

**UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA DE AGRONOMIA**

**Degradabilidad ruminal del grano de maíz procesado  
por extrusión y rolado al vapor**

Tesis presentada como parte de los  
requisitos para optar al grado de  
Licenciado en Agronomía

**Yasna Lizeth Velásquez Ríos.**

VALDIVIA-CHILE  
2007

**PROFESOR PATROCINANTE:**

René Anrique G.  
Ing. Agr., Mg. Sci., Ph.D.

---

**PROFESORES INFORMANTES:**

Daniel Alomar C.  
Ing. Agr., Mg. Sci.

---

Luis Latrille L.  
Ing. Agr., M. Sc., Ph. D.

---

## INDICE DE MATERIAS

Capítulo		Página
1	INTRODUCCION	1
2	REVISION BIBLIOGRAFICA	3
2.1	Producción Nacional de maíz	3
2.2	Cereales como recurso alimenticio	3
2.2.1	Sitio de digestión del almidón	5
2.2.2	Degradabilidad ruminal de otros granos frente al procesamiento	6
2.3	Tratamientos industriales del maíz	7
2.3.1	Procesamiento por rolado	8
2.3.2	Procesamiento por extrusión	9
2.4	Efectos del procesamiento en la degradabilidad ruminal	10
2.4.1	Efectos en digestibilidad y producción	10
2.5	Descripción de la técnica <i>in situ</i>	14
2.5.1	Incubación en los animales y su dieta	14
2.5.2	Material y tamaño de poro de las bolsas	15
2.6	Dinámica degradativa	15
3	MATERIAL Y METODO	17
3.1	Ubicación y duración del estudio	17
3.2	Características del estudio y tratamientos	17
3.3	Características de los maíces	17
3.4	Tipo de animal y dieta	18
3.5	Procedimiento in situ	18
3.6	Procedimiento experimental	19
3.6.1	Preparación de las muestras	19

3.6.2	Tiempo de incubación y número de repeticiones	20
3.7	Manipulación de las muestras post incubación	20
3.8	Diseño experimental y análisis estadístico	20
4	PRESENTACION DE RESULTADOS	23
4.1	Composición de los alimentos	23
4.2	Degradabilidad observada de la materia seca	23
4.3	Dinámica degradativa.	25
4.4	Degradabilidad potencial	28
4.5	Degradabilidad efectiva de la materia seca	30
5	DISCUSION DE RESULTADOS	32
6	CONCLUSIONES	36
7	RESUMEN SUMMARY	37
8	BIBLIOGRAFIA	41

## INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Métodos de procesado de los granos de cereales.	8
2	Composición química del grano de maíz normal molido, extruído y rolado al vapor (BMS).	23
3	Valores promedio de MS degradada (%) según tiempo de fermentación.	24
4	Constantes degradativas para el grano de maíz normal, extruído y rolado al vapor.	26
5	Degradabilidad potencial (%MS) a tiempo "t" para maíces procesados.	28
6	Degradabilidad acumulada de la fracción "a+b" a distintos tiempos de incubación ruminal.	30
7	Porcentaje de MS efectivamente degradable de maíces sometidos a procesamiento para una tasa de pasaje de 2, 5 y 8%/hr.	30

## INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Degradabilidad promedio de MS observada para tres tipos de procesado del maíz.	25
2	Proporciones relativas de las fracciones degradadas (a, b y fracción insoluble C) de los maíces evaluados.	27
3	Curva de degradabilidad <i>in situ</i> de maíces sometidos a procesado según modelo de Orskov y Mc Donald.	28
4	Materia seca degradada (a+b) de maíz en diferentes períodos de fermentación (h).	29
5	Degradabilidad efectiva de la MS de maíz molido, rolado y extruído.	31

## INDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Determinación de MS degradada para maíz normal en diferentes tiempos de incubación.	45
2	Determinación de MS degradada para maíz rolado a distintos horarios de incubación.	46
3	Determinación de MS degradada para maíz extruído a distintos horarios de incubación.	47
4	Tabla de andeva con 1% de significancia.	50
5	Prueba de Tukey para tiempo	48
6	Prueba de Tukey para tratamientos	48

## **AGRADECIMIENTOS**

Sin duda una etapa tan importante de mi vida no habría podido concretarse de no ser por la ayuda de todas las personas que me acompañaron en este maravilloso proceso.

A don René Anrique, quien me dió la oportunidad de realizar este estudio, por su valiosa colaboración en todas las etapas de esta tesis, por su confianza, tolerancia y amistad.

A mis profesores informantes Don Daniel Alomar y Luis Latrille, por su oportuna ayuda.

Al personal del Laboratorio de forrajeras del instituto de Producción Animal y del Centro Experimental Vista Alegre, por su excelente disposición en el desarrollo de este estudio.

A mi hija, la persona que más amo en la vida y a mi esposo quien ha estado conmigo desde el inicio de este gran desafío, por su incondicionalidad en cada momento.

Por su puesto, no puedo dejar de mencionar a mis padres quienes confiaron en su hija y le dieron la oportunidad de demostrarle que no se equivocaron. Gracias por su esfuerzo continuo y apoyo.

A mi hermano quien ha sido un gran amigo y apoyo en todo el desarrollo de mi carrera.

A mis amigas Jacqueline Silva y Roxana Castillo que siempre me brindaron su apoyo, su gran amistad y compañerismo en momentos difíciles.

Mi gratitud es para todos aquellos quienes de alguna u otra forma hicieron posible la realización de este sueño.



## 1 INTRODUCCION

En la producción intensiva de rumiantes, el almidón y la proteína constituyen los nutrientes básicos de sus raciones alimenticias, siendo los cereales y los concentrados proteicos de origen vegetal o animal, sus principales fuentes.

Entre las fuentes energéticas, el grano de maíz es el alimento de mayor uso para el ganado, no obstante, existen marcadas diferencias entre granos de cereales. Estas diferencias son conocidas hace décadas, siendo el almidón de sorgo y maíz crudo los que presentan menor degradabilidad ruminal (THEURER et al, 1999).

Esta baja degradabilidad puede ser favorable desde el punto de vista de una menor reducción del pH del rumen, pero desfavorable desde el punto de vista del equilibrio energético, principalmente de la sincronización en la entrega de energía a proteína a las bacterias ruminales.

Para favorecer este equilibrio energético la industria alimentaria ha optado por utilizar técnicas de procesamiento, como el rolado al vapor y la extrusión, que facilitan el acceso de los microorganismos ruminales al sustrato.

La oferta de maíz procesado en el país ha ido en aumento, principalmente la de maíz rolado al vapor, existiendo también una disponibilidad reciente de maíz extruído, proceso del cual se dispone de escasa información a nivel internacional e influenciado por que la extrusión se aplica poco en el caso del grano de maíz

Las hipótesis del presente estudio son:

- Que el tratamiento del grano de maíz a través de rolado o extrusión, aumenta la degradabilidad ruminal siendo la técnica de extrusión más efectiva que la del rolado y la del rolado más efectiva que el molido, debido a un efecto más marcado sobre el almidón.
- Las diferencias de degradabilidad debidas al procesamiento debieran manifestarse principalmente en las primeras horas de fermentación.

Por consiguiente se ha diseñado un estudio evaluativo de maíces procesados con los siguientes objetivos:

Objetivo General:

Cuantificar la degradabilidad y la dinámica degradativa del grano de maíz sometido a los tratamientos de molido, rolado al vapor y extrusión.

Objetivo específico:

Evaluar la degradabilidad potencial y efectiva de la MS, la magnitud de la fracción soluble, fracción insoluble y la tasa de degradación de esta para los diferentes tratamientos del grano.

## **2 REVISION BIBLIOGRAFICA**

### **2.1 Producción Nacional de Maíz**

De acuerdo con información proporcionada por ODEPA, la superficie nacional de maíz alcanzó 134.900 has para el año 2006/2007, habiéndose observado 101.000 en 1990 (ODEPA, 2006).

El considerable aumento de la superficie de siembra se debe a un aumento en la demanda por este producto destacándose el importante uso de este cultivo como alimento en nutrición animal, especialmente de monogástricos.

### **2.2 Cereales como recurso alimenticio**

Junto al sostenido aumento de la demanda por cereales en el área nutricional agrícola del país, la necesidad nacional de carne y leche, además de la agresiva competencia entre productores por ingresar a mercados externos, ha llevado a la industria alimentaria a mejorar la calidad nutritiva de sus productos, generándose así una necesidad vital de generar alimentos que cumplan con un mercado exigente, competitivo y desarrollado a través de la evaluación de técnicas de alimentación más eficientes con recursos alimenticios tradicionales, pero con un denominador común; que sean atractivas para el productor y el consumidor.

Una dieta balanceada, especialmente para animales con altos niveles de producción, necesariamente requiere de un suplemento energético o proteico que cubra sus necesidades. Frente a esta necesidad muchos estudios concluyen que los granos de cereales suplen perfectamente la necesidad energética del animal (ORSKOV, 1990).

El grano de maíz contiene entre un 70 y 80 % de almidón, concentrado en el endospermo (ORSKOV, 1990). Esta característica es clave en la forma en que este grano se degrada en el rumen, puesto que la estructura del grano tiene influencia directa sobre la digestibilidad del almidón y el efecto del procesado.

En el endospermo se forman gránulos compuestos principalmente por amilopectina, el componente más abundante del almidón cuya estructura ramificada, según French (1984) citado por GUADA (2003), comprende zonas organizadas o cristalinas, compuestas por los residuos lineales de  $\alpha$ -1,4 glucosa y zonas amorfas ricas en residuos de  $\alpha$ -1,6 glucosa o puntos de ramificación.

El componente minoritario del almidón, la amilosa (polímero lineal de  $\alpha$ -1,4 glucosa), se encuentra unido a la estructura de la amilopectina por puentes H, localizados fundamentalmente en las regiones amorfas. Estas regiones de la estructura del almidón se relacionan con la resistencia al ataque enzimático, es así cómo se ha observado que las regiones cristalinas de la molécula de almidón son resistentes al ingreso del agua y las enzimas, mientras que las regiones amorfas son más permeables al agua y susceptibles a la acción enzimática (GUADA, 2003).

Generalmente las enzimas comienzan su accionar en esta región, aunque se encuentra restringido por la matriz proteica que encapsula los gránulos de almidón y por la compactación natural del almidón (ZINN et al, 2002).

Se ha observado que la retención del grano entero en el rumen hasta su fragmentación es especialmente importante por la elevada resistencia que presenta por su pericarpio, a la degradación ruminal. Por ello el suministrar grano entero en la dieta es una forma que se utiliza poco, ya que se ha observado la aparición de algunos granos enteros en las fecas.

BEAUCHEMIN et al (1994), señalan que en aquellas dietas con granos enteros que no han sido sometidos a daños físicos durante la rumia, su digestión se ve seriamente limitada.

Por ello actualmente se muelen los granos con el propósito de ayudar a los animales jóvenes cuyos dientes aún no se han desarrollado completamente, así como en animales viejos, con su dentadura desgastada a asimilar de mejor forma su alimento (Van Soest y Mc. Queen, 1973 citados por CORTES, 1997).

Con estos antecedentes queda de manifiesto que los cereales pueden ser utilizados de diversas formas. Sin embargo, estos deben someterse a algún tipo de tratamiento antes de ser suministrados a los rumiantes, siendo los más comunes el molido y aplastado (Cañas, 1995 citado por JAHN et al, 1999).

Al parecer no todos los granos se comportan de la misma manera y existen marcadas diferencias en la velocidad de degradación de los distintos granos, así el 90 % del almidón del trigo es rápidamente degradado a nivel ruminal, a diferencia del maíz en que alrededor de un 40% de su almidón llega al intestino sin ser degradado (Orskov, 1986, citado por THOMPSON et al, 1999).

Rearte (1997), citado por PULIDO et al (2002), señala que el almidón sería mejor recurso energético que otros carbohidratos, ya que se fermenta lentamente y por tanto, es mejor para el crecimiento bacteriano.

**2.2.1 Sitio de Digestión del almidón.** Para entender el proceso digestivo es importante aclarar principios erróneos, tales como pensar que los rumiantes se comportan como los monogástricos al administrarles granos de cereales. Los cerdos y las aves digieren el almidón y absorben la glucosa, los rumiantes en cambio, fermentan el almidón en el rumen y absorben los Ácidos Grasos Volátiles (AGV).

Cuando el animal come un alimento concentrado, la fermentación no es precisamente la alternativa más conveniente, debido a que la fermentación genera pérdidas de energía y el animal tiene la capacidad de digerir el almidón sin necesidad de fermentarlo (ORSKOV, 1990).

El resultado final es que el rumiante no es capaz de transformar en el interior de su organismo, los alimentos con la misma eficacia que lo harían los no rumiantes debido, principalmente, a las pérdidas en forma de gases y de calor originadas por la actividad de los organismos.

**2.2.2 Degradabilidad ruminal de otros granos frente al procesamiento.** En lo que respecta al almidón como fuente energética, se observa que los alimentos más utilizados en el ámbito productivo son los granos de maíz, sorgo, cebada y trigo.

Se ha demostrado que la elevada degradabilidad de la cebada y el trigo entero limitan su potencial de respuesta a un método de procesado, teniendo este efecto prácticamente despreciable en estas fuentes de grano, por ello que en estos granos no son procesados fuertemente por métodos que incluyan calor (Huntington, 1997 citado por FIRKINS, 2001).

No obstante el maíz entero que es de lenta degradación y grano de sorgo que es aún más resistente a la degradabilidad, tienen una respuesta potencial mayor al ser sometidos a procesado (THEURER et al, 1999).

Esta respuesta se corrobora en ensayos realizados por THEURER et al (1999), donde demostraron que la digestibilidad ruminal del almidón tiene una alta correlación ( $r=0.82$ ) con la digestibilidad total del almidón en el tracto digestivo y con el porcentaje de proteína de la leche ( $r=0.73$ ).

### **2.3 Tratamientos industriales del maíz**

El uso de técnicas de procesado en el área nutricional es una práctica común en la Industria alimenticia. Estos métodos son realizados bajo distintos estándares de procesamiento obteniéndose granos tratados en seco-frío, húmedo-frío, caliente-seco y caliente-húmedo entre otros (Cuadro 1).

En los tratamientos en húmedo se logra un aumento de la superficie de contacto microorganismo- sustrato a través de la destrucción del pericarpio. La presencia de agua aumenta la plasticidad de las regiones amorfas, favoreciendo considerablemente la desestructuración de las regiones cristalinas (Rooney y Plugfelder, 1986 citados por GAEBE, 1998)

Mediante la aplicación de calor (extrusión y rolado al vapor), se consigue un cierto grado de gelatinización de los gránulos de almidón. Esto se logra por efecto del aire seco (expandido del grano), o bien por efecto de la presión y fricción que es producida al forzar el grano entero a través de un cilindro con superficie rugosa, mediante un tornillo en espiral (extrusión) lo que provoca su molturación y calentamiento (GUADA, 2003).

Tanto el aplastado como la presión son métodos usados con frecuencia. Ambos producen efectos que son reforzados con la aplicación de calor húmedo mediante el tratamiento previo con vapor; de esta manera se consigue un mayor grado de gelatinización del almidón.

El tratamiento previo con vapor es también usado en la granulación y extrusión, consiguiéndose en este último caso una importante expansión del grano al cesar repentinamente la presión durante la expulsión del material. Existe importante evidencia que apoya la aplicación de energía en los granos, de manera de romper los puentes H intermoleculares provocando la gelatinización del almidón o pérdida irreversible de su estructura original.

Ahora bien, la importancia de la gelatinización de los gránulos de almidón radica en la acción que tiene esta sobre una mayor absorción de agua, con expansión de los granos que exuda parte de la amilosa y de esta manera aumenta su susceptibilidad a la hidrólisis enzimática. (Rooney y Plugfelder, 1986 citados por GAEBE et al, 1998).

La gelatinización comienza con la amilosa en la zona amorfa a través de la ruptura de enlaces, mientras que la penetración de calor y agua ocurre más lentamente y por la región cristalina, ayudada por la mayor plasticidad de la región amorfa (GUADA, 2003).

En el Cuadro 1 se observan los principales métodos de procesado de los granos de cereales, los cuales pueden encontrarse en revisiones realizadas por autores tales como Hale (1973); Hale y Theurer (1974); Beeson y Perry (1982) y Tait y Beames (1982) citados por GUADA, 2003.

**CUADRO 1. Métodos de procesado de los granos de cereales.**

Tratamientos		
Frio	Seco	Humedo
	Triturado	Maceración
	Molido	Reconstitución
Caliente	Aplastado	Tratamiento alcalino
	Expandido	Aplastado al vapor
	Micronizado	Granulado
	Torrefactado	Cocción a presión
	Extrusionado	Descompresión

FUENTE: GUADA (2003).

**2.3.1 Procesamiento por rolado.** La Industria alimenticia ha concentrado sus esfuerzos en nuevas técnicas de procesamiento de alimentos, de manera de favorecer la digestión del animal. Una de ellas es el rolado o laminado que se emplea principalmente en cereales como el sorgo y el maíz, que poseen un almidón más denso que sus pares (GUADA, 2003).



El proceso de rolado consiste en aplicar vapor a 100° C y 1 atmósfera de presión por 30-40 minutos hasta alcanzar una humedad de 18-20% para luego pasarlos por rodillos con una separación de 0.005 mm (ALOMAR y PULIDO, 2001).

La combinación de calor y humedad provoca un alto grado de gelatinización del almidón que unido a la mayor superficie de exposición lograda al aplastar el grano húmedo y caliente, aumenta considerablemente la degradación enzimática y su velocidad de fermentación ruminal según la intensidad del tratamiento aplicado al grano.

**2.3.2 Procesamiento por extrusión.** Se entiende por extrusión, como la ciencia de la transformación (gelatinización) de los almidones con bajos niveles de humedad (Harper, 1981 citado por GAEBE et al, 1998). En este proceso el alimento es forzado a pasar por un espacio reducido de diámetro regulable a alta presión. La fuerza de roce producida rompe la estructura celular, incrementa la temperatura y gelatiniza el almidón. El proceso ocurre en una cámara de compresión de hasta 2 m de largo, en cuyo extremo existe un disco perforado a través del cual el alimento pasa forzado por un tornillo sin fin; normalmente se inyecta vapor en la cámara para aumentar la eficiencia de procesamiento (FULLER, 2004). De esta manera se forman una serie de redes de moléculas complejas y estables que mejoran las propiedades metabólicas de los alimentos (digestibilidad) (Walhain et al, 1992 citados por GAEBE et al, 1998).

La digestibilidad, velocidad de degradación y fermentación en el rumen se verán limitados o favorecidos por el grado de procesamiento aplicado al alimento, por ello la importancia de conocer el tratamiento utilizado para los distintos materiales. De este modo se debe considerar que la eficacia del procesado variará no solo en función del método, sino también de la fuente de almidón y de la especie animal que la ingiera.

## **2.4 Efectos del procesamiento en la degradabilidad ruminal.**

Los efectos del procesamiento mecánico de granos en la degradación ruminal, son sustanciales, especialmente en aquellos casos donde se observan respuestas más satisfactorias en la ruptura de sus enlaces como consecuencia de la aplicación de algún tratamiento.

Se ha demostrado que la degradabilidad del grano entero de cebada es muy pobre por la naturaleza resistente de su cáscara por lo cual menos del 10% de la MS del grano entero es digerido después de las 48 horas.

Al someter los granos a triturado la degradabilidad de la MS in situ alcanza aproximadamente un 60% después de 24 horas de incubación (NRC, 2001). Estos efectos positivos han sido evaluados en granos de maíz; en ellos los tratamientos mecánicos aplicados incrementan la digestibilidad significativamente.

Asimismo, tratamientos térmicos del grano de maíz, como la extrusión o el rolado, han demostrado aumentar significativamente la degradabilidad del almidón y de la MS, con mejoras que alcanzan el 30% (GUADA, 2003).

**2.4.1. Efectos en digestibilidad y producción.** Se dice, que en el procesamiento de los granos, el grado de tratamiento óptimo es aquel con el que se obtiene una digestibilidad aceptable, próxima a la óptima, de modo que un procesado de mayor intensidad sólo perjudicaría más la digestión (ORSKOV, 1990).

En términos generales, el nivel de procesamiento requerido depende del daño físico a que es sometido el alimento durante la masticación, comprobándose que granos de cebada y trigo son intensamente dañados durante la ingesta y masticación, de modo que las necesidades de

procesamientos físicos para estos alimentos se reduce (BEAUCHEMIN et al., 1994).

Entre las ventajas de la administración de granos sometidos a procesamiento son muchos los autores que coinciden en que el uso de esta técnica favorece al animal en el ámbito productivo (HALE, 1973; SHABI et al., 1998; FIRKINS et al., 2001; ORSKOV, 1990; ALOMAR y PULIDO, 2001).

La respuesta positiva tiene relación directa con el tiempo de permanencia que presenta el alimento en el rumen y por ende con la capacidad de consumo que tenga el animal (ORSKOV, 1990).

PULIDO et al (2002), midieron el efecto de la suplementación de maíz rolado al vapor con pastoreo mixto de regular calidad, concluyendo que al reemplazar el maíz molido por el rolado se obtienen aumentos en la producción de leche, proteína y grasa. Al respecto, en algunos estudios realizados por Lykos et al., 1997, Wilkerson et al, 1997 citado por NRC, 2001), encontraron que al evaluar el consumo de MS entre maíz seco y húmedo no se presentaban diferencias importantes, sin embargo, la producción de leche aumentó alrededor de un 5% cuando el maíz seco fue reemplazado por maíz húmedo en vacas de alta producción.

Otros estudios del uso del maíz rolado se han realizado en terneros post destete, obteniéndose satisfactorios resultados relacionados con la digestibilidad in vivo de la MS del maíz y por lo tanto con aumento del valor energético de éste. (PULIDO y ESPINDOLA, 1999).

En sus trabajos HALE (1973), destacó la importancia del método de procesamiento de granos así como de la calidad de la materia prima, resaltando el efecto de una ración para novillos alimentados con heno en pellet y maíz

rolado al vapor registrando aumentos del 22% en el PV y del 15% en la utilización del alimento.

Algunos autores han recomendado la administración de grano entero al ovino y con mínimo procesado en la alimentación del vacuno, sustituyendo así el tratamiento mecánico o termomecánico por el rociado del grano con sustancias alcalinas que facilitan la ruptura del pericarpio (JAHN et al., 1999)

Lee *et al.* (1982) citados por CORTES (1997), afirman que existe una mejor utilización del grano de maíz por los animales alimentados con maíz aplastado al vapor que aquellos alimentados con grano entero. Tal efecto se traduce en mayores ganancias de peso y eficiencia de alimentación, donde la digestión de MS, materia orgánica y almidón se incrementa en forma proporcional a la adición de grano de maíz aplastado en la dieta.

En relación a la digestibilidad Orskov (1986) citado por GUADA (2003), hace mención sobre algunos de los efectos del suministro de grano entero en los rumiantes, destacando la ausencia de acidosis, paraqueratosis y reblandecimiento de la grasa en la canal.

Este efecto se atribuye a la menor velocidad de fermentación del almidón, evitando caídas bruscas de pH y altas concentraciones de ácido propiónico en el rumen. Así mismo, cuando el pH es más elevado la actividad celulolítica en el rumen se ve favorecida y con ello la digestión y el consumo de forraje, evitando el efecto depresor del concentrado en las dietas mixtas.

Sin embargo, la adición de álcali en el alimento aumenta el ritmo de tránsito en el tracto digestivo, disminuyendo el tiempo disponible para la fermentación ruminal y la digestibilidad en el total del tracto digestivo (Kung *et al.*, citados por GUADA, 2003).

Al proporcionar raciones mixtas es común observar trastornos digestivos al administrar alimentos groseros con granos de cereales en los animales, relacionados principalmente con el pH del rumen, puesto que las bacterias que fermentan la celulosa se ven favorecidas en rangos de acidez de 6.4-7.0 y bajo 6.0 la multiplicación de las bacterias es nula.

Sin embargo, existen técnicas de restablecimiento del pH del rumen como las señaladas por ORSKOV (1990), quien destaca la importancia del bicarbonato sódico en el restablecimiento de la digestibilidad normal de los alimentos groseros y en las hembras que se hallan en período de lactación, logrando mejorar, con esta práctica, el porcentaje de materia grasa de la leche debido a que favorece la digestión de la celulosa, aumentando con ello la producción de ácido acético.

Otras soluciones dicen relación con el mezclado de la ración, si ésta es perfectamente mezclada la acidez en el rumen permanece relativamente constantes, o aquellas que aseguran que la mejor solución para evitar trastornos digestivos al mezclar forrajes toscos con cereales, es que el porcentaje de grano en la ración no sobrepase el 50% (ORSKOV, 1990).

Al respecto, el autor señala que la acidosis es probable que se presente con mayor frecuencia bajo la administración de concentrados 1 o 2 veces/día, de manera tal que aún mejor solución es la administración de una ración completa, aunque su digestibilidad no sea la óptima.

En sus trabajos Theurer (1986), citado por GAEBE *et al* (1998) hace referencia al promedio de digestibilidad del almidón para granos de sorgo procesados por hojuelado al vapor encontrándose valores de 98% comparado con un 91% para granos procesados por rolado seco o molido.

## **2.5 Descripción de la técnica *in situ*.**

El principio del método *in situ* o *in sacco* es la incubación de pequeñas muestras de alimento en el rumen en bolsas de fibra; estas bolsas tienen poros pequeños que retienen la muestra de alimento y a su vez permiten el paso de las bacterias a su interior (HVELPIUND y WEISBJERG, 2000; VALDERRAMA, 1993).

Las muestras de alimento se secan y se muelen a través de un tamiz, generalmente de 3 mm, posteriormente se mojan las bolsas con la muestra en su interior. El tamaño de la muestra dependerá de la densidad del alimento que se estudia aunque los rangos fluctúan entre de 2 a 5 gramos, las cuales se pesan con precisión dentro de la bolsa. Estas son atadas en su parte superior y se incuban en el rumen de ovinos o bovinos alimentadas con una dieta apropiada. Las bolsas son suspendidas en el rumen a través de una cánula. Posteriormente estas bolsas se retiran después de varios intervalos de tiempo, se sacan, se lavan y se secan. (ORSKOV, 2000).

Debido a las pequeñas cantidades de muestra de alimento incubadas, éstas no afectan la fermentación del rumen y se asume que las condiciones dentro de las bolsas son similares a las condiciones en el volumen del rumen circundante (HVELPIUND y WEISBJERG, 2000).

Con esta técnica es posible determinar la tasa y cantidad degradada del alimento removiendo bolsas a distintos tiempos de incubación, adicionando un tratamiento matemático que permite calcular constantes para las tasas de digestión y definir o cuantificar la degradación ruminal de diferentes fracciones (VALDERRAMA, 1993).

**2.5.1 Incubación en los animales y su dieta.** Los animales pueden ser bovino, ovino o caprino. Se estima que una correcta preparación de la flora ruminal del animal consiste en alimentar dos veces por día con un intervalo

mínimo entre comidas de 8 horas. Si las bolsas son retiradas temprano, la curva es deformada y la desviación estándar crece (ORSKOV, 2000).

La dieta debe tener como base pradera o heno de leguminosa, con un mínimo de 13% de P.C del total de la ración (B.M.S), proveniente de tres fuentes distintas (HVELPIUND y WEISBJERG, 2000).

Para el lavado de las muestras post incubación debe usarse agua fría. En este procedimiento es preferible el lavado a máquina para la estandarización de las muestras, con un tiempo de lavado de 10-15 minutos (HVELPIUND y WEISBJERG, 2000; Nocek, 1985; Mehrez y Ørskov, 1977 citados por VALDERRAMA, 1993).

**2.5.2 Material y tamaño de poro de las bolsas.** Según HVELPIUND y WEISBJERG (2000), el material de las bolsas debe ser de poliéster (dacrón) o nylon, con un tamaño de poro de 30-50  $\mu\text{m}$ .

ORSKOV, (2000), señala una tolerancia de tamaño de poro de alrededor de 40-60  $\mu\text{m}$ , de modo que solo unas pocas partículas puedan escapar y no obstante los microorganismos puedan entrar en la bolsa.

HVELPIUND y WEISBJERG (2000), destacan la importancia del tamaño de la muestra, concluyendo que la relación más apropiada va de 10-15 mg de material/ $\text{cm}^2$  de superficie de la bolsa.

## **2.6 Dinámica degradativa**

El desarrollo de la técnica *in situ* inicialmente tenía como propósito proveer una descripción de la dinámica degradativa para la proteína (Mehrez y Orskov, 1997; Orskov y Mc Donald, 1979; citados por ORSKOV, 2000).

Las características de la curva de degradación son descritas por la siguiente ecuación:

$$P = a + b(1 - e^{-c*t}) \quad (2.1)$$

Donde:

P= degradación en el tiempo t

a y b= son constantes

c= tasa constante de degradación de la fracción "b"

El intercepto "a" es similar a la fracción soluble (perdida en el lavado) o degradación a tiempo cero y "b" representa la degradabilidad del material insoluble.

Entonces "a" representa la fracción soluble, "b" la fracción insoluble fermentable y "c" es una razón o proporción constante que representa la tasa de degradación de la fracción insoluble.



### 3 MATERIAL Y METODO

#### 3.1 Ubicación y duración del estudio

El estudio se realizó en el predio Experimental Vista Alegre entre los meses de noviembre y diciembre del año 2003 y en el Laboratorio de Nutrición del Instituto de Producción Animal de la Universidad Austral de Chile. La duración del estudio en su fase experimental fue de aproximadamente 30 días.

#### 3.2 Características del estudio y tratamientos

El estudio consistió en la evaluación de la degradabilidad ruminal de diferentes tipos de maíz, utilizando la técnica de degradabilidad *in situ*. Los tratamientos estuvieron definidos por tres tipos de maíz: normal molido (MN), rolado (MR) y extruído (ME) y por el tiempo de incubación ruminal (1-3-6-12-24-36 h).

Para realizar la incubación de los alimentos se utilizaron los siguientes materiales:

- 108 bolsas de poliéster
- 6 mallas de nylon (calibre 40)
- Cuerda de perlón
- Balanza electrónica
- Fuentes y bandejas plásticas
- Molino (criba 2mm)
- Guantes y mangas
- Maíz rolado, extruído y entero
- Vaca fistulada.

#### 3.3 Características de los maíces

Todos los tipos de maíz fueron provenientes de una misma partida de grano.

**Maíz normal:** fue sometido a molienda en criba de 2 mm (GAEBE *et al.*, 1998).

**Maíz rolado al vapor:** fue sometido a procesamiento al vapor a una temperatura de 100°C y 1 atmósfera de presión por 55 minutos hasta alcanzar una humedad de 18-20% para luego ser pasado por rodillos.

**Maíz extruído :** se sometió a una molienda previa a través de una criba de 2 mm para luego ser extruído en seco a 90°C de temperatura y bajo presión de 15 a 20 atmósfera, para posteriormente ser enfriado y secado a temperatura ambiente hasta una humedad final de 12 a 14%.

El análisis de composición inicial de los maíces se realizó en BMS de 60° C por 24 horas.

### **3.4 Tipo de animal y dieta.**

Se utilizó una vaca Frisón Negro de 887 Kg de peso, fistulada en el rumen, dispuesta con una cánula de silicona (ANKOM Technology) con un diámetro de 11 cm y una profundidad de 8,5 cm. De uno de sus extremos sobresale un reborde circular plano al exterior del animal de 8 cm que permite una mayor adherencia de la cánula al rumen. Para separar el ambiente interno del animal con el exterior, la cánula es sellada con una tapa insertada a presión, que podía ser retirarla cada vez que se desee.

La alimentación de la vaca consistió en una ración mixta constituida por pradera (pastoreo ad libitum de 09:00 AM a 19:00 PM), suplementada con 1,5 kg concentrado (cosetán) y 1,5 kg de pellets de alfalfa. El suplemento fue distribuido en dos horarios (8:00 AM y 19:30 PM), antes y durante el período de evaluación con el fin de mantener una microflora ruminal estable y evitar incurrir en errores de digestibilidad del alimento fermentado (HVELPIUND y WEISBJERG, 2000).

### **3.5 Procedimiento *in situ*.**

Para llevar a cabo las fermentaciones se utilizaron bolsas de poliéster de 13 x 5 cm, de peso conocido y porosidad controlada ( $\pm 50$  micrones), procedentes

de ANKOM Fairport N. York (USA). Antes de ser usadas, las bolsas se sometieron a secado en horno de 60°C por 5 hrs, posteriormente se trasladaron a un desecador con sílica gel para evitar que el material absorbiera humedad ambiental. Posterior a este procedimiento las bolsas se pesaron individualmente en una balanza digital BOECO Germany. Una vez llenadas, con 3 g de muestra aproximadamente, cada bolsa fue sellada en su parte superior con una liga de goma y luego se introdujeron en 2 mallas portadoras de nylon (malla 40) de 25x30 y 35x30 cm. selladas en su parte superior por un cierre plástico (BEAUCHEMIN et al, 2001), que evitaba la salida de las bolsitas de su interior y a su vez facilitaba la extracción. En cada malla aleatoriamente se colocó 1 muestra de cada tratamiento y horario, totalizando al final del estudio 6 repeticiones/horario/tratamiento. Cada malla portadora fue atada a la cánula mediante un cordón de perlón de 1,2 m de longitud, de manera de favorecer la movilidad de estas y facilitar su extracción.

### **3.6 Procedimiento experimental.**

Una vez recopilados todos los implementos necesarios para el proceso de fermentación, se preparó el rumen de la vaca en estudio y se procedió a iniciar la fase experimental. Para ello en cada horario de incubación se arreaba la vaca del potrero reservado para el estudio y se dirigía a una manga para posteriormente introducir en ella, a través de la cánula ruminal, las bolsitas con los tratamientos de maíz mas adelante mencionados. Para facilitar la labor se introdujeron en forma inversa a los periodos de incubación predeterminados, de manera de retirar las bolsas del rumen todos a la vez. Posteriormente las bolsas fueron lavadas en abundante agua fría utilizando una lavadora convencional de carga superior de modo de minimizar diferencias que conlleven a alterar los resultados.

**3.6.1 Preparación de las muestras.** Previo a la incubación, los maíces fueron molidos (molino Tomas Wiley modelo 4 (Arthur Thomas Co. Philadelphia, PA, USA) con uso de criba de 2 mm, de acuerdo a recomendaciones realizadas por

(Nocek (1988) y Orskov (1992) citados por VALDERRAMA (1993), para suplementos proteicos y energéticos.

Las bolsas fueron identificadas y llenadas con aproximadamente 3g de muestra resultando una relación alimento-superficie de 23 mg/cm<sup>2</sup>. Previo a su introducción en el rumen, eran sometidas a remojo en agua tibia (20°C por 15 minutos) con el objetivo de favorecer el contacto entre la bolsa y el contenido ruminal. Esta actividad se repitió para cada horario.

**3.6.2 Tiempo de incubación y número de repeticiones.** Las muestras fueron sometidas a los siguientes tiempos de fermentación: 1-3-6-12-24 y 36 hrs., obteniéndose un total de 6 repeticiones por tratamiento y por horario.

### 3.7 Manipulación de las muestras post incubación

Luego de extraídas las bolsitas del rumen fueron lavadas en agua fría con diversos enjuagues hasta obtener un agua de enjuague limpia. Posteriormente se secaron en un horno a 60 °C de temperatura por 48 horas con el propósito de obtener peso constante para luego ser enfriadas y pesadas. Una vez obtenido el peso individual de las bolsas se procedió a calcular la cantidad de M.S desaparecida de los alimentos, por diferencia entre la cantidad inicial de material fermentado (3 g) y el residuo después de la incubación.

### 3.8 Diseño experimental y análisis estadístico

Con el propósito de evaluar el efecto del tiempo de fermentación y del procesamiento sobre la degradación de la MS, se realizó un análisis de varianza a través de un diseño completamente al azar con arreglo factorial de los tratamientos de acuerdo con el siguiente modelo.

$$Y_{ijk} = \mu + M_i + T_j + (MT)_{ij} + \lambda_{ijk} \quad (3.2)$$

Donde:

$\mu$  = Media poblacional

$M_i$  = Tipos de maíz

$T_j$  = Tiempos de incubación

$(MT)_{ij}$  = Interacción entre maíz y tiempo de incubación.

$\lambda$  = Error experimental

Diferencias específicas entre tratamientos se evaluaron por la Prueba de Tukey.

Para evaluar la tasa de desaparición de MS de cada tratamiento se ajustó mediante la ecuación descrita por Ørskov y McDonald (1979), correspondiente al siguiente modelo exponencial.

$$Y = a + b(1 - \exp^{-ct}) \quad (3.3)$$

Donde:

Y= degradación o desaparición potencial a tiempo t

a= Intercepto de la curva de degradación a tiempo 0, que corresponde al material soluble

b= corresponde a la porción insoluble degradable.

c= tasa de desaparición de la fracción insoluble.

t= tiempos de degradación (incubación en horas)

a+b, representa la degradabilidad máxima potencial

100 - (a+b), la fracción no degradable en el rumen.

La degradación efectiva correspondiente a la degradación potencial (a+b) ajustada por efecto de la tasa fraccional de pasaje desde el rumen (k), se calculó a través de la relación:

$$P = a + \frac{(b \times c)}{(c + k)} \quad (\%) \quad (3.4)$$

Donde “k” fue evaluado para 2, 5 y 8%/h, correspondiente a niveles de productivos de mantención, niveles productivos moderados y altos respectivamente (ARC, 1984)

Los valores para la degradabilidad efectiva en el tiempo t se obtuvieron de la ecuación:

$$Det = a + \frac{(b * c)}{(c + k)} * (1 - e^{-(c+k)*t}) \quad (\%) \quad (3.5)$$

Donde t corresponde a los tiempos de fermentación incubados en el rumen, correspondiente a los horarios 1, 3, 6, 12, 24 y 36 horas.

La obtención de la curva de degradación y el comportamiento de las fracciones degradadas se obtuvo a través del programa Graph Pad Prism, versión 4.0.

## 4 PRESENTACION DE RESULTADOS

En el desarrollo del presente capítulo se incluye la composición química y los resultados de degradabilidad de la MS de los maíces procesados, así como los valores de degradabilidad al aplicar el Modelo de Orskov y Mc Donald, destacando la degradabilidad potencial, efectiva y las fracciones degradadas de los alimentos en diferentes períodos de fermentación.

### 4.1 Composición de los alimentos

La composición química de los maíces previos a la incubación se desglosa en el Cuadro 2.

**CUADRO 2. Composición química del grano de maíz normal molido, extruído y rolado al vapor (BMS).**

Tratamientos	Componentes					
	M.S (%)	C.T (%)	P.B (%)	E.M (Mcal/k)	F.D.N (%)	F.D.A (%)
Maíz normal (MN)	85.25	1.10	6.74	2.85	9.99	2.37
Maíz rolado (MR)	86.18	1.03	6.57	2.89	8.96	2.82
Maíz extruído (ME)	86.23	1.12	7.08	2.85	8.64	2.46

De las cifras se puede apreciar que no hubo cambios relevantes en la composición química por efecto del procesamiento, aunque se observa que el porcentaje de MS fue ligeramente mayor en los granos procesados que en el grano de maíz normal.

### 4.2 Degradabilidad observada de la materia seca

La degradabilidad de la MS observada en los diferentes tiempos de incubación y los promedios por tipo de maíz se presenta en el Cuadro 3. Los datos de cada período con sus respectivas repeticiones y procedimientos de cálculo se desglosan en los Anexos 1, 2 y 3.

**CUADRO 3. Valores promedio de MS degradada (%) según tiempo de fermentación.**

Hora	MN	MR	ME	% M.S promedio (MxT)
1	25.19	40.85	34.38	36.42 f
3	33.35	49.49	58.16	47.00 e
6	48.69	59.20	67.90	58.60 d
12	70.40	69.43	77.56	72.46 c
24	85.37	82.44	86.55	84.79 ab
36	85.30	87.05	89.48	87.28 a
Promedio	58.05 b	64.7 ab	69.00 a	

\*Letras distintas indican diferencias entre tratamientos según prueba de Tukey ( $P \leq 0.01$ )

Se observaron diferencias significativas para las variables tipo de maíz, tiempo de incubación e interacción entre ambas ( $p \leq 0.01$ ). Para clarificar el efecto del tipo de maíz, al detectarse diferencias entre tratamientos, se realizó la Prueba de Tukey (DHS).

La degradabilidad promedio fue superior en los maíces procesados. La prueba de Tukey (Anexo 7) demostró que existen diferencias altamente significativas entre el maíz extruído y el maíz normal molido.

Sin embargo estas diferencias se estrechan al comparar el maíz extruído con el rolado y a su vez este último con el maíz normal molido.

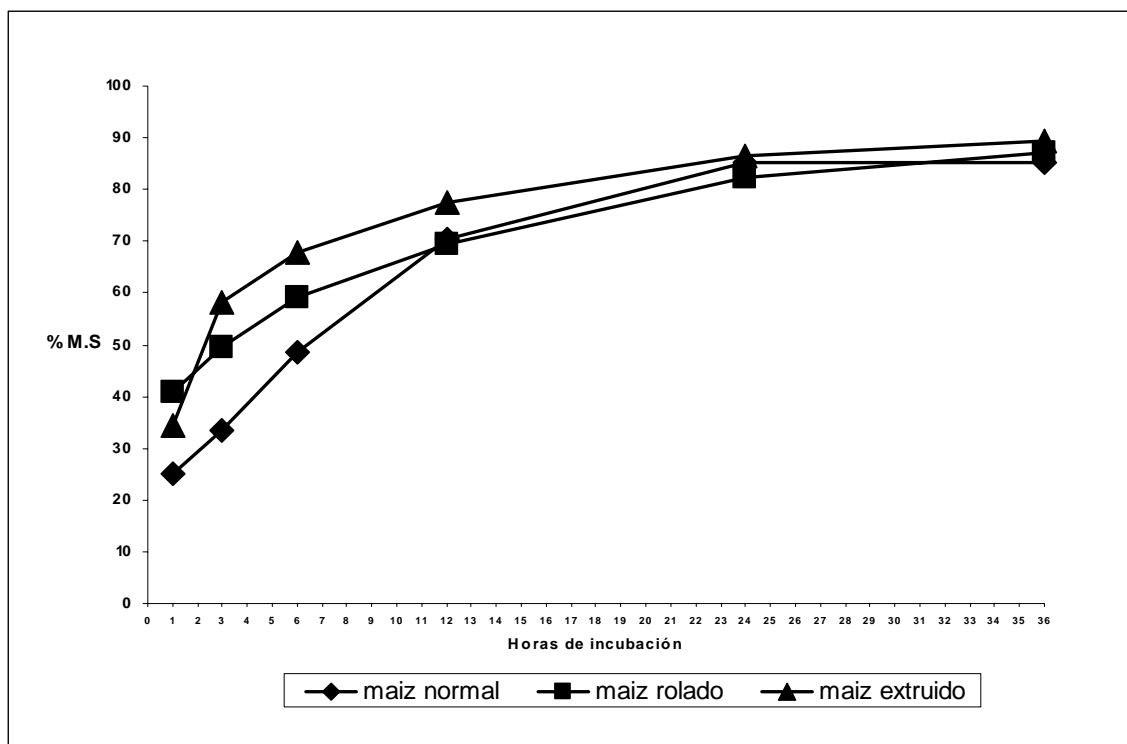
Al realizar el análisis de varianza (Anexo 5), se obtuvieron diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre tratamientos, entre tiempos de fermentación y en la interacción maíz por tiempo.

Posteriormente se repitió el procedimiento para evaluar la interacción de los maíces con la variable tiempo, (Cuadro 3, Anexo 6), el cual arrojó



diferencias altamente significativas en el tramo horario 24-36 horas y los tramos 1-12 horas de fermentación.

Se puede apreciar también que la dinámica de desaparición de MS presentó diferencias más marcadas en los primeros tiempos de fermentación que en los intervalos siguientes donde se tiende a homogeneizar las diferencias (Figura 1).



**FIGURA 1. Degradabilidad promedio de MS observada para tres tipos de procesamiento de maíz.**

#### 4.3 Dinámica degradativa.

Las constantes degradativas, así como los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) de las ecuaciones obtenidas al aplicar el modelo se presentan en el Cuadro 4 y Figura 3. En los tres casos, los coeficientes de determinación así como la significancia de las ecuaciones fueron altos, lo que otorga un buen grado de confiabilidad en los resultados.

**CUADRO 4. Constantes degradativas para el grano de maíz normal, extruído y rolado al vapor.**

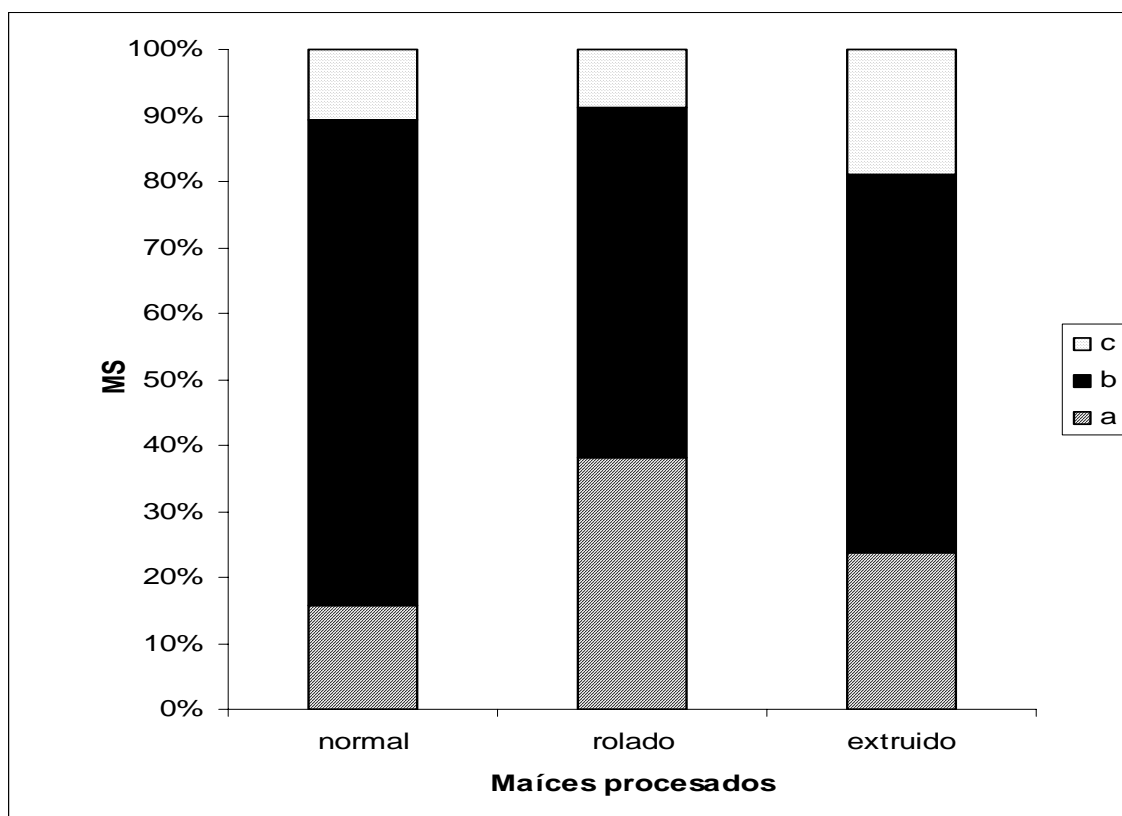
Tratamientos	Constantes degradativas				
	a (%)	b(%)	a+b (%)	c	R2
MN	15.60 ± 2.52	73.35 ± 2.68	88.95	0.1068 ± 0.011	0.96
MR	37.31 ± 1.88	51.89 ± 2.27	89.20	0.0852 ± 0.012	0.95
ME	25.46 ± 3.13	61.52 ± 3.08	86.98	0.2027 ± 0.022	0.94

Comparativamente, el maíz rolado y extruído tuvieron una mayor fracción soluble (a), una menor fracción lentamente degradable (b) y una similar fracción no degradable (c) en el maíz normal y rolado, pero, en el maíz extruído la tasa de degradación de la MS de “b” fue muy superior a los otros maíces estudiados.

En relación a los valores de “a” (fracción soluble), se visualiza un claro efecto del procesamiento de maíz, sin embargo la fracción lentamente degradable es superior en el maíz normal. En el caso del maíz extruído aumentó en forma considerable la tasa de degradación de la fracción b. La degradabilidad potencial (a+b) alcanzó niveles cercanos al 89% en maíz normal y rolado y ligeramente inferior en el grano de maíz extruído.

En general se observa que en ambos maíces procesados térmicamente, aumentó la fracción soluble y disminuyó la fracción insoluble degradable. Comparado con el maíz rolado, la fracción insoluble fue 18% superior en el maíz extruído. La extrusión aumentó en forma considerable la tasa de degradación de la fracción b, la que fue aproximadamente el doble comparado con el maíz normal y el maíz rolado.

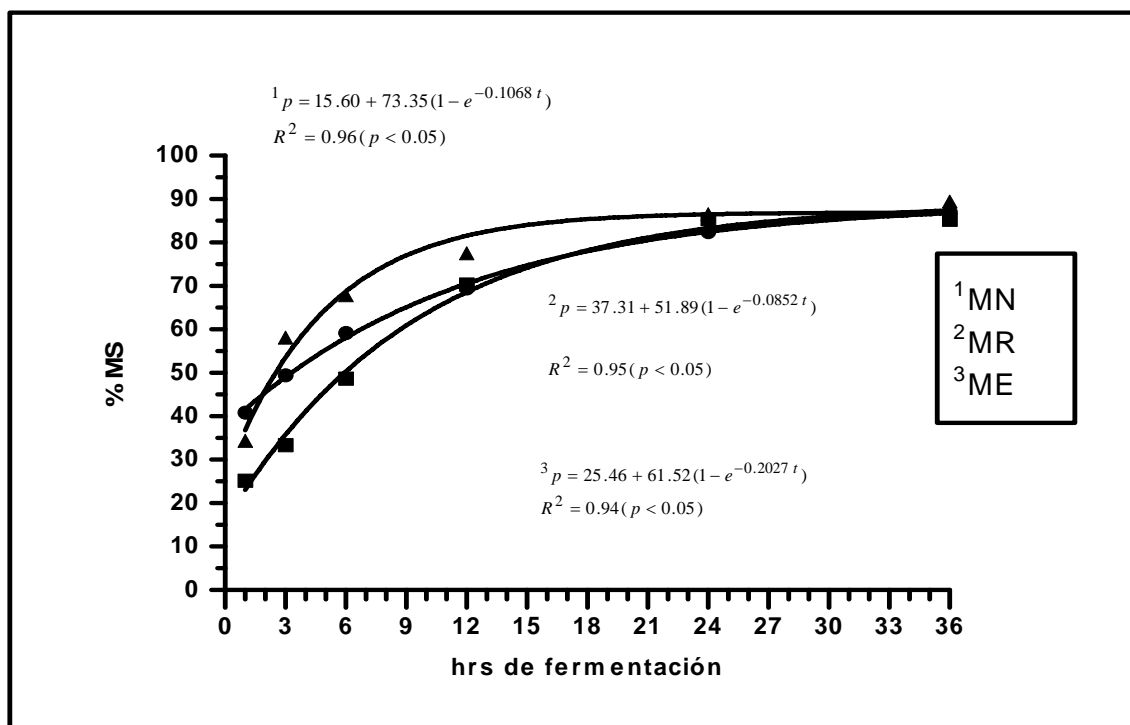
La siguiente Figura revela la importancia relativa de las fracciones a, b y C de la MS para los maíces procesados.



**FIGURA 2. Proporciones relativas de las fracciones degradadas (a, b y fracción insoluble C) de los maíces evaluados.**

Se aprecia en la Figura 2 un aumento de la fracción soluble o rápidamente fermentable al procesar los maíces, esto asociado a una disminución de la fracción b.

Las diferencias más relevantes se encuentran en la tasa de degradación de los tres maíces.



**FIGURA 3. Curva de degradabilidad *in situ* de maíces sometidos a procesamiento según Modelo de Orskov y Mc Donald.**

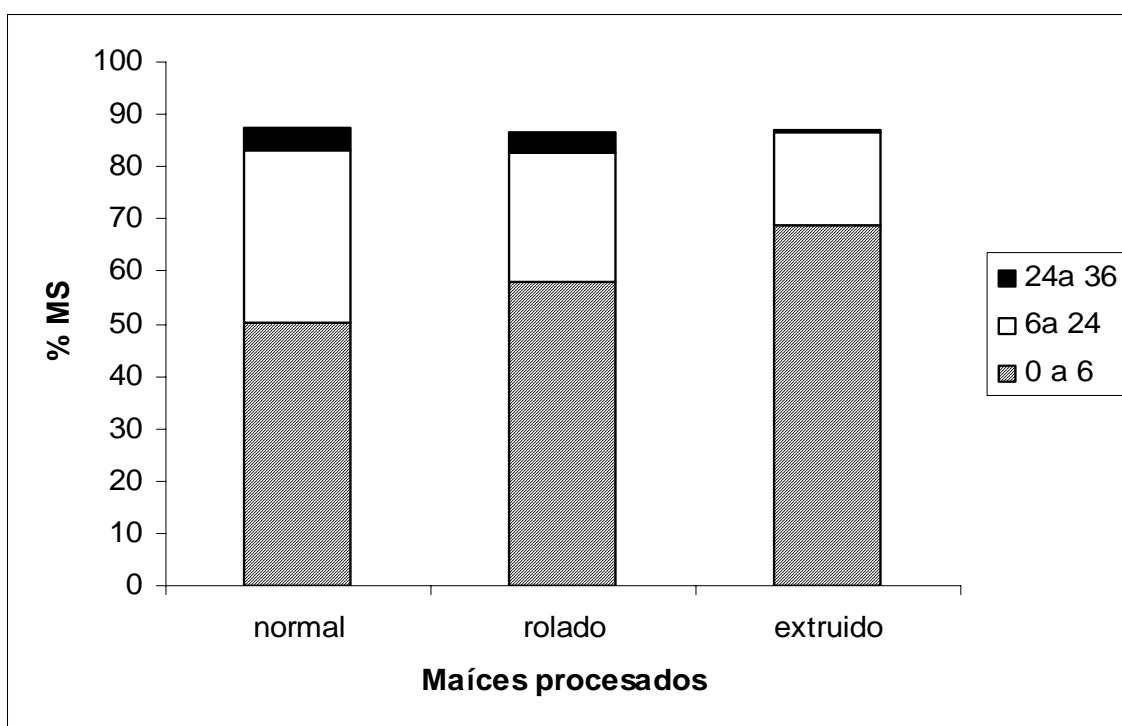
#### 4.4 Degradabilidad potencial

En el Cuadro 5 se presenta la fracción potencialmente degradable (a+b) con los respectivos tiempos de incubación a que fueron sometidos el maíz normal molido y procesado por extrusión y rolado al vapor.

**CUADRO 5 Degradabilidad potencial (% MS) a tiempo “t” para maíces procesados.**

Incubación (h)	MN	MR	ME
1	23.03	41.55	36.75
3	33.20	49.01	53.49
6	50.30	58.08	68.75
12	68.59	70.53	81.58
24	83.30	82.49	86.51
36	87.38	86.78	86.94

Para tener una visión más cuantitativa de la degradación ocurrida al progresar el tiempo de fermentación se particiona la degradabilidad acumulada en diferentes tramos horarios (0-6, 6-24 y 24-36 horas) correspondientes a cada tipo de maíz (Figura 4 y Cuadro 6).



**FIGURA 4. Materia seca degradada (a+b) de maíz en diferentes períodos de fermentación (h).**

Se puede observar que en el caso del maíz extruído, la degradabilidad acumulada en el tramo 0-6 horas fue de 68.75% seguido por el rolado con 58.08% y el grano de maíz normal con 50.3%. Para el tramo horario siguiente (6-24 horas) el % MS degradada alcanzó 17.76%, 24.41% y 33% con maíz extruído, rolado y normal respectivamente.

En el tramo más tardío (24-36 horas) el % MS degradado fue de solo 0.43%, 4.29% y 4.08% para maíz extruído, rolado y normal respectivamente. (Cuadro 6).

**CUADRO 6. Degradabilidad acumulada de la fracción “a+b” a distintos tiempos de incubación ruminal.**

Tramo (h)	MN	MR	ME
0 a 6	50.3	58.08	68.75
6 a 24	33.0	24.41	17.76
24 a 36	4.08	4.29	0.43

#### 4.5 Degradabilidad efectiva de la materia seca

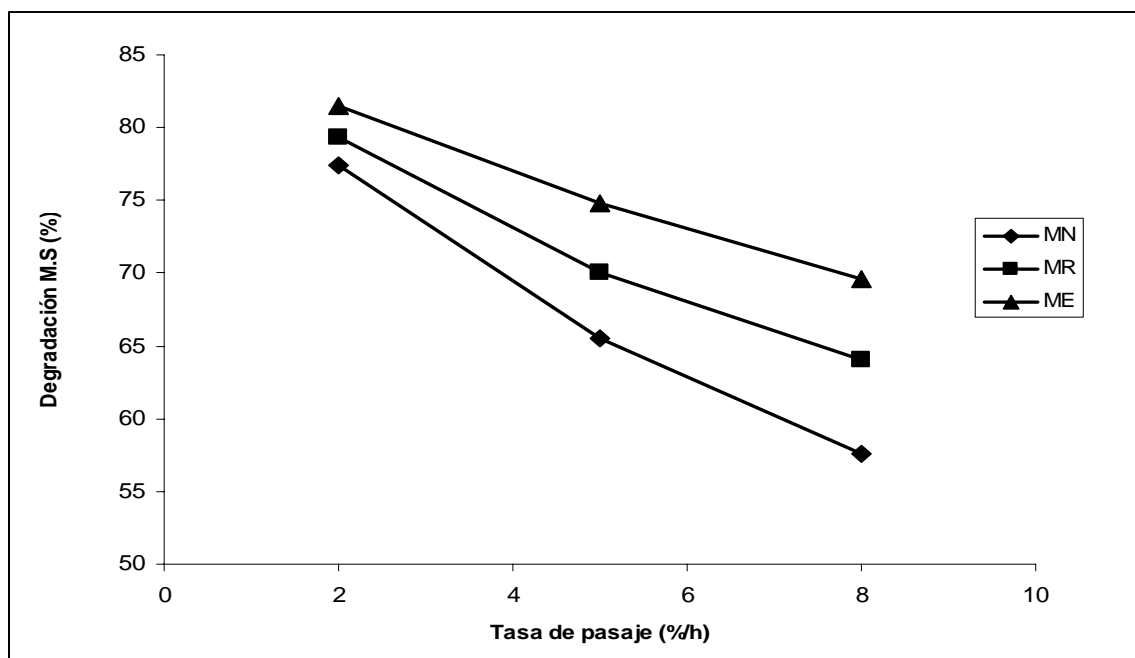
Se entiende por degradabilidad efectiva a la degradabilidad potencial corregida por la tasa de pasaje “k”.

Normalmente la degradabilidad disminuye al incrementarse la tasa de pasaje, con diferencias entre alimentos, debido a una menor exposición del alimento a la fermentación ruminal.

Para el cálculo de degradación efectiva se utilizaron tasas teóricas de pasaje del 2, 5 y 8%/h, correspondientes a un nivel productivo bajo, medio y alto respectivamente (ARC, 1984), las cuales se encuentran representadas en el Cuadro 7 y la Figura 5.

**CUADRO 7. Porcentaje de MS efectivamente degradable de maíces sometidos a procesamiento para una tasa de pasaje de 2 5 y 8 %/hr.**

%/h	MN	MR	ME
2	77.38	79.33	81.46
5	65.56	70.01	74.81
8	57.54	64.07	69.57



**FIGURA 5. Degradabilidad efectiva de la MS de maíz molido, rolado y extruído.**

Se observa que las diferencias entre maíces son menores a una tasa de pasaje baja (2%/h) sin embargo, las diferencias se hacen mayores al aumentar la tasa siendo la degradabilidad efectiva mayor con maíz extruído , seguido por maíz rolado y normal respectivamente.

## 5 DISCUSION DE RESULTADOS

En relación a la composición química del grano de maíz, el contenido de MS, PC, se encuentra dentro de los rangos esperados. Las pequeñas variaciones en los contenidos de FDA y FDN pueden ser atribuidas a la variabilidad del material más que al efecto del procesado de maíz propiamente tal.

La mayor degradabilidad observada de los maíces procesados equivale a 18.8% en el maíz extruído y a 11.5% en el maíz rolado al vapor, con respecto al maíz normal.

Al graficarlos (Figura 1), la curva mostró un patrón de comportamiento exponencial con una degradación más marcada durante las primeras horas de fermentación en el rumen. Al expresar esta diferencia porcentualmente respecto del maíz normal molido, y tomando como referente los horarios 3-12 y 36 horas, la desaparición del contenido de MS para maíz extruído fue de 74.7%; 10% y 5% respectivamente y para el maíz rolado al vapor de 48.4%; -1.4% y 2% respectivamente, siendo pequeña la diferencia entre maíces en el último horario de incubación (36 horas).

La degradabilidad de la MS para los tres recursos procesados fluctúa entre 82-86 % a las 24 horas y 87% a las 36 horas, bastante superior si se compara con valores obtenidos por CORTES (1997) cuyos valores de desaparición de MS a las 36 horas de fermentación en maíz rolado alcanza el 53% o con los valores obtenidos por Contreras, citado por CORTES (1997) cuyos valores de degradabilidad para el maíz molido alcanzó el 65% a las 24 horas. Estas diferencias pueden tener relación con el tamaño de partícula



(molido) al que fueron sometidos los recursos, puesto que partículas más pequeñas permitirían una superficie de contacto superior al ataque microbiano.

Claramente los maíces procesados tuvieron una degradabilidad superior al maíz normal molido durante las 12 primeras horas de fermentación, demostrando con ello la existencia de componentes de alta digestibilidad producto del procesamiento. Esta respuesta en los maíces procesados es esperable considerando que la acción del procesamiento del grano tiene un efecto en la matriz proteica de éste desestabilizando los gránulos de almidón y facilitando con ello la acción enzimática.

En sus trabajos con maíz normal, VALDERRAMA (1993), registró que en las primeras 6 horas de fermentación se degradó el 45% del total de la MS degradable, valor que se acerca bastante a lo obtenido para maíz normal en este estudio. Por este motivo, es poco probable la factibilidad de detectar diferencias de digestibilidad a nivel del tracto digestivo total atribuibles al procesamiento del maíz, debido a que esta representa a un proceso digestivo superior a las 40 horas, y por lo tanto, diferencias producidas en las primeras horas ya habrán desaparecido.

Al comparar el maíz extruído con el rolado sobresale la tendencia del maíz extruído a ser fermentado más rápidamente que el rolado durante las primeras horas de incubación.

Sin embargo el maíz extruído durante su primera hora de incubación tuvo una velocidad de degradación más lenta que la de sus pares, comportamiento que puede ser asociado a error experimental. Lo anterior concuerda con resultados obtenidos por GAEBE et al, (1998).

Estas diferencias se mantienen al aplicar el modelo exponencial de Orskov y Mc Donald a los valores observados.

Los valores de las constantes degradativas obtenidos para el maíz rolado y molido son similares a los encontrados por ALOMAR y PULIDO (2001), a excepción de las fracciones “a”; “a+b” y “c” para maíz normal molido cuyos indicadores corresponden a 26.18%; 98.2% y 0.0419 respectivamente.

La fracción soluble “a” para maíz normal molido fue bastante baja, apreciándose con ello una lenta desaparición de la fracción potencialmente digestible lo que manifestaría la necesidad de un tiempo de incubación más prolongado. Esta tendencia del maíz normal molido coincide con lo reportado por (BEAUCHEMIN *et al.*, 1994).

En concordancia con lo evaluado por GAEBE *et al.* (1998), el maíz extruído mostró una mayor tasa de degradación en las primeras horas, lo que podría favorecer un menor tiempo de permanencia en el rumen, lo que representaría claras ventajas nutritivas, puesto que el animal consumiría más obteniendo de esta manera un mejor aprovechamiento del alimento en menor tiempo. Además esta reacción es esperable y concuerda plenamente con la hipótesis planteada en este estudio, puesto que al ser el grano sometido al proceso de extrusión (calor-humedad y expansión) se produce una gelatinización más acentuada del almidón, superior a la del maíz rolado, lográndose con ello una mayor accesibilidad a las amilasas microbianas.

Considerando los antecedentes entregados se concluye que el procesamiento térmico de granos tiene un efecto directo sobre el aumento de la fracción soluble “a”, hay una disminución de fracción insoluble (por aumento de la primera) y se mantiene la degradabilidad potencial (a+b). Sin embargo, las diferencias entre recursos queda de manifiesto al medir la tasa de degradación “c”, la cual fue mayor en el maíz extruído.

Ahora bien, no todos los recursos alimenticios reaccionan de igual

manera frente al efecto de la tasa de pasaje, cuyo efecto depresor es menos marcado en recursos ricos en fracción soluble, normalmente de degradabilidad muy rápida y por lo tanto el tiempo de permanencia en el rumen de esta fracción es muy corto. El hecho de que el grano extruído sea menos afectado por la tasa de pasaje se debe a que la fracción “*b*” se degrada más rápidamente. Por ejemplo, a una tasa de pasaje de 8%/h, la disminución porcentual en la degradabilidad fue de 35, 28 y 20% en maíz normal molido, rolado y extruído respectivamente, demostrando la menor influencia de la tasa de pasaje en el maíz extruído.

De acuerdo a antecedentes recopilados queda de manifiesto que los alimentos menos afectados por la tasa de pasaje son aquellos que tienen una degradabilidad intrínseca baja (por ejemplo la fibra de forrajes toscos de mala calidad, suplementos proteicos de origen animal), o aquellos alimentos que tienen una degradabilidad intrínseca muy alta, puesto que son altamente solubles y se degradan rápidamente en las primeras horas. Consecuentemente, alimentos que tienen fracción “*b*” alta y cuya degradabilidad es intermedia serán más afectados por aumentos en la tasa de pasaje debido a una mayor dependencia del tiempo de permanencia en el rumen para ser degradados.

## 6 CONCLUSIONES

El procesamiento del maíz produjo un aumento de la degradabilidad ruminal, que fue mas marcado en maíz extruído que en maíz rolado, principalmente en las primeras horas de fermentación. Las diferencias detectadas durante las primeras 6 horas fueron de 39.4% y 21.5% para maíz extruído y rolado respecto del maíz molido.

La degradabilidad potencial se alcanzó a las 36 horas de fermentación sin diferencias entre los maíces estudiados.

Debido al procesamiento por extrusión y por rolado, se produjo un aumento notorio de la fracción soluble y una disminución de la fracción insoluble comparado con el maíz normal molido.

La tasa de degradación y la degradabilidad efectiva fueron más altas en maíz extruído seguidas de maíz rolado y maíz normal molido, diferencias que se mantuvieron independientemente de la tasa de pasaje.

## 7 RESUMEN

En el Instituto de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Austral, se realizó un estudio de degradabilidad de MS de grano de maíz procesado por extrusión y rolado al vapor, utilizando maíz normal como control.

La degradabilidad ruminal fue determinada con la técnica *in situ* de la bolsa de dacrón a tiempos de incubación de 1, 3, 6, 12, 24 y 36 horas, con 6 repeticiones por tratamiento y por horario.

La degradabilidad ruminal fue superior en los maíces procesados comparados con el maíz normal ( $p < 0.05$ ), diferencias que se manifiestan durante las primeras horas de fermentación, obteniéndose durante las primeras 6 horas, valores de degradabilidad 36.7% y 15.5% superiores para maíz extruído y rolado comparado con maíz normal, respectivamente.

A las 6 horas se obtuvo un 57, 67 y 79% de la degradabilidad total, para maíz normal, rolado y extruído, respectivamente.

La degradabilidad promedio de la MS fue similar en maíz rolado y extruído (64.7 y 69% respectivamente), superior al maíz normal (58.05%). La degradabilidad potencial fue similar entre los maíces (88.99; 89.2 y 86.98% para maíz normal, rolado y extruído), con una tasa de degradación de 0.107; 0.0857 y 0.203  $\text{hr}^{-1}$  respectivamente. La degradabilidad efectiva encontrada para maíz normal, rolado y extruído, respectivamente fue de 77.38, 79.33 y 81.46% para una tasa de pasaje ( $k$ ) de 0.02  $\text{h}^{-1}$ ; de 65.56, 70.01 y 74.81% para un  $k$  de 0.05  $\text{h}^{-1}$  y de 57.54, 64.07 y 69.57% para un  $k$  de 0.08  $\text{h}^{-1}$ .

Las fracciones solubles (a), lentamente degradable (b) y no degradable (C) de los maíces normal, rolado y extruído alcanzaron: 15.6; 37.31 y 25.16%; 73.35, 51.89 y 61.52% y 11.05, 10.8, 13.32%, respectivamente. El grano de maíz extruído fue menos afectado por la tasa de pasaje debido a que la fracción *b* fue más degradable que en los otros dos recursos.

## SUMMARY

In Austral University of Chile, Faculty of Agricultural Sciences, Animal Production Institute, a study was made on dry matter degradability of corn grain processed by extrusion and steam rolling, using normal corn as control.

Ruminal degradability was determined by using the dacron bag *in situ* technique. Incubation times were 1, 3, 6, 12, 24 and 36 hours, with 6 replicates by treatment and time.

Ruminal degradability was higher on processed corn, compared with normal corn ( $p < 0.05$ ), with the main differences observed during the first 6 hours of incubation. Degradability values for extruded and rolled corn, compared with normal corn were higher by 36.7% and 15.5%, respectively. After 6 hours, the values obtained for normal, rolled and extruded corn were 57, 67 y 79% of total degradability, respectively.

Average dry matter degradability was similar on rolled corn and extruded corn (64.7 y 69% respectively), and higher than normal corn (58.05%). Potential degradability was similar between the corn types studied (88.99; 89.2 y 86.98% for normal, rolled and extruded corn), with degradation rates of 0.107; 0.0857 y 0.203  $\text{hr}^{-1}$ , respectively. Effective degradation found for normal, rolled and extruded corn respectively were 77.38, 79.33 and 81.46%, for a passage rate (k) of 0.02  $\text{h}^{-1}$ ; 65.56, 70.01 y 74.81% for k equal to 0.05  $\text{h}^{-1}$  and 57.54, 64.07 y 69.57% for k equal to 0.08  $\text{h}^{-1}$ .

Soluble fraction (a), slowly degradable fraction (b) and undegradable fraction (c) of normal, rolled and extruded corn reached: 15.6; 37.31 and

25.16%; 73.35, 51.89 and 61.52% y 11.05, 10.8, 13.32%, respectively. Extruded corn grain was less affected by passage rate attributed to a *b* fraction that was more degradable than in the other resources.



## 8 BIBLIOGRAFIA

- ALOMAR, D. y PULIDO, R. 2001. Efecto del hojuelado al vapor sobre la degradabilidad ruminal del grano de maíz. *Agro Sur (Chile)* 29 (2): 164-169.
- AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL (ARC) 1984. The nutrient requirements of ruminant livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux. Farnham Royal. England. 345 p.
- BEAUCHEMIN, K.A., McALLISTER, T.A., DONG, Y., FARR, B.I y CHENG, K.J. 1994. Effects of mastication on digestión of whole cereal grains by cattle. *Journal of Animal Science*. 72 (1): 236-246.
- BEAUCHEMIN, K. A; YANG, W. Z; y RODE, L. M. 2001. Effects of barley grain processing on the site and extent of digestion of beef feedlot finishing diets. *Journal of Animal Science* 79: 1925-1936.
- CORTES. K. 1997. Degradación ruminal in situ del grano de maíz con el uso diferentes métodos de procesamiento. Tesis Ing. Agr. Universidad de Concepción (Chile). Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 28p.
- FIRKINS, J. L., EASTRIDGE, M. L., ST-PIERRE, N.R., y NOFTSGER, S. M., 2001. Effects of grain variability and processing on starch utilization by lactating dairy cattle. *Journal of Aanimal Science* 79 (E. Suppl.): E218-E238.

- FULLER, M.F. 2004. The encyclopedia of farm animal nutrition. CABI Publishing, U.K.
- GAEBE, R. J., SANSON, D.W., RUSH, I.G., RILEY, M.L., HIXON, D.L, y PAISLEY, S.I. 1998. Effects of extruded corn or grain sorghum on intake, digestibility, weight gain, and carcasses of finishing steers. *Journal of Animal Science* 76: 2001-2007.
- GUADA, J. 2003. Efectos del procesado sobre la degradabilidad Ruminal proteína y almidón. (on line).  
[http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/93CAP\\_2.pdf](http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/93CAP_2.pdf). (2 sept. 2003).
- HALE, W.H. 1973. Influence of processing on the utilization of grains (starch) by ruminants. *Journal Animal Science*. 37(4): 1075 – 1080.
- HVELPIUND. T y WEISBJERG. M.R. 2000. *In situ* techniques for the estimation of protein degradability and postrumen availability. In: *Forage Evaluation in Ruminant Nutrition*. Eds. D.I Givens, E. Owen, R.F.E. Axford and H.M. Omed. pp: 233-258.
- JAHN, E., CORTES, K., BORQUEZ, F., VENEGAS, P y GONZALEZ, C. 1999. Degradación Ruminal in situ del grano de maíz (*Zea mays* L.), cebada (*Hordeum vulgare* L. ) y lupino dulce (*lupinus albus* L.) con el uso de diferentes métodos de procesamiento. *Agricultura Técnica*. (Chile) 59(2):96-106
- NRC. 2001. Nutrient Requirement of dairy cattle. Carbohydrate chemistry and feed processing. 7ª ed. pp: 249-257.

- Chile Oficina de Planificación Agrícola (ODEPA). 2006. Estadísticas y precios/Productivas. (on line).  
<https://www.odepa.gob.cl/odepaweb/servlet/contenidos.ServletDetallesScr;jsessionid=E558DAFE1943FFFE631F28C5970A3094?idcla=12&idcat=&idn=1736>. (20 dic. 2006).
- ØRSKOV, E.R., y M<sup>C</sup>DONALD. 1979. The estimate of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate passage. *Journal Agricultural Science* 92:499-503.
- ØRSKOV, E.R. 1990. Alimentación de los rumiantes. Principios y práctica. Zaragoza. España. Acribia. 119p.
- ØRSKOV, E.R., 2000. The *in situ* techniques for the estimation of forage degradability in ruminants. In: *Forage Evaluation in Ruminant Nutrition*. Eds. D.I Givens, E. Owen, R.F.E. Axford and H.M. Omed. pp. 175-188.
- PULIDO, R y ESPINDOLA, S. 1999. Digestibilidad in vivo del maíz roado al vapor y del maíz molido en terneros. In: *Sociedad Chilena de Producción Animal* pp. 147 – 148.
- PULIDO, R., ESPINDOLA, S., LAVERNE, A y URIBE, H. 2002. Suplementación con maíz molido o roado al vapor y comportamiento productivo de vacas lecheras en pastoreo primaveral. *Archivos de Zootecnia*. Chile. 51(195): 397 – 400.
- THEURER, C.B *et al.* 1999. Steam-Processed corn and sorghum grain flaked at different densities alter ruminal, small intestinal, and tract digestibility of starch by steers. *Journal Animal Science* 77: 2824-2831.

- THOMPSON, M et al. 1999. Efecto de la suplementación de maíz y/o trigo a vacas lecheras con dietas en base a ensilaje de pradera. In: Sociedad Chilena de Producción Animal. pp. 145 – 146.
- VALDERRAMA, X. 1993. Dinámica de degradación ruminal de alimentos para rumiantes. Tesis Mg. Sc. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. 135 p.
- SHABI, Z., BRUCKENTAL, I., ZAMWELL, S., TAGARI, H., y ARIELI, A. Effects of extrusion of grain and feeding frequency on rumen fermentation, Nutrient digestibility, and milk yield and composition in dairy cows. 1999. Journal Dairy Science. 82:1252-1260.
- ZINN, R.A., OWENS, F.N., y WARE, R.A.,. 2002. Flaking corn: Processing mechanics, quality standars, and impacts on energy availablility and performance of feedlot cattle. Journal Animal Science. 80: 1145-1156.

## ANEXO 1: Determinación de MS degradada para maíz normal en diferentes tiempos de incubación.

Nº bolsa	Peso seco bolsa (g)	Peso muestra BTC (g)	MS inicial	Peso residuo c/bolsa	Residuo neto (s/bolsa)	MS inicial- MS residual (g)	MS no degradada %	MS degradada %	Incubación (h)
25	0,75	3,00	2,56	2,58	1,82	0,74	71,26	28,74	1
26	0,74	3,00	2,56	2,55	1,81	0,75	70,54	29,46	1
55	0,75	3,00	2,56	2,71	1,96	0,60	76,51	23,49	1
56	0,74	3,00	2,56	2,68	1,94	0,62	75,76	24,24	1
85	0,75	3,00	2,56	2,74	1,99	0,57	77,84	22,16	1
86	0,75	3,01	2,56	2,73	1,97	0,59	76,96	23,04	1
19	0,77	3,00	2,56	2,37	1,60	0,96	62,60	37,40	3
20	0,78	3,01	2,56	2,30	1,52	1,04	59,31	40,69	3
49	0,74	3,00	2,56	2,45	1,71	0,85	66,76	33,24	3
50	0,77	3,00	2,56	2,51	1,74	0,81	68,14	31,86	3
79	0,73	3,00	2,56	2,58	1,85	0,71	72,25	27,75	3
80	0,75	3,00	2,56	2,57	1,81	0,75	70,82	29,18	3
13	0,75	3,00	2,56	1,82	1,07	1,49	41,76	58,24	6
14	0,75	3,00	2,56	2,02	1,27	1,29	49,76	50,24	6
43	0,74	3,00	2,56	2,04	1,30	1,26	50,80	49,20	6
44	0,75	3,00	2,56	2,05	1,30	1,26	50,73	49,27	6
73	0,75	3,01	2,56	2,19	1,45	1,12	56,43	43,57	6
74	0,74	3,00	2,56	2,23	1,50	1,07	58,38	41,62	6
7	0,74	3,00	2,56	1,33	0,58	1,98	22,76	77,24	12
8	0,72	3,00	2,56	1,29	0,56	2,00	22,06	77,94	12
37	0,75	3,00	2,56	1,57	0,82	1,74	31,97	68,03	12
38	0,74	3,01	2,56	1,35	0,61	1,95	23,80	76,20	12
67	0,75	3,00	2,56	1,81	1,06	1,50	41,47	58,53	12
68	0,73	3,00	2,56	1,64	0,91	1,65	35,56	64,44	12
1	0,74	3,01	2,56	1,04	0,29	2,27	11,41	88,59	24
2	0,75	3,00	2,56	1,00	0,25	2,31	9,69	90,31	24
31	0,72	3,00	2,56	1,17	0,45	2,11	17,70	82,30	24
32	0,76	3,00	2,56	1,19	0,43	2,13	16,85	83,15	24
61	0,74	3,00	2,56	1,13	0,39	2,17	15,18	84,82	24
62	0,77	3,00	2,56	1,21	0,43	2,13	16,96	83,04	24
91-1	0,74	3,00	2,56	1,22	0,49	2,07	19,00	81,00	36
92-2	0,75	3,00	2,56	1,19	0,44	2,12	17,26	82,74	36
93-3	0,73	3,00	2,56	1,02	0,30	2,26	11,63	88,37	36
94-5	0,73	3,01	2,56	1,09	0,36	2,20	14,07	85,93	36
95-6	0,79	3,00	2,56	1,13	0,33	2,23	13,07	86,93	36
96-7	0,74	3,00	2,56	1,07	0,34	2,22	13,17	86,83	36

ANEXO 2: Determinación de MS degradada para maíz rolado a distintos horarios de incubación.

Nº bolsa	Peso seco bolsa (g)	Peso muestra BTC (g)	MS inicial	Peso residuo c/bolsa	Residuo neto (s/bolsa)	MS inicial- MS residual (g)	MS no degradada %	MS degradada %	Incubación (h)
27	0,75	3,01	2,59	2,03	1,29	1,30	49,66	39,54	1
28	0,73	3,01	2,59	1,98	1,25	1,34	48,32	39,54	1
57	0,77	3,00	2,59	2,28	1,50	1,09	58,03	41,97	1
58	0,73	3,00	2,59	2,18	1,45	1,14	55,86	44,14	1
87	0,75	3,00	2,59	2,30	1,55	1,04	59,81	40,19	1
88	0,74	3,01	2,59	2,30	1,56	1,03	60,27	39,73	1
21	0,75	3,01	2,59	1,91	1,15	1,44	44,53	55,47	3
22	0,76	3,01	2,59	1,95	1,20	1,40	46,15	53,85	3
51	0,73	3,00	2,59	2,05	1,32	1,27	51,07	48,93	3
52	0,74	3,01	2,59	2,03	1,29	1,30	49,93	50,07	3
81	0,79	3,01	2,59	2,24	1,45	1,14	55,99	44,01	3
82	0,73	3,01	2,59	2,17	1,44	1,16	55,41	44,59	3
15	0,74	3,01	2,59	1,59	0,84	1,75	32,58	67,42	6
16	0,75	3,01	2,59	1,64	0,88	1,71	34,05	65,95	6
45	0,76	3,00	2,59	1,86	1,11	1,48	42,72	57,28	6
46	0,75	3,00	2,59	1,82	1,07	1,52	41,24	58,76	6
75	0,74	3,00	2,59	2,05	1,31	1,28	50,57	49,43	6
76	0,76	3,01	2,59	1,89	1,13	1,46	43,63	56,37	6
9	0,77	3,01	2,59	1,46	0,69	1,90	26,58	73,42	12
10	0,74	3,00	2,59	1,45	0,71	1,88	27,48	72,52	12
39	0,73	3,00	2,59	1,55	0,82	1,76	31,87	68,13	12
40	0,75	3,00	2,59	1,48	0,73	1,86	28,12	71,88	12
69	0,75	3,00	2,59	1,66	0,91	1,68	35,02	64,98	12
70	0,74	3,00	2,59	1,65	0,92	1,67	35,37	64,63	12
3	0,73	3,00	2,59	1,05	0,32	2,27	12,34	87,66	24
4	0,79	3,01	2,59	1,13	0,35	2,25	13,37	86,63	24
33	0,71	3,00	2,59	1,22	0,51	2,08	19,72	80,28	24
34	0,78	3,01	2,59	1,19	0,40	2,19	15,52	84,48	24
63	0,76	3,01	2,59	1,35	0,59	2,00	22,78	77,22	24
64	0,74	3,00	2,59	1,29	0,56	2,03	21,61	78,39	24
97-8	0,72	3,00	2,59	0,99	0,27	2,31	10,55	89,45	36
98-9	0,76	3,01	2,59	1,05	0,29	2,30	11,32	88,68	36
99-10	0,74	3,00	2,59	1,13	0,39	2,20	15,10	84,90	36
100-11	0,74	3,00	2,59	1,13	0,39	2,20	14,89	85,11	36
101-12	0,75	3,00	2,59	1,03	0,28	2,31	10,64	89,36	36
102-A	0,72	3,00	2,59	1,11	0,39	2,19	15,22	84,78	36

### ANEXO 3: Determinación de MS degradada para maíz extruído a distintos horarios de incubación

Nº bolsa	Peso seco bolsa (g)	Peso muestra BTC (g)	MS inicial	Peso residuo c/bolsa	Residuo neto (s/bolsa)	MS inicial- MS residual (g)	MS no degradada %	MS degradada %	Incubación (h)
29	0,77	3,01	2,59	2,08	1,31	1,28	50,65	36,48	1
30	0,73	3,01	2,59	1,93	1,20	1,39	46,32	36,48	1
59	0,71	3,01	2,59	2,46	1,75	0,85	67,34	32,66	1
60	0,76	3,00	2,59	2,37	1,61	0,98	62,13	37,87	1
89	0,75	3,00	2,59	2,48	1,73	0,85	66,96	33,04	1
90	0,73	3,03	2,61	2,41	1,68	0,93	64,27	35,73	1
23	0,77	3,01	2,59	1,81	1,03	1,56	39,83	60,17	3
24	0,72	3,01	2,59	1,74	1,01	1,58	38,98	61,02	3
53	0,79	3,00	2,59	1,65	0,86	1,73	33,05	66,95	3
54	0,76	3,00	2,59	1,79	1,03	1,56	39,91	60,09	3
83	0,77	3,01	2,59	2,13	1,36	1,23	52,50	47,50	3
84	0,76	3,00	2,59	1,89	1,13	1,45	43,77	56,23	3
17	0,76	3,00	2,59	1,47	0,71	1,88	27,38	72,62	6
18	0,76	3,01	2,59	1,58	0,82	1,78	31,51	68,49	6
47	0,73	3,00	2,59	1,53	0,80	1,79	30,99	69,01	6
48	0,75	3,01	2,59	1,53	0,78	1,81	30,19	69,81	6
77	0,76	3,01	2,59	1,79	1,02	1,57	39,49	60,51	6
78	0,76	3,00	2,59	1,62	0,86	1,73	33,05	66,95	6
11	0,74	3,01	2,59	1,22	0,48	2,12	18,36	81,64	12
12	0,75	3,00	2,59	1,27	0,51	2,07	19,86	80,14	12
41	0,74	3,00	2,59	1,33	0,58	2,01	22,48	77,52	12
42	0,74	3,00	2,59	1,32	0,57	2,02	22,15	77,85	12
71	0,75	3,01	2,59	1,44	0,69	1,90	26,58	73,42	12
72	0,73	3,00	2,59	1,38	0,65	1,94	25,21	74,79	12
5	0,73	3,00	2,59	0,95	0,22	2,37	8,61	91,39	24
6	0,79	3,01	2,59	1,07	0,28	2,31	10,82	89,18	24
35	0,73	3,01	2,59	1,05	0,32	2,27	12,44	87,56	24
36	0,71	3,01	2,59	1,01	0,31	2,28	11,92	88,08	24
65	0,76	3,01	2,59	1,21	0,46	2,14	17,68	82,32	24
66	0,73	3,00	2,59	1,22	0,50	2,09	19,25	80,75	24
103-B	0,76	3,00	2,59	1,06	0,30	2,29	11,46	88,54	36
104-C	0,74	3,00	2,59	0,93	0,19	2,40	7,27	92,73	36
105-D	0,75	3,00	2,59	1,03	0,28	2,30	10,91	89,09	36
106-E	0,77	3,00	2,59	1,01	0,24	2,35	9,29	90,71	36
107-F	0,75	3,01	2,59	1,05	0,30	2,29	11,48	88,52	36
108-G	0,75	3,00	2,59	1,08	0,33	2,26	12,69	87,31	36

**ANEXO 4****Tabla de andeva con 1% de significancia**

FV	GL	SC	SCM	Fcal	Ftab
Maíz (M)	2	2707,27	1353,64	52,15	4,85
Tiempo(T)	5	37709,18	7541,84	290,57	3,23
MxT	10	2074,35	207,43	7,99	2,53
Error	90	2335,99	25,96		
Total	107	44826,79			

**ANEXO 5****Prueba de Tukey para tiempo**

TIEMPO	PROMEDIO	LETRA
1	36,42	f
3	47,00	e
6	58,60	d
12	72,46	c
24	84,79	ab
36	87,28	a
DHS	9,9	

**ANEXO 6****Prueba de Tukey para tratamientos**

MAIZ	PROMEDIO	LETRA
NORMAL	58,05	b
ROLADO	65,38	ab
EXTRUIDO	69,84	a
DHS	10,97	