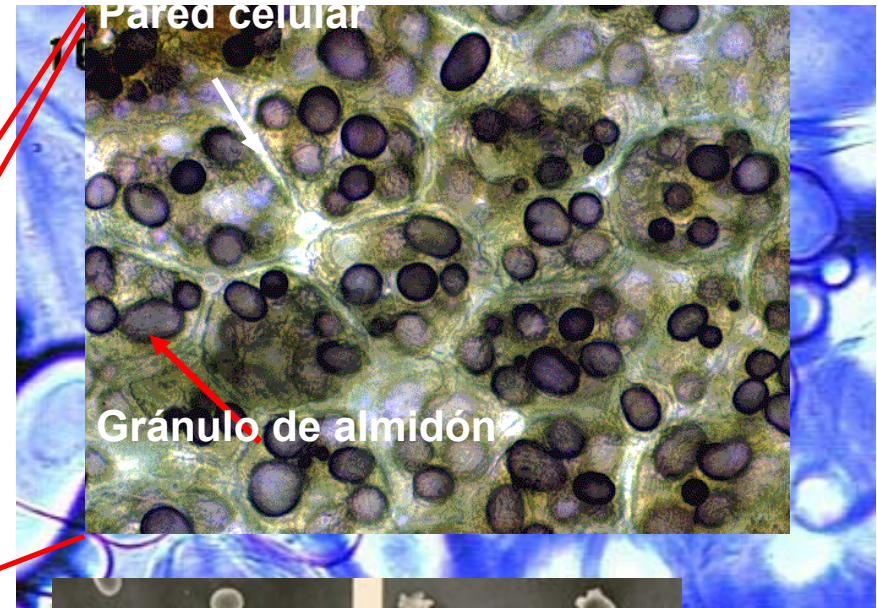
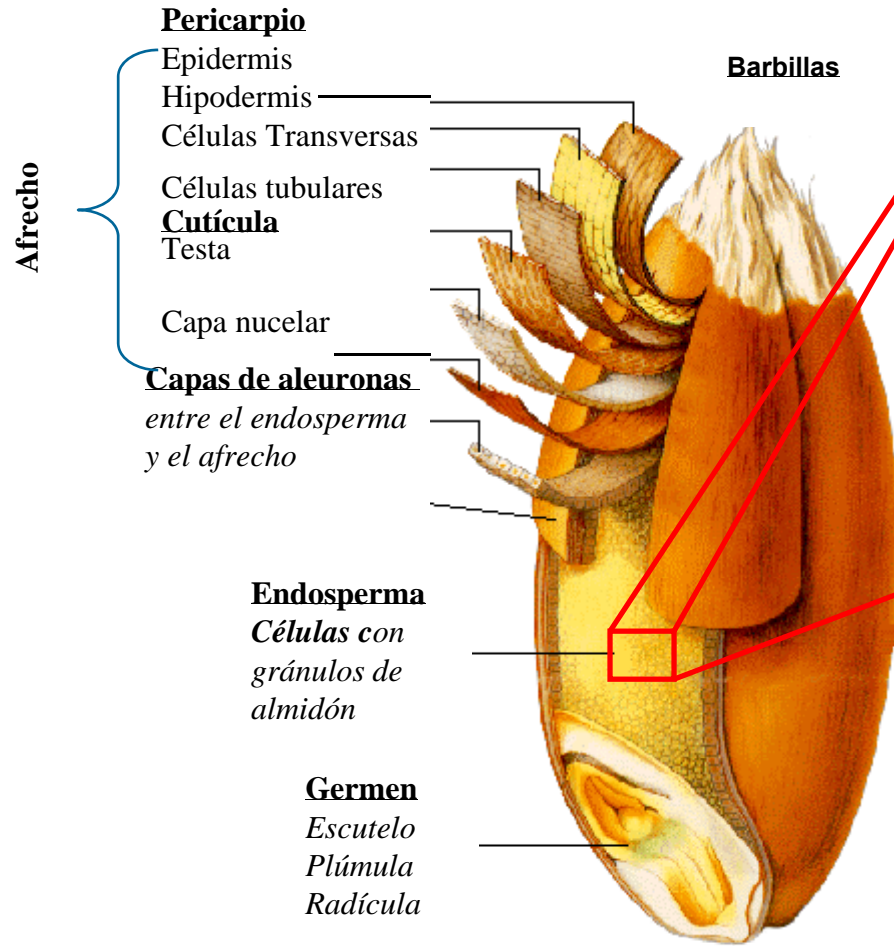
Ración con maíz, torta y aceite de soya, con 3.200 kcal



Almidón

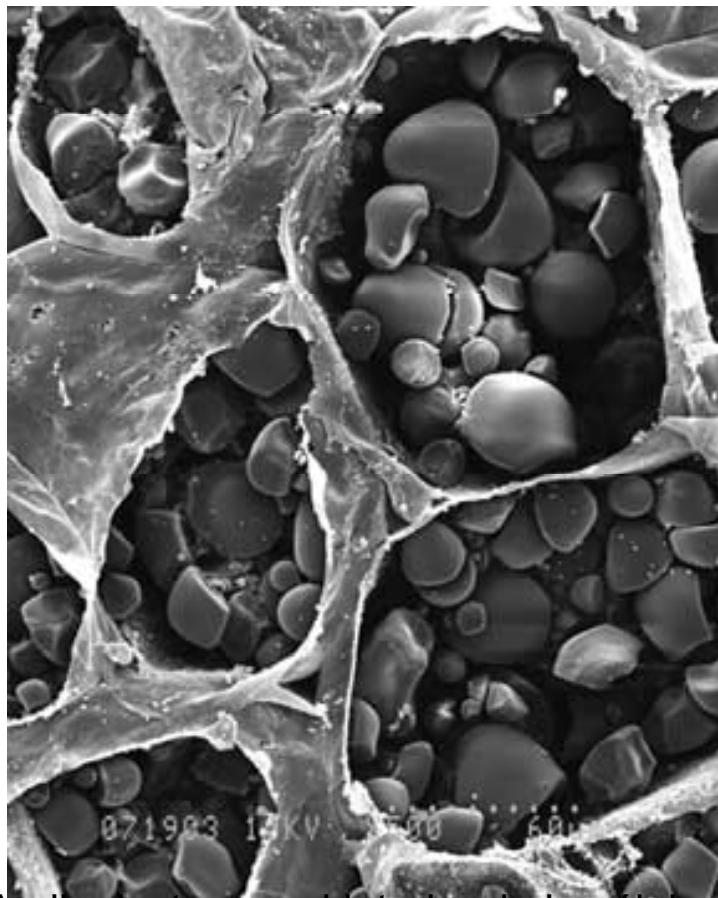
- En los granos de cereales, está localizado en forma de gránulos dentro de las células del endosperma.
- Estas células son bien diferenciadas por una compleja pared compuesta de fracciones de carbohidratos estructurales (PNA), con una cantidad menor de proteína y ácidos fenólicos.

Almidón

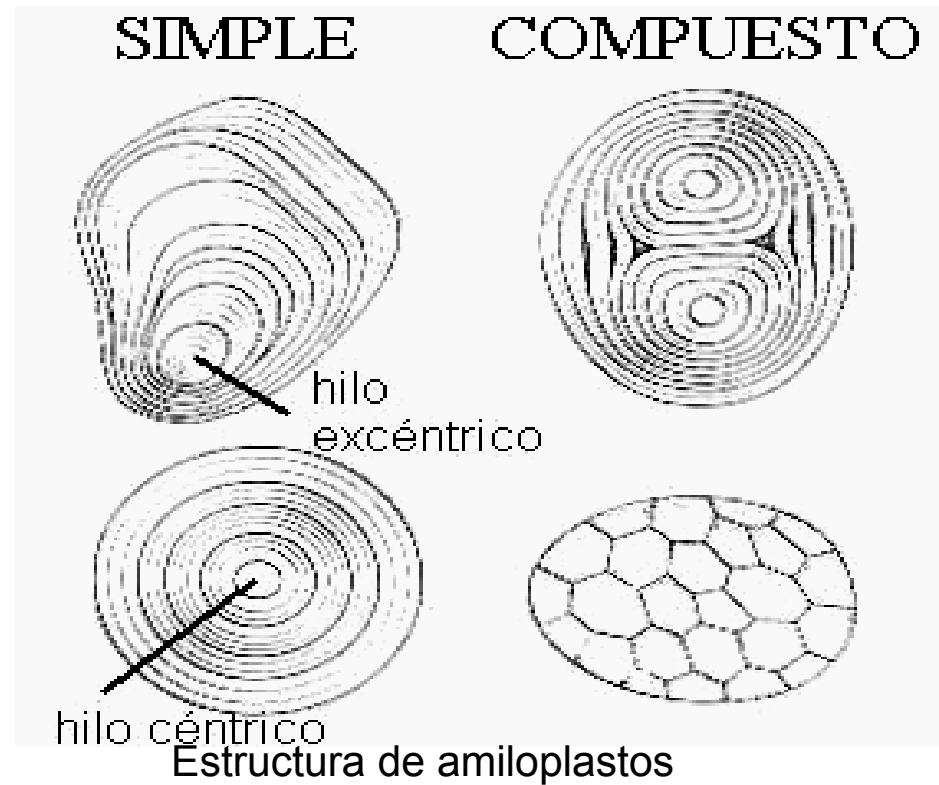


Almidón

- Acumulación de almidón en amiloplastos.



Amyloplastos en el interior de la célula



Almidón

- Los gránulos puros de almidón están compuestos de 2 moléculas, tipo α - Glucano (ca. 99 % de MS),

Amilosa: Polímero lineal de glucosa (ca. 600 residuos de glucosa), unidas por enlaces glucosídicos tipo α -(1→4)

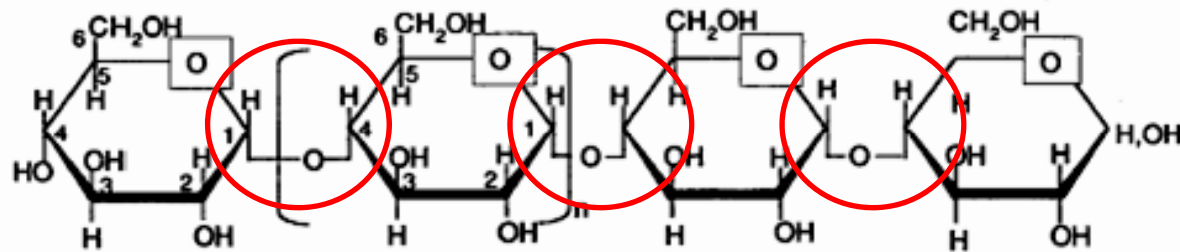
Amilopectina: Polímero altamente ramificado de glucosa (ca. 6.000 residuos de glucosa), unidas por enlaces tipo α -(1→4) y α -(1→6).

- La proporción Amilosa:Amilopectina en la mayoría de granos de cereales es variable, 20-28:80-72 (0,25-0,40).

Sin embargo, existen genotipos con contenidos de amilosa por debajo de 10gr/Kg (1 %), los llamados tipos cerosos (waxy), así como los tipos ricos en amilosa, con contenidos hasta de 700 gr/Kg (70 %, los amilo-maíz)(Zobel, 1988; Parker and Ring, 2001).

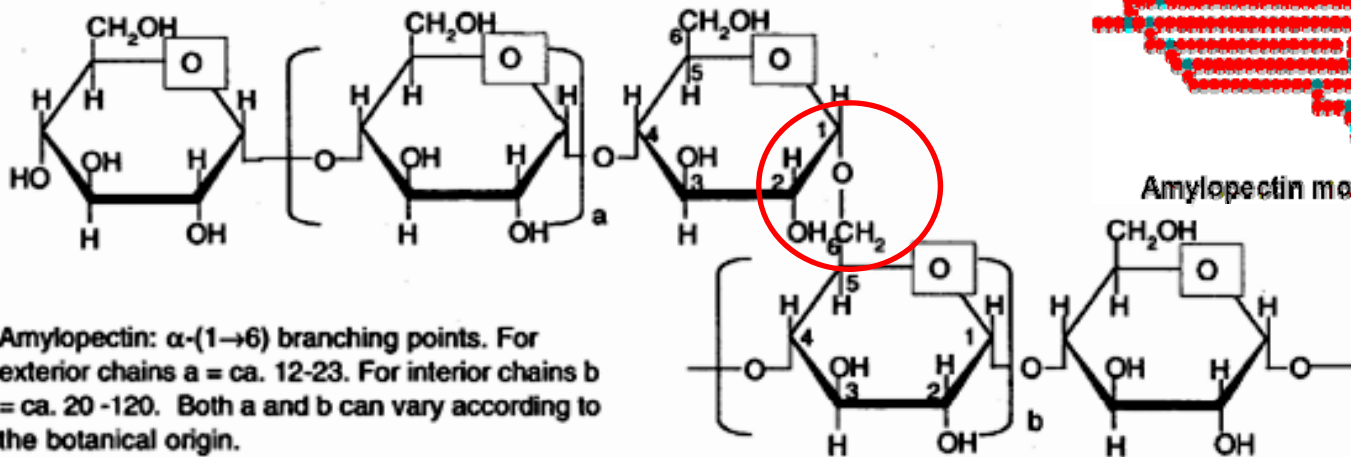
Almidón

Starch structure and digestibility: R.F. Tester et al.

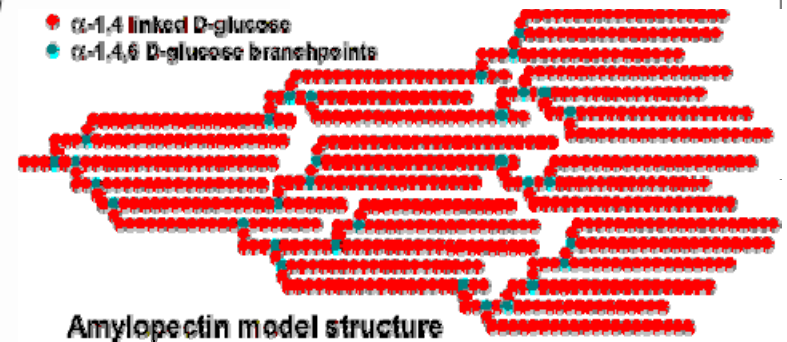


Amylose: α -(1 \rightarrow 4)-glucan; average $n = \text{ca. } 1000$. The linear molecule may carry a few occasional moderately long chains linked α -(1 \rightarrow 6).

- α -1,4 linked D-glucose
- α -1,4,6 D-glucose branchpoints



Amylopectin: α -(1 \rightarrow 6) branching points. For exterior chains $a = \text{ca. } 12-23$. For interior chains $b = \text{ca. } 20-120$. Both a and b can vary according to the botanical origin.



Amylopectin model structure

Almidón : Utilización

- Los datos publicados sobre la digestibilidad del almidón nativo de diferentes fuentes en animales son variables.
- Existe controversia acerca del grado de digestibilidad del almidón:

La digestibilidad del almidón se considera frecuentemente de 100 %.

Varios autores han reportado digestión incompleta del almidón de granos de cereales y leguminosas en broilers (Weurding *et al.*, 2001; Enting *et al.*, 2005): En trigo (Rogel *et al.*, 1987); Cebada (Hesselman and Arnan, 1986); Habas (Longstaff and McNabb, 1987); almidones aislados de varios alimentos (Yutste *et al.*, 1991).

Weurding *et al.* (2001) mostraron que la digestión en el intestino delgado de broilers varía considerablemente entre los alimentos.

Almidón : Utilización

Coeficientes de digestión del almidón en diferentes segmentos del intestino delgado de broilers alimentados con dietas que contienen diferentes fuentes de almidón^{1,2)}.

Fuente de almidón	Contenido de almidón (% as fed)	Coeficientes de digestibilidad (%)			
		Yeyuno posterior	Ileon anterior	Ileon posterior	Tracto total
Trigo	53.9	88.2 ^{ef}	92.9 ^d	94.4 ^d	93.8 ^d
Maíz, hammer-milled	61.0	88.8^{fg}	95.3^e	96.9^{ef}	97.4^{fg}
Maíz, roller-milled	60.9	91.3^g	96.6^f	97.4^f	97.7^g
Maíz, ceroso	58.0	83.9 ^d	94.3 ^{de}	96.6 ^e	97.2 ^f
Frijoles comunes, heat-treated	31.1	36.1 ^b	62.9 ^b	72.3 ^b	74.5 ^b
Cebada	48.8	89.8 ^{fg}	97.3 ^g	98.1 ^g	98.3 ^h
Sorgo	61.6	83.7^d	93.0^d	95.3^d	95.4^e
Habas	37.3	57.4 ^c	73.0 ^c	80.4 ^c	81.0 ^c
Habas horse	34.7	57.0 ^c	74.8 ^c	81.5 ^c	81.5 ^c
Pellets de tapioca	61.7	97.7 ^h	98.7 ^h	98.9 ^h	98.9 ⁱ
Almidón de papa crudo	77.4	19.8 ^a	25.3 ^a	32.9 ^a	31.7 ^a
Arroz brown, no pulido	70.1	85.1 ^{de}	94.8 ^e	96.8 ^a	97.3 ^f

1) n = 6 unidades experimentales/tratamiento. Una UE o corral=10 pollos

2) Medias en una columna sin superíndice común son diferentes, P<0.05.

Adaptado de Wuerding *et al.*, 2001.

Almidón : Utilización

Digestibilidad del almidón de una dieta maíz-soya, usando tres fuentes diferentes de soya, determinada por tres métodos

Componentes básicos de la dieta	n	Métodos de digestibilidad		
		Digestibilidad ileal	Excreta Total	Sibbald (1986)
		% en MS		
Maíz (66,28 %) + Torta de soya 45 % PB	6	89.3	98.5	99.7
Maíz (53,04 %) + Soya extruida 38 % PB	7	92.2	97.9	99.8
Maíz (52,37 %) + Soya tostada 37 % PB	4	92.1	98.2	99.4

Adaptado de Zanella *et al.*, 1999.

Almidón : Utilización

- Varios factores pueden reducir la digestibilidad del almidón (Classen, 1996; Hoover and Zhou, 2003; Tester *et al.*; 2004):

Factores correspondientes al propio gránulo del almidón :

Fuente de almidón

Forma física.

Composición, Proporción Amilosa: Amilopectina

Factores que limitan el acceso de la actividad enzimática:

Interacciones Proteína-almidón (matriz rígida de proteína).

Integridad de la pared celular (arabinoxilanos insolubles en maíz y sorgo) que contiene los gránulos de almidón.

Complejo amilosa-lípidos.

Almidón : Utilización

Otros

Factores anti-nutricionales (PNA solubles, β -glucanos).

Forma física del alimento, grado de procesamiento.

Factores relacionados con el animal: Edad, consumo de alimento, velocidad de tránsito, capacidad de absorción.

Inhibidores de α -amilasa (en frijoles)

Almidón : Utilización

- **Factores: Forma física.** De acuerdo a Moran (1982), la digestibilidad del almidón es una función de :

El área de la superficie del gránulo:

El tamaño del gránulo es diferente entre los alimentos: gránulos más pequeños son generalmente más rápidamente digeridos que gránulos grandes.

Estructura del almidón y grado de cristalinidad

Los gránulos son sintetizados por las plantas como matrices semi-cristalinas. Grado de cristalinidad.

La forma polimórfica cristalina del almidón es dividida en almidones:

Tipo A (predominan en granos de cereales),

Tipo B (en tubérculos y maíz con alto contenido de amilosa)

Tipo C (en almidones de leguminosas).

Los tipos A son más susceptibles al ataque enzimático que los B, y los C son intermedios.

Almidón : Utilización

- Factores: Composición (Proporción amilosa:amilopectina)

Gránulos de almidón con alto contenido de amilosa son frecuentemente considerados menos digestibles.

- También se sugiere la posibilidad de un posible efecto encapsulador de los PNA insolubles o que haya alguna fracción resistente a la digestión enzimática.

En la nutrición humana se han identificado fracciones de los almidones de diferentes fuentes basados en la acción enzimática, como ser:

RDS: Almidones rápidamente digestibles RDS,

SDS: Almidones lentamente digestibles

RS: Almidones resistentes, que escapan de la digestión en el intestino delgado.

Almidón : Utilización

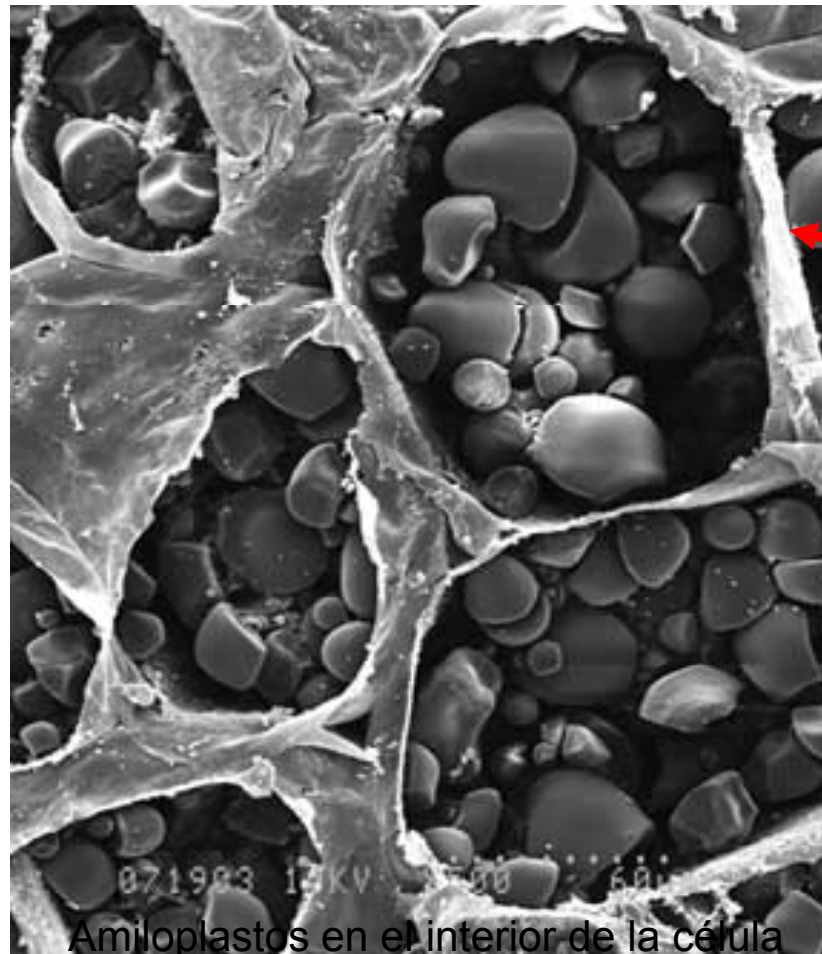
- Los RS han sido subdivididos además en cuatro fracciones separadas (Englyst and Hudson, 1996; Haralampu, 2000):
 - RS tipo I (RS1)**, físicamente inaccesible a la digestión por estar atrapados en una matriz no digestible;
 - RS tipo II (RS2)**, almidón nativo no gelatinizado, con cristalinidad tipo B, lentamente hidrolizado por α -amilasa, como el de la papa y la banana;
 - RS tipo III (RS3)**: almidón retrógrado formado durante el procesamiento térmico;
 - RS tipo IV (RS4)**, almidón modificado químicamente (Englyst and Hudson, 1996; Haralampu, 2000).

Almidón : Utilización

- Los efectos de estas fracciones sobre el rendimiento de las aves han sido muy poco estudiados. Weurding, *et al.* (2003) encontraron diferentes efectos por las fracciones RDS (en el yeyuno posterior) y SDS (medido en el íleon) en el rendimiento de pollos parrilleros.

PNA en granos de cereales no viscosos

- Células del endosperma amiláceo



Pared Celular

Amiloplastos en el interior de la célula

PNA en granos de cereales no viscosos

Valores típicos para contenidos de polisacáridos y lignina de alimentos (% de MS)

	Almidón	Polisacáridos No Almidón (PNA)			Lignina	DF	
		Celulosa	Polis. No Celulosa				Total PNA
			Soluble	Insoluble			
Maíz	69.0	2.2	0.9	6.6	9.7	1.1	10.8
Trigo	65.1	2.0	2.5	7.4	11.9	1.9	13.8
Centeno	61.3	1.6	4.2	9.4	15.2	2.1	17.4
Cebada-con cáscara	58.7	4.3	5.6	8.8	18.7	3.5	22.2
Cebada-sin cáscara	64.5	1.0	5.0	6.4	12.4	9.0	13.3
Avena-con cáscara	46.8	8.2	4.0	11.0	23.2	6.6	29.8
Avena-sin cáscara	55.7	1.4	5.4	4.9	11.7	3.2	14.8
Trigo salvado/afrecho	22.2	7.2	2.9	27.3	37.4	7.5	44.9
Avena, cascarilla	21.3	19.6	1.3	29.5	50.4	14.8	65.3
Soybean meal	2.7	6.2	6.3	9.2	21.7	1.6	23.3
Canola meal	1.8	5.2	5.5	12.3	23.0	13.4	35.4
Habas	45.4	5.3	5.2	7.6	18.1	1.2	19.2
Pulpa de remolacha	0.0	19.5	40.7	17.7	77.9	3.5	81.4

DF: Fibra Dietética.

Adaptado de Bach Knudsen, 1997

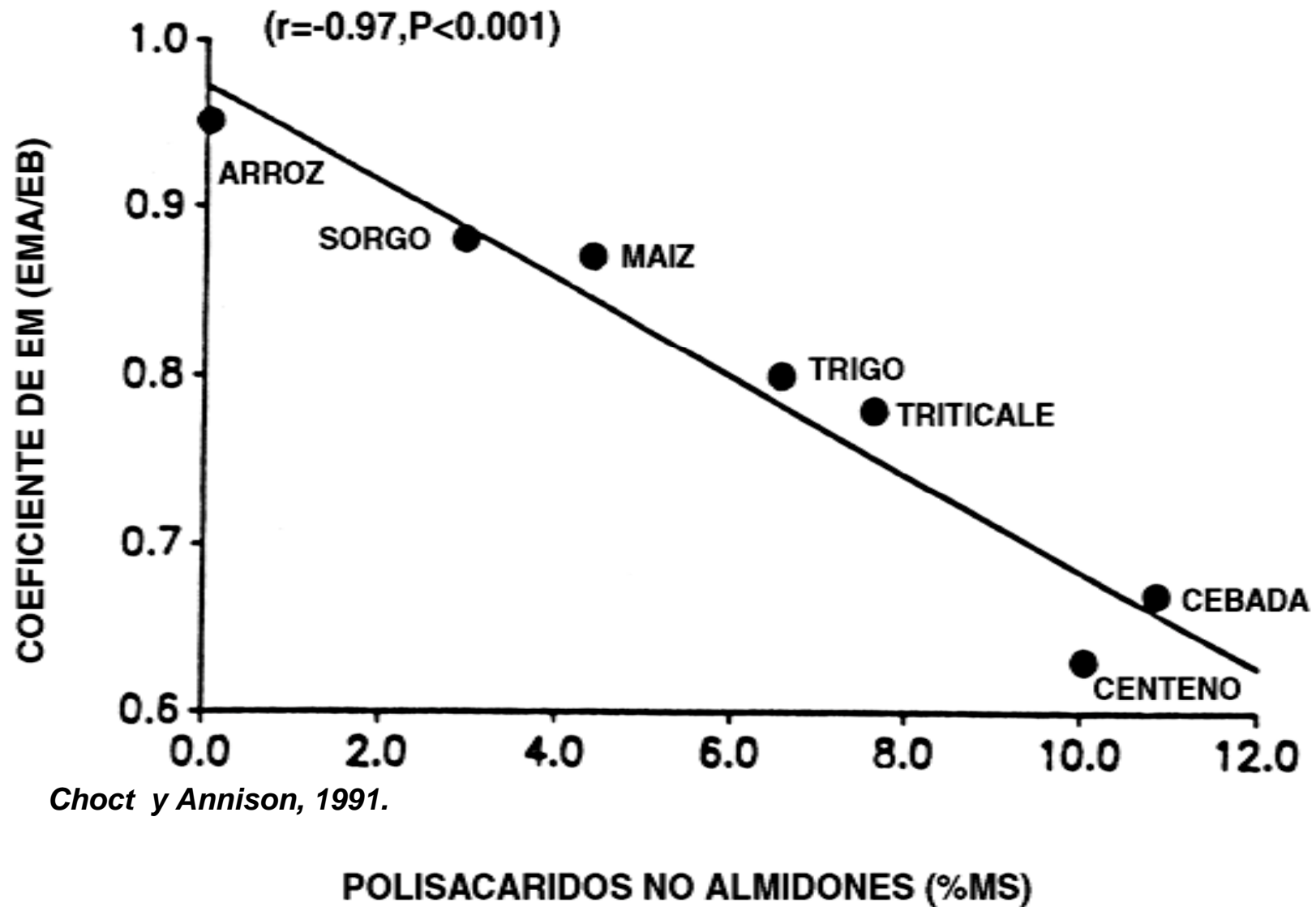
PNA en granos de cereales no viscosos

PNA en Granos de cereales NO VISCOSOS

Material	Total	Composición de Polisacáridos No Almidones (% MS)					
		Celul.	Polisacáridos No Celulósicos				Uron.
			Arabinoxilan.	B-Glucan.	Manosa	Galact.	
Maíz							
Soluble	0.1		0.1	t	t	t	t
Insoluble	8.0	2.0	5.1		0.2	0.6	t
Total	8.1	2.0	5.2		0.2	0.6	t
Sorgo							
Soluble	0.2		0.1	0.1	t	t	t
Insoluble	4.6	2.2	2.0	0.1	0.1	0.15	t
Total	4.8	2.2	2.1	0.2	0.1	0.15	t

Adaptado de Choct, 1997

PNA: Efectos en granos de cereales



Choct y Annison, 1991.

Enzimas para ingredientes proteicos vegetales (IPV)

Enzimas para IPV

- Para enfrentar los problemas originados por un mayor nivel de inclusión de ingredientes proteícos vegetales (IPV) se han evaluados diferentes actividades:
 - Complejos multienzimáticos con actividades pectinasas, hemicelulasas, etc., para degradar PNA.
 - α -galactosidasas: para α -galactosidos (rafinosa, estaquiosa).
 - β -mananasas: β -mananos.
- Las enzimas más investigadas son complejos de carbohidrasas conteniendo poligalacturonasa (pectinasa), cuyo substratos objetivos son las pectinas contenidas en ellos (Kocher, 2000).

Enzimas para IPV: 1

Efecto de carbohidrasas para PNA y oligosacáridos en dietas maíz-soya

	Período (días)	Control - Enz.	Control + Enz. A	Control + Enz. B	Control + Enz. C
Peso corporal, gr					
	7	147	146	143	140
	14	358	375	352	353
	21	715 ^{ab}	743 ^a	694 ^b	698 ^b
	28	1116 ^b	1214 ^a	1148 ^b	1125 ^b
C.A., gr/gr	0 - 28	2.29 ^{ab}	2.11 ^a	2.64 ^b	2.51 ^b

Enz. A: Principales actividades, endo-1,3(4)- β -glucanasa (EC 3.2.1.6), pentosanasa, hemicelulasa y actividades que hidrolizan sustancias pécticas

Enz. B: Actividades principales endo-1,4-beta-glucanase (EC 3.2.1.4), endo-1,3(4)-beta-glucanase (EC 3.2.1.6), endo-1,4-beta-xylanase (EC 3.2.1.8)

Enz. C: Actividad principal α -galactosidasa (EC 3.2.1.22),

Adaptado de Centeno *et al.*, 2006.

Enzimas para IPV: 2

Validación de un complejo multienzimático para degradar polisacáridos no almidones de ingredientes proteicos vegetales en pollos
Nagashiro *et al.*, 2006. APINCO

Grados de enriquecimiento de IPV por el complejo multienzimático

Ingredientes	Tratamientos (Niveles DIF)			
	Control (T1)	Bajo (T2)	Medio (T3)	Alto (T4)
Soybean Full Fat				
EM	0	2	4	6
PB/AA	0	3	5	7
Soybean Meal				
EM	0	3	5	7
PB/AA	0	4	6	8

El producto multienzimático contiene varias y diferentes actividades enzimáticas, principalmente CARBOHIDRASAS (Pectinasas, Hemicelulasa, Celulasa, Beta-glucanasa Fungal de la fermentación del *A. aculeatus*), para la degradación de PNA de IPV, especialmente las sustancias pécticas y otros.

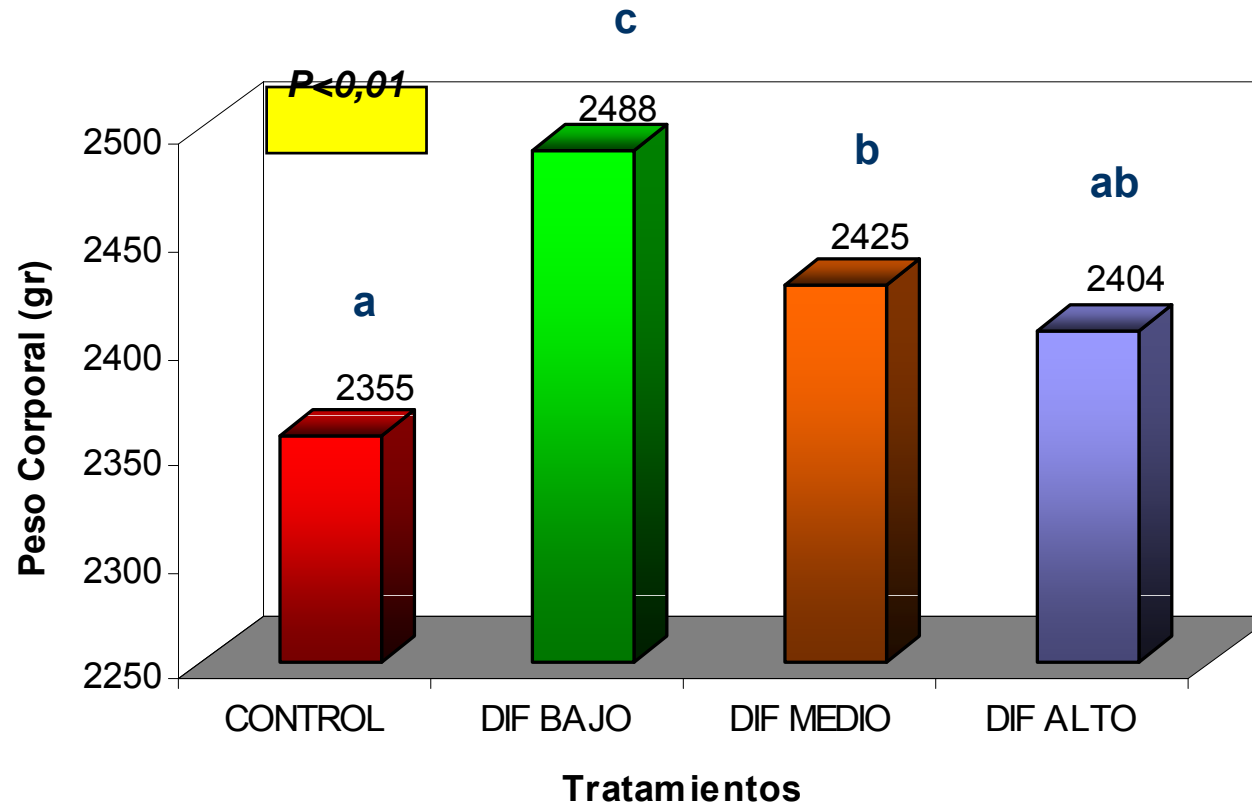
Enzimas para IPV: 2

Efectos sobre el rendimiento de pollos a 49 días.

	Tratamientos				Prob.
	T1	T2	T3	T4	
Peso corporal (Kg)	2355 ^a	2488 ^c	2425 ^b	2404 ^{ab}	P<0,01
Gano de peso (g)	47,2 ^a	49,9 ^c	48,6 ^b	48,2 ^{ab}	P<0,01
CA (Kg/Kg)	1,70 ^b	1,59 ^a	1,60 ^a	1,68 ^b	P<0,01
IEE	273 ^a	307 ^c	299 ^{bc}	282 ^{ab}	P<0,01
Mortalidad (%)	2,6	2,8	2,6	2,6	NS

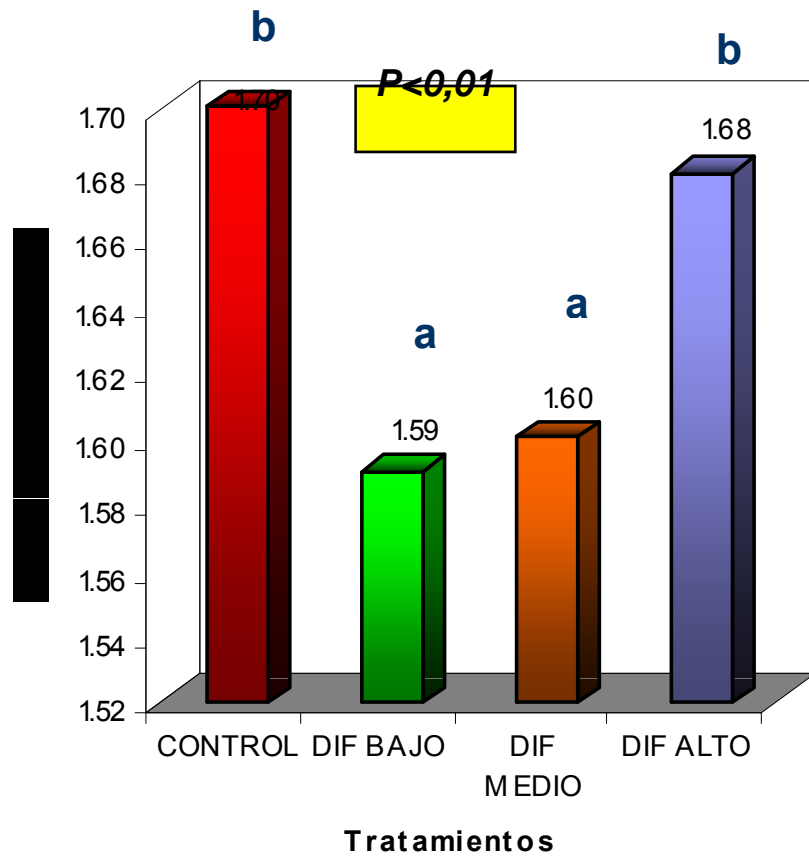
Enzimas para IPV: 2

- Efecto sobre el Peso Corporal a 49 días

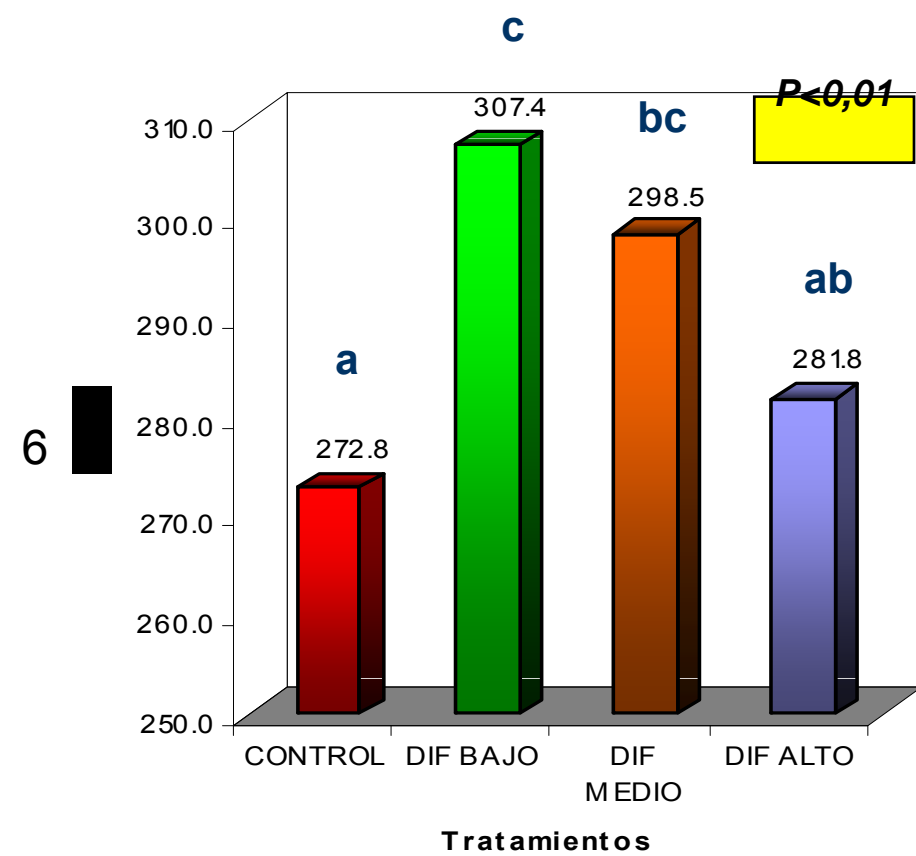


Enzimas para IPV: 2

- C.A. a 49 días



- I.E.E. a 49 días



Enzimas para IPV: 3

Revalidación de un complejo multienzimático para degradar pna de ingredientes proteicos vegetales en pollos

Nagashiro, C. y R. Camargo, 2008. APINCO

Grados de enriquecimiento de IPV por el complejo multienzimático

Ingredientes	Tratamientos (Niveles DIF)			
	Control (T1)	Bajo (T2)	Medio (T3)	Alto (T4)
<i>Soybean Full Fat</i>				
EM	0	3	5	7
PB/AA	0	4	6	8
<i>Soybean Meal</i>				
EM	0	4	6	8
PB/AA	0	5	7	9

El producto multienzimático contiene varias y diferentes actividades enzimáticas, principalmente CARBOHIDRASAS (Pectinasas, Hemicelulasa, Celulasa, Beta-glucanasa Fungal de la fermentación del *A. aculeatus*), para la degradación de PNA de IPV, especialmente las sustancias pécticas y otros.

Enzimas para IPV: 3

Efectos sobre el rendimiento de pollos a 46 días.

	Tratamientos				Prob.
	T1	T2	T3	T4	
Peso corporal (gr)	2420 ^{ab}	2468 ^{bc}	2519 ^c	2399 ^a	$P < 0.030$
CA (Kg/Kg)	1.67 ^a	1.67 ^a	1.66 ^a	1.71 ^b	$P < 0.050$
Mortalidad (%)	10.4 ^a	4.5 ^b	5.7 ^b	4.1 ^b	$P < 0.004$

Ingredientes proteicos vegetales

- Vegetales normalmente usados como fuentes de proteína en la alimentación de aves y cerdos:
 - Oleaginosas y sus tortas: Soya, Girasol, Canola (Rape),
 - Leguminosas de granos: Lupino (*L. albus*, *L. angustifolius*, *L. luteus*), Frejoles (*Phaseolus sp.*, *Vigna sp.*, *Canavalia sp.*, *Lens sp.*) y Habas (*Pisum sp.*, *Vicia sp.*)
- Sin embargo necesitan ser procesados y limitados en su nivel de inclusión por la presencia de Factores Anti-Nutricionales (ANF), de naturaleza variada, pues
 - Reducen la digestibilidad de nutrientes
 - Inhiben el crecimiento
 - Producen efectos digestivos indeseables

Ingredientes proteicos vegetales

- Los ANF de los Ingredientes Proteicos Vegetales (VP), se agrupan en :

Componentes proteicos: Inhibidores de proteasas o lectinas.

Compuestos polifenólicos: Taninos.

Glucósidos: Saponinas.

Alkaloides: Glucosinolato.

Agentes ligantes de metales: Fitatos.

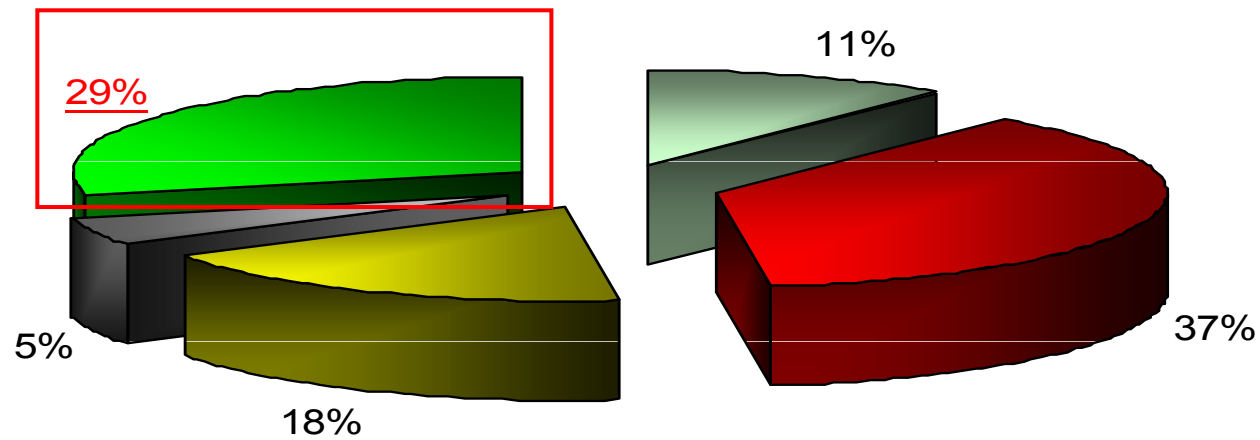
Carbohidratos indigestibles: Oligosacáridos (OS) y Polisacáridos No Almidones (PNA)

Ingredientes proteicos vegetales

- El valor nutricional de los IPV, puede ser mejorado por la eliminación o reducción de la concentración de los ANF (Kocher, 2000).
- Los métodos normalmente usados son :
 - Mejoramiento genético vegetal
 - Procesamiento : Tratamiento térmico, descascarillado, germinación, etc.
 - Suplementación o uso de enzimas: para PNA, mayormente POLIGALACTURONASAS (PECTINASAS).

Ingredientes proteicos vegetales

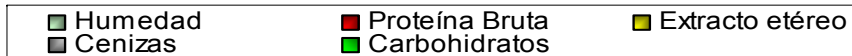
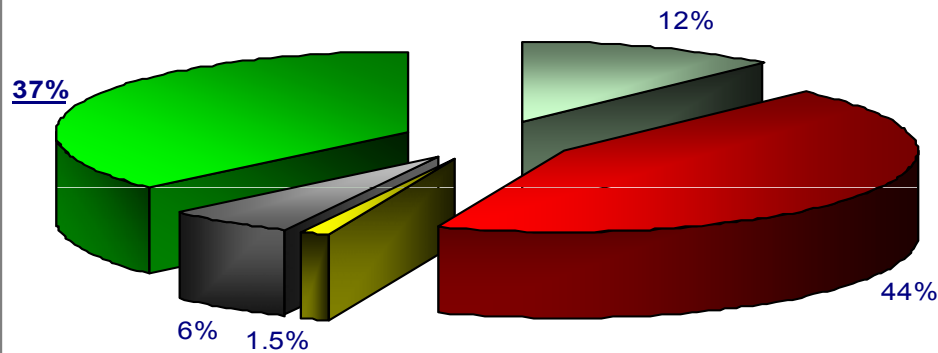
Composición Química de Full fat Soybean (% as fed)



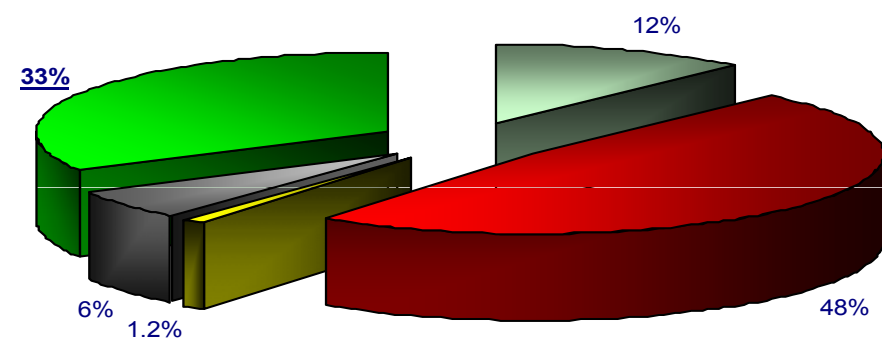
Ingredientes proteicos vegetales

Composición Química de Soybean meal (% as fed)

Soybean meal 44



Soybean meal 48



PNA en IPV

Componentes Carbohidratos de la Full fat Soybean

Carbohidratos	Composición	
	% as fed	En %
Almidón	2.0	6.9
Oligosacáridos		
- <i>Sacarosa</i>	3.6	12.4
- <i>Rafinosa</i>	0.71	2.4
- <i>Estaquiosa</i>	3.6	12.4
PNA	19.1	65.8
Total	29.0	100

PNA en IPV

- En los IPV oleaginosos el nivel de almidón es bajo y variable, y es un CHO de reserva transitorio, que luego se convierte en aceite.
- Los PNA en IPV cumplen las funciones de :
 - Depósito de energía, por su bajo contenido de almidón (1-3 %).
 - Componentes estructurales
- En el caso soya, fueron caracterizados :
 - Primero como hemicelulosas; se reportó que la soya contenía aprox. un 22,7 % de PNA como hemicelulosas (Chesson, 1987).
 - Luego se los identificó como POLISACARIDOS PECTICOS (Choct, 1997; Chesson, 2001).

PNA en IPV

- A diferencia de los granos de cereales, los PNA pécticos de los IPV estructuralmente son más complejos, y todavía no se tiene claro sus efectos antinutritivos.
- Los PNA neutros como la celulosa, xilanos, arabinoxilanos y xiloglucanos, componentes principales en PNA de PC del endosperma de cereales; en las leguminosas se encuentran solo en la cascarilla, y muy poco en la PC de las células del endosperma.
- Además de los PNA, las semillas de leguminosas contienen otros CHO oligosacáridos como la sacarosa (4%), y los α -Galactósidos, de la serie Rafinosa, rafinosa (0,8 %) y la estaquiosa (3,3 a 4,0 %).

PNA en IPV

Niveles de PNA en Ingredientes proteicos vegetales

(Annison and Choct, 1993; Choct, 1997)

		Polisacáridos No Almidones (%)			Principales PNA
		Total	Soluble	Insoluble	
Lupino	(<i>L. angustifolius</i>)	36.6	4.6	32.0	Rhamnogalacturonano + arabinosa y galactosa
Lupino grano		24.5	2.7	21.8	
Soya	(<i>G. max</i>)	19.2	2.7	16.5	Galacturonanos, arabinanos + galactosa
Canola	(<i>B. campestris</i>)	46.1	11.3	34.8	Arabinogalactanos, uronanos
Girasol	(<i>H. annus</i>)	27.6	4.5	23.1	N/A
Haba	(<i>P. sativum</i>)	34.7	2.5	32.2	Rhamnogalacturonanos, glucanos
Frejol Navy	(<i>P. vulgaris</i>)	17.4	5.7	11.7	Uronanos + arabinosa, glucanos
Haba Chick	(<i>C. arietinum</i>)	10.7	3.3	7.4	N/A

PNA en IPV

Composición de PNA en *Ingredientes Proteicos vegetales*

Material	Almid.	Total NSP	Composición de Polisacáridos No Almidones (% MS)							
			Celul.	Polisacáridos No Celulósicos						
				Rhamn.	Fucosa	Arabin.	Xilosa	Manosa	Galact.	Glucosa
Soya										
Soluble		2.7	-	0.1	t	0.5	0.1	0.2	0.6	0.2
Insoluble		16.5	4.4	0.2	0.3	2.4	1.7	0.7	3.9	0.3
Total	1.0	19.2	4.4	0.3	0.3	2.9	1.8	0.9	4.5	0.5
Girasol, semilla										
Soluble		4.5	-	0.2	0.1	0.6	t	0.1	0.3	t
Insoluble		23.1	8.7	0.3	0.1	3.0	5.3	1.1	0.9	0.4
Total	1.4	27.6	8.7	0.5	0.2	3.6	5.3	1.2	1.2	0.4
Lupino										
Soluble		4.6	-	0.3	t	t	t	t	3.3	0.1
Insoluble		32.0	1.2	0.5	t	3.9	0.7	0.1	22.9	0.2
Total	0.4	36.6	1.2	0.8	t	4.9	0.7	0.1	26.2	0.3

Adaptado de Choct, 1997

Beneficios económicos del uso de Enzimas

- Los beneficios productivos observados por una mejora en la digestibilidad de diferentes sustratos por diferentes actividades enzimáticas, generan beneficios económicos mediante:

Reducción en el uso de materias primas para una misma especificación química nutricional de la fórmula, sin afectar rendimiento. Por ejemplo:

Menor uso de fosfatos por el uso de fitasas

Menor uso de ingredientes proteicos vegetales (soyas) y aceite por el uso de otros productos enzimáticos.

Esto genera un ahorro económico importante, especialmente bajo la actual situación de precios de las materias primas. El ahorro es variable y dependiente del precio de las materias primas y del tipo de formulación.

Perspectivas

- Areas futuras en el uso de enzimas (Marquardt and Brufau, 1997; Choct, 2006)

Mejoramiento de la calidad y eficacia de los actuales productos enzimáticos que están disponibles en el mercado en relación a costo, estabilidad térmica, resistencia a la digestión en el tracto digestivo (a proteasas y ácido digestivo) y una mejora de la actividad enzimática en la sección objetivo del tracto gastrointestinal.

Una disponibilidad de diferentes enzimas producidas por la industria de la biotecnología.

Perspectivas

Fuentes alternativas de enzimas obtenidas por ingeniería genética que han sido seleccionadas y/o diseñadas para un sustrato objetivo particular y una especie animal. Las enzimas que se incluyen serían aquellas producidas por microorganismos, semillas y las del propio animal por tecnología recombinante de ADN.

Un número ampliado de alimentos y subproductos (salvado de trigo y de arroz, ingredientes no convencionales como DDGS, etc.) que respondan a los tratamientos con enzimas.

El desarrollo y estandarización de procedimientos para evaluar diferentes productos enzimáticos;

Más investigaciones sobre los mecanismos por el cual las enzimas producen sus efectos benéficos.

Perspectivas

Mayor énfasis sobre otros beneficios de las enzimas tales como efectos para reducir la polución, la partición de nutrientes y la alteración de la respuesta endocrina y el estado de salud del animal, especialmente sobre la microflora intestinal y el sistema inmune.

Producción de enzimas que desactiven otros factores antinutricionales presentes en los ingredientes de origen vegetal, además de PNA y fitato.

Desarrollo de modelos para pronosticar la respuesta a las enzimas en alguna clase de animal y con cualquier alimento de tal manera que faciliten los estudios de costo:beneficio.

Un rango de uso ampliado de las enzimas en las dietas de aves y otros animales domésticos, incluyendo otras clases de aves, cerdos, peces y animales exóticos, tales como lagartos y tortugas.

¡¡Muchas gracias!!