

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE AGRONOMIA

Evaluación de la fermentabilidad de maíz extruído, roleado al vapor y molido por digestibilidad *in vitro* y producción de gas

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

Liliana Andrea Henríquez Sáez
VALDIVIA – CHILE
2008

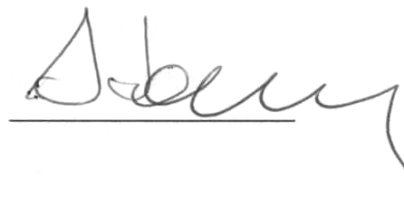
PROFESOR PATROCINANTE

Rene Enrique G..
Ing. Agr., Mg. Sc., Ph. D.

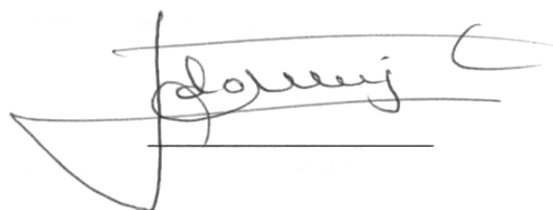


PROFESORES INFORMANTES

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



Fernando Mujica C..
Ing. Agr., Dr. Sc. Agr.



AGRADECIMIENTOS

En este momento se me vienen a la cabeza muchísimas personas a las que quiero agradecer y dedicarles este logro, que si bien me pertenece sin estas personas no hubiera sido posible.

A la primera personita a la que agradezco y dedico este titulo es a mi preciosa hijita Martina Isidora, gracias a ella obtuve fuerzas algunas veces de donde ya no habían, gracias a ella estoy hoy donde estoy y luche por salir adelante pese algunas veces a las adversidades, es la cosita mas bella de este mundo “esto es para ti mi bebita adorada”.

Importantísima en este proceso fue también mi querida madre, gracias mi vieja por tu apoyo constante y por creer en mi y darme el ejemplo de lo que una mujer debe ser en la vida y a mi papá quien también confió en que todo esto seria posible y me brindó su compañía y su fé. Como no mencionar a mis dos queridas hermanitas Macarena y Carolina a las que les debo mucho y que sin ellas todo hubiera sido mas difícil para mi, mis niñas que ya son unas mujeres y a las que espero apoyar igual como ellas lo han hecho conmigo, de verdad que muchas gracias querida familia.

Seria imposible dejar de nombrar a mi abuela, a mi tía Anita, a mi tío Erwin, a mis primas Leslie y Anita; a mi querida prima Pamela y a Francisco (Pancho) su esposo, a mi Dani (mi psicóloga, amiga y cómplice), personas realmente trascendentales en este proceso ya que conté con ellos en momentos que realmente lo necesité, me brindaron sus hogares, apoyo, compañía, muchas veces un oído que escuchara mis problemas y mis alegrías, personas que a veces sin pensarlo estaban allí tendiéndome la mano y dándome el aliento que a veces faltaba, compartí con ellos penas, angustias, risas y también los nervios finales que

acompañan este proceso y ahí estuvieron todos dándome fuerzas y sobre todo amor, así que quiero que sepan que este título es para ustedes también mi gente, mi familia a los que amo profundamente con todo el corazón.

Quiero darle las gracias a Don Rene Anrique y este es un gracias muy muy grande, por el apoyo, el tiempo y sobre todo por la paciencia que tuvo conmigo. Profe, quiero que sepa que usted siempre fue un ejemplo para mi y que siento una profunda admiración por usted como profesional y como persona.

Y por último pero no menos importante quiero agradecer a mi querida Tante, mi mamá en la universidad, gracias mi tante por esas tardes inolvidables de conversación, gracias por escucharme cuando lo necesite, gracias por la preocupación constante en todo sentido, gracias por las oncesitas que tomábamos y sobre todo gracias por la compañía y el cariño que me entregó el que nunca en la vida olvidare, ya es parte de mi historia, de mi gente y por que no decirlo ya es parte de mi familia..."la quiero mucho tante".

Los quiero mucho

Liliana Andrea Henríquez Sáez.

INDICE DE MATERIAS

Capitulo		Página
1	INTRODUCCIÓN	1
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	Características generales del maíz	3
2.2	Degradabilidad de los alimentos.	4
2.3	Técnicas para la evaluación de degradabilidad.	6
2.3.1	Degradabilidad <i>in vitro</i> .	7
2.3.2	Degradabilidad <i>in situ</i> .	8
2.3.3	Degradabilidad <i>in vivo</i> .	9
2.3.4	Técnica de producción acumulativa de gas.	10
2.4	Descripción de los métodos de procesamiento del maíz.	15
2.4.1	Molienda de maíz.	17
2.4.2	Proceso de roleado.	17
2.4.3	Proceso de extrusión.	22
2.5	Dinámica degradativa.	24
3	MATERIAL Y METODO.	25
3.1	Ubicación del estudio.	25
3.2	Caracterización de los alimentos estudiados.	25
3.3	Determinación de la degradabilidad.	26
3.3.1	Degradabilidad <i>in vitro</i> con licor ruminal.	26
3.3.2	Fermentabilidad por producción de gas.	28
3.4	Diseño experimental y análisis estadístico.	30
3.5	Dinámica degradativa.	32
4	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	34
4.1	Resultados.	34
4.1.1	Composición de los maíces analizados.	34
4.1.2	Degradabilidad <i>in vitro</i> .	35
4.1.2.1	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca por tipo de maíz.	35
4.1.2.2	Diseño de bloques completos al azar generalizados.	36
4.1.2.3	Dinámica degradativa.	40
4.1.3	Degradabilidad por producción de gas.	42
4.1.3.1	Diseño de covarianza completamente al azar.	43
5	CONCLUSIONES.	46
6	RESUMEN.	47
7	SUMMARY.	49
8	BIBLIOGRAFIA	51

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Comparación de degradabilidades promedio de materia seca y materia orgánica obtenidas por tres métodos.	13
2	Degradabilidad promedio (%) observada a diferentes tiempos de incubación para el tratamiento control, grano hojuelado entero (HVE) y hojuelado molido (HVM) del grano de maíz.	20
3	Resultados de producción de leche en ensayo realizado en zona Central.	21
4	Tiempos analizados para el tratamiento 1 (Pared celular de ballica) en la Digestibilidad por producción de gas.	28
5	Tiempos analizados para el tratamiento 2 (Pared celular de ballica + Maíz crudo) en la Digestibilidad por producción de gas.	29
6	Tiempos analizados para el tratamiento 3 (Pared celular de ballica + Maíz roleado) en la Digestibilidad por producción de gas.	29
7	Tiempos analizados para el tratamiento 4 (Pared celular de ballica + Maíz extruído) en la Digestibilidad por producción de gas.	29
8	Composición química de los maíces estudiados (BMS).	34
9	Valores de materia seca de cada una de las muestras sometidas a incubación durante la digestibilidad <i>in vitro</i> .	35
10	Coefficientes de degradabilidad para maíz crudo molido, maíz roleado al vapor y maíz extruído.	36
11	Análisis de varianza del modelo estadístico de bloques completos al azar generalizados para la digestibilidad <i>in vitro</i> .	37

12	Resultados Test de significancia de Tukey para los valores de digestibilidad in vitro.	38
13	Constantes degradativas para el grano de maíz molido, maíz roleado y maíz extruído (MS).	40
14	Análisis de covarianza del diseño estadístico utilizado para los datos de digestibilidad por producción de gas.	43
15	Análisis de tukey realizados a los valores de digestibilidad por producción de gas.	44

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico		Página
1	Promedios de coeficientes de digestibilidad para maíz crudo, maíz roleado y maíz extruído.	39
2	Proporciones relativas de las fracciones a, y b de los maíces evaluados.	41
3	Curva de degradabilidad de maíces sometidos a procesado según Modelo de Orskov y Mc Donald.	42

INDICE DE ANEXOS

ANEXO		Página
1	Primer ensayo de degradabilidad en maíces	55
2	Segundo ensayo de degradabilidad en maíces	59
3	Cálculo del coeficiente de degradabilidad	63
4	Sumatoria de horas (bloques) y maíces (tratamientos) para el análisis de bloques completos al azar generalizados.	65
5	Factores necesarios para el cálculo del análisis de varianza en el análisis de bloques completos al azar generalizados.	68
6	Análisis de varianza de bloques completos al azar generalizados.	68
7	Promedios de materia seca ordenados de mayor a menor de horas y tipos de maíces.	69
8	Suma promedio para horas y maíces.	69
9	Diferencia mínima significativa para obtener el Test de Tukey para el análisis de bloques completos al azar generalizado.	69
10	Cálculo del Test de Tukey para las horas o bloques.	70
11	Cálculo del Test de Tukey para los maíces o tratamientos.	70
12	Cálculo de las sumatorias para el diseño completamente al azar con arreglo factorial de los tratamientos.	71
13	Factores necesarios para el cálculo del análisis de varianza para el diseño completamente al azar con arreglo factorial de los tratamientos.	73
14	Análisis de varianza para el diseño	73

	completamente al azar con arreglo factorial de los tratamientos.	
15	Promedios de materia seca ordenados de mayor a menor para el cálculo del Test de Tukey.	74
16	Suma promedio para los tratamientos.	74
17	Diferencia mínima significativa para obtener el Test de Tukey.	75
18	Cálculo del Test de Tukey para los tratamientos.	75
19	Cálculo del Test de Tukey para el factor tratamiento.	76
20	Promedios del factor bloque ordenados de mayor a menor para el cálculo del Test de Tukey.	77
21	Cálculo del Test de Tukey para el factor bloque	77
22	Datos iniciales de degradabilidad por producción de gas para pared celular de ballica.	78
23	Datos iniciales de degradabilidad por producción de gas para pared celular de ballica + maíz crudo.	80
24	Datos iniciales de degradabilidad por producción de gas para pared celular de ballica + maíz roleado.	82
25	Datos iniciales de degradabilidad por producción de gas para pared celular de ballica + maíz extruído.	84
26	Datos de degradabilidad por producción de gas utilizados para el “análisis de covarianza completamente al azar” para el tratamiento 1.	86
27	Datos de degradabilidad por producción de gas utilizados para el “análisis de covarianza completamente al azar” para el tratamiento 2.	87

28	Datos de degradabilidad por producción de gas utilizados para el “análisis de covarianza completamente al azar” para el tratamiento 3.	88
29	Datos de degradabilidad por producción de gas utilizados para el “análisis de covarianza completamente al azar” para el tratamiento 4.	89
30	Volumen acumulado por gramo incubado y tiempo de incubación en horas para la degradabilidad por producción de gas.	90
31	Suma de las observaciones para la obtención de los factores de corrección.	93
32	Factores de corrección para el análisis de covarianza completamente al azar.	94
33	Sumas cuadrados para tiempo (x) y volumen acumulado (y).	94
34	Sumas cuadrados para tiempo/volumen acumulado (XY).	94
35	Grados de libertad, sumas cuadradas y errores ajustados necesarios para el cálculo del análisis de covarianza.	95
36	Cálculo para obtener el valor de Y ajustado para el tratamiento 1	96
37	Cálculo para obtener el valor de Y ajustado para el tratamiento 2.	98
38	Cálculo para obtener el valor de Y ajustado para el tratamiento 3.	100
39	Cálculo para obtener el valor de Y ajustado para el tratamiento 4.	102
40	Cálculo del Test de Tukey para el análisis de covarianza completamente al azar.	104
41	Tabla utilizada para el programa Graphpad Prism 4 para maíz crudo.	105
42	Tabla utilizada para el programa Graphpad	105

Prism 4 para maíz roleado.

43

Tabla utilizada para el programa Graphpad
Prism 4 para maíz extruído.

106

1. INTRODUCCION

Hoy en día es necesario manejar muchas variables dentro de los sistemas de producción animal, ya sea producción lechera o producción de carne, ambos de gran importancia en el país. Dentro de estos sistemas el componente económico es de gran importancia y este se encuentra determinado en gran medida por el factor nutricional. Por lo tanto, es necesario que los animales obtengan el mayor beneficio posible de los recursos alimenticios.

Uno de los puntos importantes dentro de las raciones alimenticias para los animales es el ítem de la energía y la disponibilidad de esta. Para esto existen muchos alimentos los cuales adicionar a las raciones con el fin de suministrar las cantidades necesarias de energía para cada animal dependiendo de su producción (carne, leche, etc.).

El grano de maíz se usa masivamente como fuente de energía para el ganado. Pero el problema es que su almidón grano es lentamente degradado en el rumen lo que da como resultado una entrega insuficiente de energía para los procesos fermentativos. Debido a la lenta degradabilidad del almidón en el grano de maíz, se ha procesado este recurso con el fin de aumentar su degradabilidad y traspaso de energía para maximizar el beneficio que entrega este alimento.

Algunos de los tratamientos que se le realizan al grano de maíz es la molienda, proceso físico en el cual solo se logra la trituración del grano. Otro tratamiento es el rolado al vapor que corresponde a un tratamiento de texturización donde se hidrata y somete a cocción el grano para luego

hojuelarlo mediante rodillos. Por último, otro de los procesos a los que se ha sometido el grano de maíz para aumentar su degradabilidad es el de extrusión, proceso físico – químico en el cual se produce la gelatinización del almidón.

Se ha determinado en algunas investigaciones que existe una diferencia en la degradabilidad de los granos procesados y no procesados, presentando los primeros valores de degradabilidad más favorables ya que estos procesos influyen sobre el aprovechamiento ruminal del almidón.

En la presente investigación se evaluarán tres tipos de maíz: maíz crudo, maíz rolado al vapor y maíz extruído; realizando dos tipos de evaluación de degradabilidad; la primera corresponde a una degradabilidad *in vitro*, la segunda a una degradabilidad por producción de gas.

La hipótesis que se plantea en este estudio es que: la fermentabilidad de los tres tipos de maíz va a presentar diferencias, tomando en cuenta el diferente grado de procesamiento del almidón que ellos presentan.

Frente a esta hipótesis, el primer objetivo es evaluar el efecto del tipo de procesamiento del grano de maíz sobre la fermentabilidad de la materia seca, a través de una degradabilidad *in vitro* y una degradabilidad por producción de gas.

El segundo objetivo corresponde a determinar la dinámica degradativa *in vitro* de los tres tipos de maíz (extruído, rolado al vapor y molido) a través del modelo de Orskov y McDonald.

2 REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Características generales del maíz:

Entre los cultivos suplementarios que son posibles de utilizar para las raciones alimenticias del ganado se encuentra el maíz. El cultivo del maíz forrajero (*Zea maíz L.*) se ha constituido en una de las principales especies forrajeras de las últimas décadas (MACCIO, 1985).

El uso de este recurso se basa principalmente en la conservación de la parte aérea cosechada, a través del ensilaje de esta (KLEIN, 1989).

Entre los cultivos que se pueden utilizar para la suplementación de animales se destaca el maíz, el que posee características de rendimiento, calidad nutritiva y palatabilidad que generalmente son superiores a las praderas (ALDRICH, 1974).

Uno de los factores importantes de señalar del maíz es que según SOTO et al. (1981) este recurso en cualquiera de sus presentaciones o formas de utilización, es un forraje que aporta principalmente energía altamente digestible al ganado.

El grano de maíz se usa masivamente como fuente de energía para el ganado. Las diferencias entre los granos de cereales, en cuanto a la degradabilidad ruminal del almidón, es algo que se conoce desde hace décadas, siendo el almidón de maíz uno de los que presenta menor degradabilidad, en relación a avena, cebada y trigo (WALDO, 1973 citado por ALOMAR y PULIDO, 2001).

2.2 Degradabilidad de los alimentos:

Según Van Soest (1982), la determinación de la disponibilidad de nutrientes en alimentos rumiantes requiere el uso de procedimientos analíticos apropiados, los cuales relacionan la química del alimento con la degradabilidad del mismo (THEODOROU, 1993).

El valor nutritivo de los alimentos y forrajes esta determinado por diversos factores, de los cuales los mas importantes son: la concentración de principios nutritivos, la degradabilidad y el nivel de consumo que el animal haga. La degradabilidad constituye un factor determinante, ya que define la cantidad de nutrientes que son absorbidos, por lo tanto potencialmente utilizados por el organismo animal y además establece el nivel de consumo (CERDA et al., 1987).

Es importante utilizar fuentes de energía que permitan lograr una buena sincronización entre la degradación de la fracción energética y nitrogenada, a fin de optimizar la síntesis de proteína microbiana y su posterior uso a nivel intestinal (HUNTINGTON, 1997 citado por ALOMAR y PULIDO, 2001).

La evaluación de los alimentos que se utilizan en la alimentación animal es muy importante para asegurar una nutrición eficiente, ya que el valor de un alimento depende de la cantidad de nutrientes que el animal puede digerir y utilizar (SCHNEIDER y FLATT (1975); citado por ROMENY (2001)).

La degradabilidad de un alimento se define como la proporción del alimento que no es excretado con las heces y se supone por lo tanto, que ha sido absorbido. Generalmente la degradabilidad se representa por el coeficiente de degradabilidad expresado en % de materia seca (MS) (Mc DONALD et al., 1979).

La degradabilidad es un parámetro utilizado para evaluar los alimentos nutricionalmente o estudiar la utilización de los nutrientes en un animal (POND y COL. 1995; citado por ROMENY. 2001). También mide la desaparición de los nutrientes en su paso a través del tracto digestivo debido a la absorción (MAYNARD y COL. 1981; citado por ROMENY. 2001).

La tecnificación experimentada por la producción animal y en especial los avances obtenidos en nutrición y alimentación animal, requieren de información cada vez más precisa y rápida respecto del valor nutritivo de los alimentos, y dentro de este, de la degradabilidad. Al respecto, los investigadores han estudiado y adaptado una serie de metodologías y técnicas con el objeto de predecir con cierto grado de seguridad la degradabilidad aparente de los alimentos (CERDA. et al., 1986).

Hay que tener en cuenta que existen factores que afectan la degradabilidad, según CAÑAS (1998); citado por ROMENY (2001) hay factores que tienen mayor incidencia que otros, como son la composición del alimento y de la ración total, el procesamiento del alimento, el nivel de alimentación y factores dependientes del animal.

La influencia de la composición del alimento y de la ración, está principalmente relacionada con la cantidad y composición de la fibra, ya que en todas las especies animales, a medida que aumenta el contenido de fibra cruda, disminuye la degradabilidad del alimento (Becker y Nehring, 1965; citado por ROMENY, 2001).

El procesamiento puede aumentar la degradabilidad de los nutrientes en los granos de manera importante, ya que los hace más disponibles a la degradación enzimática (BRIGGS, 1997 citado por ROMENY, 2001).

En relación al nivel de alimentación, CAÑAS (1998), citado por ROMENY (2001) indica que mayores cantidades de alimento producen disminución en los niveles de degradabilidad, dada por una mayor velocidad de tránsito digestivo, lo cual produce una menor exposición de la ingesta a las enzimas digestivas.

Por último entre los factores dependientes del animal se menciona como el más importante la especie animal y las diferencias están relacionadas con la cantidad y nivel de utilización de la fibra de la dieta (KIRCHGESSNER, 1987 citado por ROMENY, 2001). Los alimentos con poca fibra son igualmente digeridos por rumiantes y por no rumiantes, pero los más fibrosos son mejor digeridos por los primeros (CYMBALUK, 1990 citado por ROMENY, 2001). Según WALTER (1972), citado por ROMENY (2001), también existen diferencias entre individuos de una misma especie, relacionadas con la eficacia de la masticación, la presencia de parásitos intestinales y la velocidad del tránsito.

2.3 Técnicas para la evaluación de la degradabilidad:

Los laboratorios de evaluación a través de todo el mundo han adoptado distintos procedimientos para evaluar la degradabilidad de los alimentos. Más aún, estos métodos probablemente aumenten en importancia en los años venideros debido a los avances en biología molecular vegetal y programas de mejoramiento de cultivos, y debido a las preocupaciones ambientales y económicas respecto a la disposición de cantidades sustanciales de residuos de cultivos (THEODOROU, 1993).

Diversas técnicas de laboratorio se concentran en estimar la degradación ruminal. El razonamiento para esto es que el forraje o alimento está compuesto principalmente de carbohidratos en la forma de fibra y ésta solo puede ser digerida por los microorganismos del rumen. Sin embargo, la degradabilidad efectiva (la degradabilidad que puede ser esperada *in vivo*) también depende de

la tasa de degradación, de la degradabilidad potencial y de la tasa de flujo desde el rumen (HVELPLUND et al., 1995 citado por WILLIAMS, 2000). Por el momento, no existen técnicas *in vitro* que puedan estimar el aspecto último de la degradabilidad *in vivo*. Las técnicas existentes miden la degradabilidad potencial (Tilley y Terry, 1963) o tanto la degradabilidad como la tasa de degradación (producción de gas *in situ* y acumulativa) (WILLIAMS, 2000).

2.3.1 Degradabilidad *in vitro*: Los métodos *in vitro* consisten básicamente en simular los procesos digestivos que ocurren in vivo y se han empleado extensamente debido a que se puede analizar un mayor número de muestras en un menor tiempo, la degradabilidad es mas constante debido a que se puede controlar el medio y en general requiere un menor costo en comparación al método *in vivo* (GARRIDO y MARÍN, 1981).

La metodología general de degradabilidad *in vitro* de dos fases consiste inicialmente en una fase de fermentación por 48 horas, la cual simula los procesos digestivos del rumen, seguido por una segunda fase de digestión que incluye la solubilización de la materia seca residual por medio de la pepsina ácida o detergente neutro (TILLEY y TERRY 1963, citado por GARRIDO y MARÍN, 1981)

Se puede conocer la degradabilidad *in vitro* de un alimento sometiendo éste a una incubación con un inóculo de microflora ruminal proveniente de un animal fistulado. Esta incubación se realiza en un medio de cultivo apropiado y en condiciones de temperatura y anaerobiosis controladas. Las enzimas que sintetizan la microflora digieren el alimento durante esta primera etapa (por 48 horas que simula la digestión ruminal) y posteriormente se realiza una digestión con una mezcla de ácido clorhídrico-pepsina por otras 48 horas (que corresponden a la digestión enzimática del animal). Las cantidades de muestra

(materia seca o materia orgánica) que desaparecen después de ambas etapas se consideran como digeridas (BATEMAN, 1970).

El uso de pepsina ácida en la segunda fase ha dado generalmente valores de degradabilidad aparente *in vivo* (BARNES y MARTEN, 1979; citado por GARRIDO y MARÍN, 1981).

La solución detergente neutro es mucho más efectiva en eliminar la totalidad de los residuos microbianos, quedando solo un residuo de pared celular no digerida. De esta manera se han obtenido degradabilidades numéricamente equivalentes a la degradabilidad verdadera *in vivo* (GARRIDO y MARÍN, 1981).

El procedimiento de rumen *in vitro* permite obtener el valor de la degradabilidad verdadera o aparente. El valor de degradabilidad verdadera se puede predecir basándose en los constituyentes de paredes celulares no digeridos. El valor de degradabilidad aparente calculado o el valor que es igual en magnitud a los valores aparentes *in vivo*, está basado en la técnica de digestión *in vitro* de Tilley y Terry, el cual puede contener residuos bacteriales u otro material insoluble en pepsina (BATEMAN, 1970).

Según APPLGATE y HERSHBERGER (1969), citado por ROMENY (2001), este método es ventajoso por su facilidad de llevarlo a cabo y la posibilidad de poder hacer varias réplicas a bajo costo.

2.3.2 Degradabilidad *in situ*: Esta técnica también se denomina *in sacco*, bolsa de nylon, bolsa Dracon, bolsa de paño, etc. (WILLIAMS, 2000).

Ha sido usada por muchos años para proporcionar estimaciones tanto de la tasa como del grado de desaparición de los constituyentes alimenticios rumiantes (THEURER et al: 1999).

En esta técnica la degradabilidad se calcula midiendo la desaparición de un sustrato desde una bolsa de nylon, poliéster o dracón suspendida en el rumen del animal (KOLLER y COL., 1978 citado por ROMENY, 2001). Las bolsas son removidas secuencialmente en momentos apropiados después de su inserción y los residuos particulados son generalmente sujetos a un análisis proximal para la determinación de materia seca residual, fibra detergente ácida, fibra detergente neutra y lignina (THEURER, et al; 1999).

Otra definición de la técnica está dada por WILLIAMS, (2000) la que dice que se requiere la incubación de sustratos en bolsas dentro del rumen de animales fistulados. Estas bolsas son removidas a intervalos regulares, la pérdida de peso es graficada (generalmente como materia seca) y se ajusta una curva a los puntos de datos resultantes.

Esta es una práctica que requiere de animales canulados como se mencionó anteriormente, por esta razón es más costosa, más lenta y con capacidad baja de procesamiento comparada con otras técnicas *in vitro* (RUIZ, 2005).

2.3.3 Digestibilidad *in vivo*: Los procedimientos más utilizados en estudios para obtener degradabilidad *in vivo* consisten en los métodos de recuperación total y del indicador (Mc DONALD et al., 1979).

El método de recuperación total requiere de un registro de las sustancias consumidas y de las cantidades que se excretan en las heces. Para este manejo se han adecuado jaulas metabólicas en las que se consigue la

separación y exacta recogida de las excretas (MAYNARD, 1975 citado por VYHMEISTER, 2005).

El método del indicador se utiliza en el caso en que se dificulte controlar la ingesta, coleccionar las heces o pesar estas y consiste en agregar al alimento una sustancia que sea totalmente indigestible. Midiendo su concentración en los alimentos y en pequeñas muestras de heces, se obtiene una relación que permite obtener una medida de la digestibilidad (Mc DONALD et al., 1979).

2.3.4 Técnica de producción acumulativa de gas: El procedimiento es relativamente simple y usando un acercamiento cinético a la fermentación de forrajes, opuesto a la determinación más convencional de degradabilidad terminal, puede ser posible destacar aquellos factores que reducen o estimulan el valor nutritivo de alimentos rumiantes (THEODOROU, 1993).

Esta técnica ha sido prominente en los últimos 10 años. En 1974, MENKE Y EHRENSVARD citado por THEURER et al (1999) describieron un método no destructivo indirecto para determinar la tasa y grado de degradación de alimentos rumiantes *in vitro*. Esto se logró monitoreando la acumulación de gases de la fermentación sobre bateas de cultivo inoculadas con fluido del rumen. El método fue elaborado más tarde por Menke et al. (1979), cuando altas correlaciones fueron reportadas entre los valores de producción de gases *in vitro* y las degradabilidades aparentes *in vivo*.

La práctica es similar a otros procedimientos de degradabilidad *in vitro* los cuales usan sustratos molidos, un medio anaeróbico y un inóculo de una población microbiana mezclada del rumen (WILLIAMS, 2000).

El sustrato previamente pesado es suspendido en un medio, la mezcla es calentada a 39°C y una mezcla del fluido ruminal recientemente recolectada es

agregada como inóculo. Desde ese momento, se registra la producción de gas resultante de la fermentación, ya sea al final de la fermentación o a intervalos regulares de tiempo para aquellos métodos que miden la cinética de la fermentación. Esta curva registra la producción de un producto de desecho de los microorganismos, y así refleja la cinética de la actividad microbial dentro de la botella (WILLIAMS, 2000).

La fermentación es realizada en barriles de jeringa de vidrio que contienen el material alimenticio en un medio anaeróbico inoculado con fluido ruminal. A medida que el sustrato es fermentado, se producen gases y el émbolo de la jeringa es forzado a elevarse al interior del barril. Por lo tanto, la tasa de fermentación del material alimenticio es determinada simplemente monitoreando la tasa de elevación del émbolo. A pesar de su obvia atracción, el procedimiento Menke no ha sido ampliamente aceptado en los laboratorios de evaluación de forrajes. Razones de esto probablemente incluyan el costo del equipo (THEODOROU, 1993).

Para cuantificar la producción de gas durante la fermentación se está utilizando últimamente un “transductor de presión”. A diferencia de las técnicas actualmente disponibles, debido a la naturaleza precisa de las determinaciones con el transductor de presión, el procedimiento se presta en sí mismo a estudios de tasa tanto de corto como de largo plazo. Además de su uso para determinar la cinética de la digestión, la técnica puede ser usada para evaluar el efecto o los efectos de perturbar los cultivos con factores antifermentativos, tales como taninos y otros metabolitos secundarios vegetales potencialmente tóxicos (THEODOROU, 1993).

La producción de gas *in vitro* está relacionada solamente a la fermentación en el rumen, más que a la degradabilidad en tracto digestivo

completo, lo cual también incluye digestión enzimática, absorción y fermentación estomacal posterior (WILLIAMS, 2000).

Las técnicas de producción acumulativa de gas tienen diversas ventajas importantes en términos de bienestar animal, tamaño de muestra, costo y en forma mas importante, en el hecho de que ellas describen la cinética de la actividad microbial en respuesta a un sustrato dado (WILLIAMS, 2000).

En cuanto al bienestar animal, aunque el uso de animales fistulados es menor al que se requiere en la degradabilidad *in vivo*, las técnicas de producción de gas aún requieren animales como fuente de fluido ruminal. Para eliminar esta necesidad de animales fistulados, algunas investigaciones han sido realizadas para determinar si las fecas pueden ser o no usadas como un inóculo alternativo (AIPLE, 1993; citado por WILLIAMS, 2000). Pero aún no esta claro si las fecas podrían remplazar al fluido ruminal para este método.

Por otro lado, la cantidad de material requerido para evaluar la cinética de la fermentación de sustratos varía desde 0,1 a 1 g. Se requiere más de lo que es fermentado para asegurar una muestra representativa, pero estas son todavía pequeñas cantidades comparadas con otras técnicas, haciéndola adecuada para materiales disponibles en cantidades limitadas (ejemplo: ensayos de mejoramiento vegetal, etc.) (WILLIAMS, 2000).

Los costos de ensayos de laboratorio son generalmente mucho mas bajos que aquellos requeridos para mantener animales y si bien, el equipamiento inicial requerido puede ser bastante costoso para los sistemas más automatizados, las horas de medición son significativamente reducidas (WILLIAMS, 2000).

Una limitación al uso de la técnica para evaluación de forraje es la carencia de uniformidad en la metodología. Esto hace difícil comparar resultados de grupos diferentes (WILLIAMS, 2000).

Se han realizado comparaciones entre los métodos que miden degradabilidad y se han encontrado diferencias como lo muestra el siguiente cuadro:

Cuadro 1: Comparación de degradabilidades promedio de materia seca y materia orgánica obtenidas por tres métodos.

Forrajes	Métodos					
	Dig. Aparente		Dig. <i>in vitro</i>		Dig. <i>in situ</i>	
	MS	MO	MS	MO	MS	MO
	%		%		%	
Heno de alfalfa	69,52 ^a	71,85 ^A	66,78 ^b	61,74 ^B	74,43 ^{(1)c}	74,95 ^c
DS	2,4	3,26	5,8	8,82	4,42	2,15
CV	3,46	4,54	9,0	14,0	5,95	2,85
Heno de trébol	64,60 ^a	65,47 ^A	61,78 ^b	57,01 ^B	69,58 ^{(1)c}	68,28 ^A
DS	2,41	3,42	4,48	7,05	4,45	4,70
CV	3,73	5,15	7,0	12,00	6,39	6,90
Heno de ballica	64,85 ^a	66,67 ^A	55,41 ^b	50,97 ^B	70,11 ^{(2)c}	68,33 ^A
DS	4,76	4,58	8,2	10,01	3,57	3,60
CV	7,34	6,86	14,0	19,6	5,09	5,27
Paja de trigo	52,74 ^a	54,35 ^A	37,01 ^b	31,05 ^B	54,50 ^{(2)a}	52,38 ^A
DS	6,23	6,11	9,26	10,75	5,57	5,63
CV	11,74	11,07	25,0	34,6	10,22	10,70

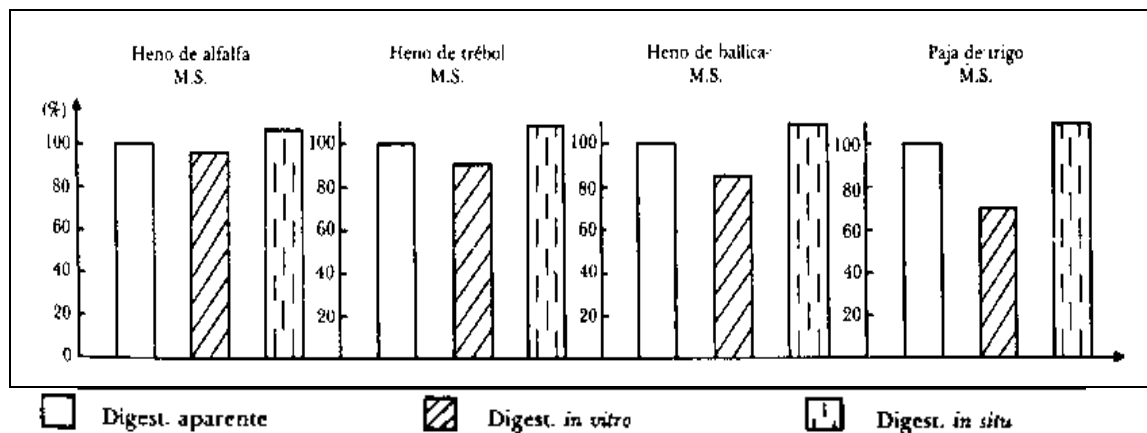
⁽¹⁾Digestibilidad a las 24 h de incubación.

⁽²⁾Digestibilidad a las 48 h de incubación.

Fuente: CERDA et al, (1986).

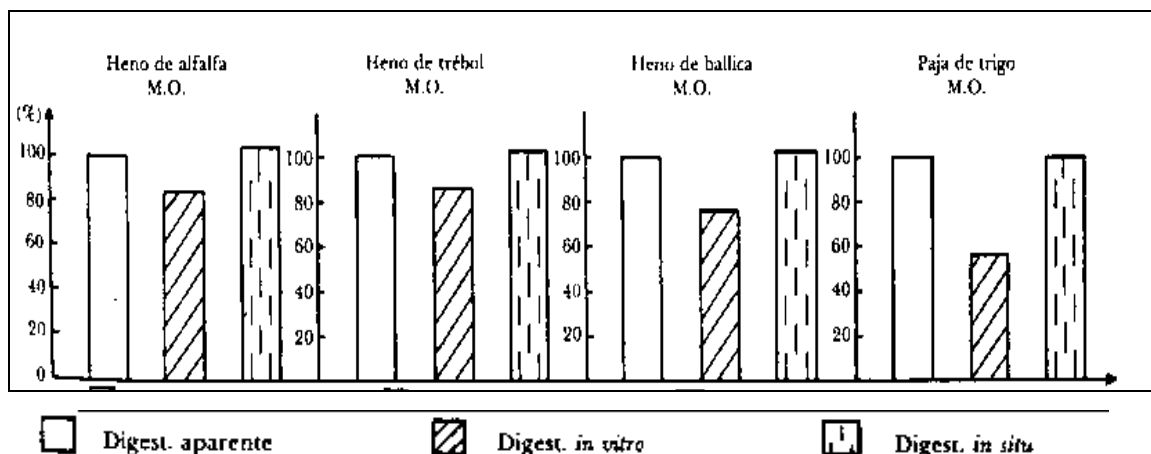
Toda la información anteriormente mencionada se puede expresar en términos relativos, al llevar al 100% los valores de degradabilidad aparente y calcular los valores que representan las degradabilidades *in vitro* e *in situ*. En el caso de la materia seca los valores porcentuales de ésta se acercan mucho al

100% en los forrajes de buena calidad (heno de alfalfa y heno de trébol) y en el caso de los forrajes de menor calidad, el método *in vitro* es el que produce los valores porcentuales más alejados. En cambio el método *in situ* mantiene una gran aproximación de los valores, superando incluso al 100%, lo que se puede apreciar en la figura 1 (CERDA et al., 1986).



Fuente: Avances en Producción Animal (CERDA et al., 1986).

Figura 1: Relación porcentual entre los valores de degradabilidad aparente y la obtenida por los métodos *in vitro* e *in situ* para Materia Seca.



Fuente: Avances en Producción Animal (CERDA et al., 1986).

Figura 2: Relación porcentual entre los valores de degradabilidad aparente y la Obtenida por los métodos *in vitro* e *in situ* para Materia Orgánica

De este estudio se puede concluir que los valores de la degradabilidad *in vitro* e *in situ* muestran una alta correlación con los valores de la degradabilidad aparente, el método de degradabilidad *in vitro* presenta una alta predicción en forrajes de alta calidad cuyas degradabilidades fluctúan entre 56 y 90% en MS y 64 a 95% en MO, en cambio en el método *in situ* presenta alto grado de estimación para un rango de degradabilidades mas amplios, porcentajes que van de 30 a 80% para MS y 45 a 90% de MO (CERDA et al., 1986).

2.4 Descripción de los métodos de procesamiento del maíz:

Los cereales mas comúnmente utilizados en el país para la formulación de raciones de bovinos son el maíz, la avena y la cebada. Por lo general estos cereales son incorporados en las formulaciones de los concentrados comerciales o bien son utilizados directamente en el predio previa molienda, a veces incluso son entregados enteros sin tratamiento anterior, esto último es más común en el uso de la avena y la cebada. De acuerdo a la información

existente, es posible obtener una mayor eficiencia en el uso de estos recursos al incorporar tecnología, sobre los cereales ofrecidos al ganado (PEDRAZA et al., 2002).

La estructura del grano de maíz refleja sus funciones, como son la protección y el transporte del embrión. El almidón que contiene se utiliza como fuente de energía en la germinación y crecimiento temprano del cereal. La capa más externa del grano, el pericarpio, cubre al endosperma donde se encuentra gran parte del almidón, ya sea como gránulos envueltos por una capa proteica (endosperma rugosa) o como gránulos libres de esta capa (endosperma lisa), siendo, estos últimos, más susceptibles a fuerzas externas, tales como digestión o procesamiento del grano y que permiten una mejor utilización del almidón por los rumiantes. Una mayor o menor proporción de endosperma susceptible a fuerzas externas condiciona la existencia de importantes diferencias en las tasas de digestión de los variados tipos de granos donde, por ejemplo, la cebada tiene una más rápida digestión que el maíz. El almidón es el principal componente energético del grano y su proporción varía en los distintos cereales, donde el maíz contiene alrededor de 72 - 78%; el sorgo 68 - 78%; el trigo 67 - 77%; la cebada 60 - 74% y la avena 52 - 69%. Los bovinos presentan menos habilidad que otros rumiantes en la masticación del grano entero (THEURER, 1986; citado por PEDRAZA et al., 2002), siendo el sorgo el que presenta la mayor dificultad seguido por el trigo, cebada, maíz y avena. Además el grano de cereal con su pericarpio intacto, es resistente a la digestión ruminal, limitándose la digestión bacteriana, en gran parte, a la superficie externa del grano.

Según ALOMAR y PULIDO (2001), una forma de facilitar el acceso de los microorganismos al substrato energético representado por el grano, es efectuar tratamientos de texturización.

Los distintos métodos de procesamiento de los granos se realizan para mejorar la utilización del almidón en el tracto digestivo total y fundamentalmente para aumentar su degradabilidad a nivel ruminal (HUNTINGTON, 1997; CHURCH, 1993, citado por LAVERGNE, 1999).

Los tipos de procesamiento más usuales pueden ser divididos en métodos físicos como: el quebrado, molido, aplastado y peleteado o en métodos físico-químicos como la aplicación de calor y humedad (LAVERGNE, 1999).

2.4.1 Molienda de maíz: En el caso de los métodos físicos, la molienda del maíz aumenta la eficiencia de utilización del almidón por parte de las bacterias, debido al incremento del área disponible para la acción de las enzimas bacterianas. Sin embargo, dichos cambios no siempre se expresaron en una mayor producción de leche. Además el inconveniente que presenta la molienda del grano es que por sus características físicas queda un material muy fino que afecta el consumo de los animales (BARGÓ Y COL, 1998, citado por LAVERGNE, 1999).

2.4.2 Proceso de roleado: Como una alternativa para aumentar la utilización del almidón en el rumen, aparece el método físico-químico de roleado al vapor, que consiste en colocar el grano de maíz entero en cámaras de vapor durante 30 a 45 minutos, para aumentar la humedad del grano hasta un 16-20% y luego aplastarlo con rodillos para obtener gruesas hojuelas del grano (CHEN y COL., 1994, citado por LAVERGENE. 1999).

El roleado es un proceso termomecánico al que se someten los granos. Consiste en hidratarlos y cocerlos con aplicación de vapor y presión. Luego de la cocción el grano es laminado por dos rodillos (PEDRAZA et al,2002).

En Chile la tecnología del roleado fue introducida por Copeval S.A., empresa que, con el apoyo de CORFO, inició la fabricación de esta nueva alternativa alimentaria para animales de diferentes tipos. De acuerdo a la literatura su uso es muy recomendable para rumiantes, especialmente en vacas lecheras y ganado de carne (PEDRAZA et al, 2002).

En este proceso (roleado) el cereal es procesado por tratamientos que incluyen acción mecánica y altas temperaturas (termomecánico) como se mencionó anteriormente. En nuestro país se aplica vapor a presión lográndose la cocción del grano, luego éste es laminado por dos rodillos y secado. Este proceso permite la ruptura del pericarpio y la exposición de los gránulos de almidón para una mejor digestión por parte de las bacterias del rumen (PEDRAZA, et al, 2002).

El tratamiento con vapor, produce la ruptura de la matriz proteica y la gelatinización parcial del almidón, por lo que se vuelve mas fácilmente disponible al ataque de las enzimas bacterianas (CHEN y COL., 1994, citado por LAVERGNE. 1999).

El tratamiento de hojuelado al vapor, denominado comercialmente como "roleado al vapor", consiste en someter al grano a una cocción a 100° C y 1 atmósfera de presión, por un tiempo determinado (30-40 minutos) hasta alcanzar un contenido de humedad entre 18 y 20%. Posteriormente en el proceso el grano es laminado mediante dos rodillos, con una separación de 0,005 mm, ejerciendo una presión de ca. 1.000 psi, lo que, junto al tratamiento térmico anterior, tiene por objetivo lograr un importante grado de gelatinización del almidón. Finalmente, el grano es desecado y enfriado, lográndose un producto (hojuelado) con ca. 14% de humedad y una temperatura levemente superior al ambiente (ALOMAR y PULIDO, 2000).

El grano entero e intacto es muy resistente a la digestión ruminal ya que la acción de los microorganismos se limita a la superficie externa del grano. Con esta tecnología se produce la ruptura de la matriz proteica del gránulo de almidón el que queda mas expuesto al ataque bacteriano, aumentando su degradabilidad en el rumen y en el tracto digestivo. En definitiva, incrementa el valor energético de los granos (PEDRAZA et al, 2002).

En los procesos de digestión ruminal participan bacterias, protozoos y hongos, siendo las bacterias las que realizan la mayor parte de la fermentación enzimática del almidón. Puesto que el almidón es su mayor componente, los granos de cereales constituyen la fuente primaria de energía en las raciones de rumiantes de alto rendimiento, ya sea de producción de carne o de leche (PEDRAZA et al, 2002).

El proceso de roleado al vapor permitiría mejorar la degradabilidad del almidón y aumentar el contenido de energía metabolizable, especialmente si se le compara con el grano entero (ISHIDA et al, 1997 citado por ALOMAR y PULIDO, 2000).

Cuadro 2: Degradabilidad promedio (%) observada a diferentes tiempos de incubación para el tratamiento control, grano hojelado entero (HVE) y hojelado molido (HVM) del grano de maíz.

Tratamientos			
Horas de fermentación	Control	HVE	HVM
0	20,4 b ¹ ± 0,32	20,2 b ± 0,30	24,7 a ± 0,21
2	32,0 c ± 0,33	40,5 b ± 0,47	46,5 a ± 0,62
4	37,5	49,4	52,2
6	46,6	53,9	57,0
8	51,3	57,0	58,2
12	58,3 b ± 2,94	60,0 ab ± 1,79	66,3 a ± 2,91
18	60,0	65,6	69,8
24	66,9 c ± 0,97	71,8 b ± 0,61	74,8 a ± 0,86
36	76,1 b ± 1,29	78,2 b ± 0,99	81,3 a ± 0,71
48 ²	95,3 a ± 0,26	87,2 c ± 0,79	93,7 b ± 0,30

¹: Promedios con superíndice diferente (horizontal), indican diferencias entre tratamientos, según prueba de Tukey (P<0,05).

²: Comparación no paramétrica (Kruskal y Wallis), en que difieren las medianas (varianzas no homogéneas).

³: Dr. Orskov, Rowet Research Institute, Aberdeen, Escocia.

Fuente: Alomar, Daniel; Pulido, Rubén, Revista Agro sur, 2001

Los resultados promedio en la tabla anterior para la desaparición de materia seca desde el rumen muestran que los tratamientos de texturización, particularmente el HVM (hojelado al vapor molido), tiende a presentar mayor degradabilidad ruminal (P<0,05) que el control en diferentes tiempos (ALOMAR y PULIDO, 2001).

El uso de cereales rolados es una práctica común en los países con un buen desarrollo ganadero dado que les reporta mayores utilidades, al presentar

los animales que lo consumen una mejor y más eficiente respuesta productiva (PEDRAZA et al., 2002).

Cuadro 3: Resultados de producción de leche en ensayo realizado en zona Central.

PARAMETROS CONTROLADOS	DIETAS	
	MAIZ ROLEADO	MAIZ MOLIDO
Leche, Kg/d	31,51	30,94
4% FCM, Kg/d	31,42	30,20
Materia Grasa		
%	3,98	3,84
Kg/d	1,27	1,17
Proteína		
%	3,15	3,20
Kg/d	1,00	0,96
Lactosa		
%	5,00	5,04
Kg/d	1,60	1,55
Sólidos Totales		
%	12,81	12,67
Kg/d	4,09	3,88
Sólidos no Grasos		
%	8,82	8,89
Kg/d	2,80	2,72
Recuento de Células		
Mil cel/ml	137,87	136,81

Fuente: PEDRAZA et al. (2002)

En este experimento la diferencia no fue significativa aunque los valores siempre se inclinaron a ser mayores para el caso del maíz roleadado.

En los ensayos realizados para determinar los beneficios de la utilización de maíz roleado, se han obtenido diferentes intensidades de respuesta que bien pueden adjudicarse a razones de material experimental y diseños de los experimentos; sin embargo, se puede concluir que su uso promueve una mayor producción de leche y proteína en las vacas que lo consumen (PEDRAZA et al., 2002).

2.4.3 Proceso de extrusión: El proceso de extrusión puede asimilarse a la preparación del pan por ejemplo: mezclado, amasado, impermeabilización (levado de la masa), darle forma, levado y cortado en rebanadas. El primer paso en el proceso de extrusión – cocción es el adecuado preacondicionamiento de la mezcla seca para permitir la gelatinización de los almidones (COWELL et al., 2000).

La mezcla seca se coloca dentro de un preacondicionador por un sistema de pesado que mantiene exactamente una proporción de alimento constante. El preacondicionador posee unas paletas mezcladoras – transportadoras que revuelven la mezcla seca y agregan líquido, junto con agua y vapor para aumentar el contenido de humedad y preparar la mezcla para la cocción y formado. En general, mezcla seca y cualquier líquido agregado son retenidos en el preacondicionador durante cerca de 45 segundos. Este preacondicionador alcanza un 20 a 25% de cocción del almidón (una medida del tiempo completo de cocción por extrusión). Posterior a esto puede diferenciarse en:

- Extrusores de tornillo único y
- Extrusores de tornillos gemelos

Los extrusores de tornillo único consisten de un tonel cilíndrico multisegmentado con un único tornillo que empuja, mezcla y cocina el material y lo fuerza a través de un cuño con múltiples agujeros donde es cortado a la

longitud deseada por cuchillos rotatorios. Este tipo de extrusor opera bajo el principio de fricción. El cocimiento deseado de la masa se logra cuando el material se pone en contacto con la pared del barril (COWELL et al, 2000).

Los tiempos que permanece el alimento dentro del extrusor pueden variar de 10 a 270 segundos con temperaturas que oscilan entre los 80 a 200°C (COWELL et al., 2000).

Para el caso de la utilización de extrusores con tornillos gemelos la diferencia se basa en que estos últimos poseen dos tornillos los que pueden ser corrotatorios o contrarrotatorios, engranados o no engranados. El diseño más común y más utilizado es el de tornillos gemelos corrotatorios, engranados. En este caso sus tornillos engranados mezclan de manera más uniforme, transfieren más energía de fricción y transportan la masa hacia delante con más efectividad. Esto último permite un tiempo de residencia del alimento más corta (cantidad de tiempo que está la masa dentro de la camisa del extrusor) y una cocción más uniforme (COWELL et al., 2000).

La etapa final en el proceso de extrusión es cuando el material similar a una masa gelatinizada es forzada a través de las aberturas del cuño el cual determina la forma final del producto. El cuño es una placa removible con uno o más huecos que se fija en la cabeza de la camisa del extrusor. El cuño es también la parte final de cocción. La cantidad de huecos en él, la forma de los mismos y el espesor del cuño contribuyen a la densidad, textura y forma del extruído (COWELL et al., 2000).

El extruído con temperaturas de 100 a 200°C contiene aproximadamente 25 a 27% de humedad y se produce a elevadas presiones que van desde 34 a 37 atmósferas. Cuando se alcanza temperatura y presión ambiente en el cuño la humedad se disipa por completo expandiéndose el producto por lo menos en

un 50% mas que el tamaño del diámetro del cuño por el cual salió el alimento, creándose de esta manera la característica de textura porosa que presentan los alimentos extruídos (COWELL et al., 2000).

2.5 Dinámica degradativa:

Para determinar la dinámica degradativa se utiliza la ecuación de Orskov y McDonald (1979), esta ecuación proporciona un medio útil para estimar las tasas de desaparición y la degradabilidad potencial de las materias y los constituyentes alimenticios (THEODOROU, 1993).

Esta ecuación se ha utilizado en innumerables investigaciones con el fin de determinar la desaparición de materia seca en distintos horarios o en otros casos la acumulación de gas cuando es utilizada la técnica de degradabilidad por producción de gas.

Para evaluar la dinámica de la degradación ruminal los promedios de degradabilidad por cada tiempo se ajustaron a la función exponencial propuesta por Orskov y McDonald (1979), que corresponde a la siguiente:

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

Donde:

Y = material degradado en el tiempo t (% MS)

a = material soluble o rápidamente degradable.

b = material insoluble, pero degradable en el tiempo t.

c = tasa fraccional de degradación de la fracción b.

t = tiempo de fermentación.

a+b = degradabilidad potencial o extensión de la fermentación (ALOMAR Y PULIDO, 2001).

3. MATERIAL Y METODO

3.1 Ubicación del estudio:

El estudio de degradabilidad *in vitro* se realizó en el laboratorio de nutrición del instituto de Producción Animal de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Austral de Chile. La degradabilidad por producción de gas se realizó en el laboratorio de nutrición de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

3.2 Caracterización de los alimentos estudiados:

Se analizaron tres tipos de maíz los cuales presentaron distintos tipos de procesamiento. Todos los maíces fueron provenientes de una misma partida de grano, separándose de esta las partidas para los procesamientos correspondientes:

- maíz crudo molido: corresponde a maíz triturado utilizando una criba 2,5mm.

- maíz roleado al vapor: el grano luego de una selección y limpieza fue sometido a una temperatura de 100°C por 55 minutos, con vapor a presión atmosférica (18-20% humedad) y por último fue rodillado.

- maíz extruído: luego de una selección, limpieza y molienda del grano a 2,5 mm fue sometido a una extrusión en seco a una temperatura de 90°C, bajo una presión de 15-20 atmósferas de vapor, enfriado y secado a temperatura ambiente con una humedad final de 12-14%.

Se considera como tratamiento 1 al maíz crudo molido, como tratamiento 2 al maíz roleado y como tratamiento número 3 al maíz extruído, para los análisis estadísticos a realizar.

3.3 Determinación de la degradabilidad:

Para la determinación de la degradabilidad *in vitro* se realizaron 2 ensayos iguales utilizando los mismos tipos de maíz: maíz crudo molido, maíz roleado y maíz extruído, en idénticas cantidades (0,5 g) y evaluando los mismos horarios de incubación en ambos ensayos. Se efectuaron tres repeticiones por tipo de maíz y por horario en cada uno de los ensayos obteniéndose un total de 6 repeticiones por maíz y por horario de incubación, considerando los dos ensayos.

3.3.1 Degradabilidad *in vitro* con licor ruminal: La degradabilidad *in vitro* de la MS se determinó por incubación con licor ruminal en los siguientes tiempos: 1, 2, 3, 6, 12, 24, 36 y 48 horas, tiempos después de los cuales se llevó a cabo una filtración de los residuos utilizando un sistema de filtración al vacío. El licor ruminal fue extraído de un bovino adulto hembra fistulado al rumen.

Para la degradabilidad *in vitro* se realizaron dos ensayos con la misma cantidad de muestras y los mismos tiempos de incubación, resultados que se pueden apreciar en los anexos 1 y 2.

a) Equipamiento: Para la Degradabilidad *in vitro* se utilizaron los siguientes materiales:

- ⇒ Balón de anhídrido carbónico
- ⇒ Horno de incubación
- ⇒ Sistema de filtrado al vacío
- ⇒ Horno materia seca

- ⇒ Mufla
- ⇒ Frascos de vidrio para incubación
- ⇒ Cisoles de vidrio con fondo poroso
- ⇒ Balanza analítica

b) Preparación de las muestras: Para la degradabilidad *in vitro* se pesaron 24 muestras de cada tipo de maíz (crudo, rolado al vapor y extruído).

Cada muestra, de un peso de 0,5 gramos fue colocada en un frasco de vidrio para incubación a los cuales se les agregó 40 ml de medio. Posteriormente, las muestras se mantuvieron a baño maría (39° - 40°C) mientras se les adicionaba los demás componentes necesarios para llevar a cabo la digestión *in vitro*, que corresponden a: 2 ml de una solución reductora minutos antes de adicionar el licor y 10ml de licor ruminal filtrado (durante el proceso de adición del licor es necesario estar gaseando los frascos con CO₂ para mantener la anaerobiosis); posteriormente los frascos se taparon bien para luego incubarlos en el horno a 38°C por 1, 2, 3, 6, 12, 24, 36 y 48 horas. Cada frasco fue identificado para cada uno de los horarios.

c) Manejo de las muestras una vez finalizada la incubación: Se extrajeron para filtrar 9 frascos (por hora establecida o tiempo de incubación), los que corresponden a 3 muestras de cada tipo de maíz, es decir, por cada hora de incubación se tuvieron tres repeticiones por maíz y por ensayo. Cada muestra fue vaciada en cisoles que previamente fueron identificados con un número (con el fin de llevar el registro de las muestras), y colocados en un horno a 105°C por media hora, luego enfriados en un desecador, todo este proceso se realizó para registrar el peso de los cisoles sin muestra. Se filtraron las muestras digeridas y se lavaron varias veces con agua destilada caliente. Finalmente se lavaron dos veces con acetona. Una vez finalizada la filtración se

pusieron los crisoles en la estufa a 105°C durante toda la noche, se enfriaron en el desecador y se pesaron.

Por último se calcinaron las muestras en la mufla a 550°C durante 4 horas y se enfriaron los crisoles para que puedan ser reutilizados.

Todos los pesajes realizados durante el proceso de degradabilidad *in vitro* (preparación de las muestras, incubación y filtración) fueron registrados.

3.3.2 Fermentabilidad por producción de gas. Consistió en medir mediante la utilización de un émbolo la liberación cuantitativa de gas en distintos tiempos de incubación. De este modo, se genera para cada alimento una curva de producción de gas, que es reflejo de la desaparición de MS y que permite evaluar el efecto del procesamiento y la velocidad de fermentación y comparar los tres productos.

Los tiempos de incubación en este caso no fueron exactamente los mismos pero se empleó también un período máximo de 48 horas, dentro de los cuales hubo siete tiempos de incubación para cada maíz como lo muestran los cuadros 4, 5, 6 y 7:

Cuadro 4: Tiempos analizados para el tratamiento 1 (Pared celular de ballica) en la Digestibilidad por producción de gas.

TIEMPO		
Botella 1	Botella 2	Botella 3
1,91	1,91	1,92
3,91	3,91	3,91
5,59	5,59	5,61
7,91	7,91	7,92
15,92	15,94	15,94
23,94	23,97	23,97
47,91	47,91	47,92

Cuadro 5: Tiempos analizados para el tratamiento 2 (Pared celular de ballica + Maíz crudo) en la Digestibilidad por producción de gas.

TIEMPO				
Botella 4	Botella 5	Botella 6	Botella 7	Botella 8
1,92	1,94	1,94	1,96	1,96
3,92	3,92	3,94	3,94	3,96
5,61	5,62	5,62	5,62	5,64
7,92	7,94	7,94	7,96	7,96
15,94	15,96	15,96	15,97	15,97
23,99	23,99	24,01	24,02	24,02
47,92	47,94	47,94	47,96	47,96

Cuadro 6: Tiempos analizados para el tratamiento 3 (Pared celular de ballica + Maíz roleadado) en la Digestibilidad por producción de gas.

TIEMPO				
Botella 9	Botella 10	Botella 11	Botella 12	Botella 13
1,97	1,97	1,99	1,99	2,01
3,96	3,97	3,97	3,99	3,99
5,64	5,66	5,66	5,67	5,67
7,97	7,97	7,99	7,99	8,01
15,99	15,99	16,01	16,01	16,02
24,04	24,06	24,06	24,07	24,09
47,97	47,97	47,99	47,99	48,01

Cuadro 7: Tiempos analizados para el tratamiento 4 (Pared celular de ballica + Maíz extruído) en la Digestibilidad por producción de gas.

TIEMPO			
Botella 14	Botella 15	Botella 16	Botella 17
2,01	2,02	2,02	2,04
4,01	4,01	4,02	4,02
5,69	5,69	5,71	5,71
8,01	8,02	8,02	8,04
16,02	16,04	16,04	16,06
24,09	24,11	24,12	24,14
48,01	48,02	48,02	48,04

a) Preparación de las muestras: En el caso de la degradabilidad por producción de gas las muestras se incubaron en mezcla con pared celular de ballica purificada en relación 60:40 (300 mg maíz + 200 mg pared celular). Utilizándose como control, pared celular de ballica.

b) Repeticiones: Las repeticiones fueron distintas entre los tratamientos: para el caso de la pared celular de ballica sola se tuvieron 3 repeticiones por horario evaluado, en el caso de pared celular de ballica + maíz crudo y el de pared celular de ballica + maíz rolado se tuvieron cinco repeticiones por hora y por último en el caso de pared celular de ballica + maíz extruído de tuvieron 4 repeticiones por hora.

3.4 Diseño experimental y análisis estadístico:

Con el propósito de evaluar el efecto del tiempo de incubación y la influencia del tipo de procesamiento de los maíces sobre la degradación de la MS, en el caso de la degradabilidad *in vitro* se realizó un diseño estadístico de “bloques completos al azar generalizado” y con el fin de respaldar estos resultados, a estos mismos datos se les efectuó un segundo análisis que corresponde a un “Diseño completamente al azar con arreglo factorial de los tratamientos”, donde se identificaron los distintos tipos de maíz como los tratamientos y las horas de digestión como los bloques.

El modelo estadístico empleado para el diseño de bloques completos al azar generalizado es el siguiente:

$$Y_{ijk} = u + T_i + B_j + (TB)_{..i} + e_{ijk} \quad (1)$$

Donde:

Y_{ij} = Variable dependiente (degradabilidad).

U = Efecto de la media poblacional.

T_i = Efecto del i – ésimo tratamiento ($i = 1, 2, 3$).

B_J = Efecto del j – ésimo bloque ($j = 1, 2, 3, \dots, 8$).

$(TB)_{ij}$ = Efecto de la interacción de los tratamientos y los bloques.

e_{ijk} = Error experimental.

Como se mencionó anteriormente se realizó un segundo análisis con el fin de corroborar los resultados obtenidos. Este análisis corresponde al diseño “completamente al azar con arreglo factorial de los tratamientos” cuyo modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ij} = u + T_i + e_{ij} \quad (2)$$

Donde:

Y_{ij} = Variable dependiente (degradabilidad).

U = Efecto de la media poblacional.

T_i = Efecto del i – ésimo tratamiento ($i = 1, 2, 3$).

E_{ij} = Error experimental.

El efecto de tratamiento (T) corresponde a:

$$T_i = M_J + H_k + (MH)_{Jk}$$

Donde:

M_J = Efecto del j – ésimo tipo de maíz.

H_k = Efecto de la k – ésima hora de digestión.

$(MH)_{Jk}$ = Efecto de la interacción entre el j – ésimo tipo de maíz y la k – ésima hora de digestión.

En ambos diseños (bloques al azar generalizados y completamente al azar con arreglo factorial de los tratamientos) se realizó un análisis de varianza con un nivel de probabilidad del error del 5% y el 1% para determinar si existen diferencias significativas entre la degradabilidad de los distintos maíces. Estos cálculos se especifican en los anexos correspondientes.

Por último el modelo utilizado para los datos de degradabilidad por producción de gas corresponde a un “diseño completamente al azar con una covariable”:

$$Y_{ij} = u + T_i + B(x_i - \bar{x}) + e_{ij} \quad (3)$$

Donde:

u = Efecto de la media poblacional.

T_i = Efecto del i – ésimo tratamiento ($i = 1, 2, 3, 4$).

B = Efecto de una covariable (tiempo de digestión o incubación).

E_{ij} = Error experimenta.

En la digestibilidad por producción de gas se utilizó un modelo estadístico diferente ya que esta presenta diferente número de muestras por tratamiento y diferencia en los horarios utilizados para el análisis

Al haber efecto significativo entre los tratamientos, se emplea el Método de Tukey para comprobar entre que tratamientos hay diferencias.

3.5 Dinámica degradativa:

Una vez finalizados los análisis estadísticos correspondientes a cada tipo de maíz se determinó la dinámica degradativa a los resultados de la degradabilidad *in vitro* a través del modelo de Orskov y McDonald cuya ecuación corresponde a la siguiente:

$$Y = a + b(1 - e^{-ct})$$

Donde:

Y = Material degradado a un tiempo t .

a = Fracción soluble rápidamente degradable.

b = Fracción insoluble pero degradable.

$a + b$ = Potencial total de degradación.

c = Tasa fraccional de degradación de la fracción b

t = Tiempo de fermentación (h).

Para el cálculo de las constantes de esta ecuación se utilizó el Software GraphPad Prism.

4 PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el desarrollo del siguiente capítulo se entregan los resultados de la degradabilidad *in vitro* y degradabilidad por producción de gas, así como los valores de degradabilidad al aplicar el Modelo de Orskov y Mc Donald utilizando el programa de bioestadística Graphpad Prism.

4.1 Resultados:

4.1.1 Composición de los maíces analizados En el cuadro 8 se muestra la composición química de los maíces estudiados.

Cuadro 8: Composición química de los maíces analizados (BMS).

Tratamiento	Componentes					
	M.S ¹ (%)	C.T ² (%)	P.B ³ (%)	E.M ⁴ (Mcal/k)	F.D.N ⁵ (%)	F.D.A ⁶ (%)
Maíz normal (MN)	85,25	1,10	6,74	2,85	9,99	2,37
Maíz roloado (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

¹ Materia seca, ² cenizas totales, ³ proteína bruta, ⁴ energía metabolizable, ⁵ fibra de detergente neutro, ⁶ fibra de detergente ácido.

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 mayor en los granos procesados que en el grano de maíz normal.

El cuadro 8 confirma lo señalado por SOTO *et al.* (1981), que el grano de maíz en cualquiera de sus formas es un alimento que aporta principalmente energía a la dieta, teniendo un bajo tenor en fibra detergente ácido y un alto contenido de materia seca en relación a otros forrajes utilizados para alimentación animal.

El grado de procesamiento que presentan los maíces estudiados no influye mayormente en los valores del análisis químico de éstos, ya que el tratamiento del grano de maíz ayuda a aumentar la degradabilidad de éste y a aumentar la disponibilidad de los nutrientes que este grano presenta. Según ALOMAR *et al.* (2001), una forma de facilitar el acceso de los microorganismos al substrato energético es efectuar algún tratamiento de texturización.

4.1.2 Degradabilidad *in vitro*: A continuación se presentarán los resultados correspondientes a la degradabilidad *in vitro*.

4.1.2.1 Degradabilidad *in vitro* de la materia seca por tipo de maíz: En el cuadro 9 se presentan los valores de materia seca correspondientes a los 0,5 g de muestra utilizados por tipo de maíz.

Cuadro 9: Valores de materia seca de cada una de las muestras sometidas a incubación durante la degradabilidad *in vitro*.

	<i>Peso muestra (g)</i>	<i>%MS</i>	<i>MS muestra (g)</i>
Maíz crudo	0,5	85,25	0,42625
Maíz roleado	0,5	86,18	0,43090
Maíz extruído	0,5	86,23	0,43115

En el cuadro 10, se muestra el coeficiente de degradabilidad para cada uno de los maíces a través de los horarios de incubación evaluados. Este coeficiente se obtuvo dividiendo la materia seca residual de cada horario por la

materia seca inicial por tipo de maíz. Cálculos que se pueden observar en el anexo 3. Este coeficiente es el que se utilizará para realizar todos los cálculos.

Cuadro 10: Coeficientes de degradabilidad para maíz crudo molido, maíz roleado al vapor y maíz extruído.

Coeficiente de Degradabilidad								
Tratamientos	(bloques)							
	HORAS							
	1	2	3	6	12	24	36	48
Maíz Crudo	0,53877	0,65560	0,65138	0,76680	0,84211	0,94158	0,93361	0,94440
	0,54557	0,57443	0,59953	0,74592	0,93243	0,92282	0,94815	0,95988
	0,55331	0,62299	0,61666	0,77103	0,92798	0,94205	0,95073	0,95144
	0,52446	0,60188	0,57114	0,72246	0,83953	0,94534	0,95308	0,96645
	0,47496	0,56364	0,47894	0,68117	0,81701	0,94111	0,94111	0,94933
	0,55496	0,56481	0,56176	0,72411	0,78651	0,93619	0,95777	0,96317
Promedio	0,53200	0,59722	0,57990	0,73525	0,85760	0,93818	0,94741	0,95578
Maíz Roleado	0,57832	0,61894	0,62381	0,72151	0,87515	0,93247	0,92783	0,93316
	0,56718	0,59759	0,62242	0,70480	0,88698	0,91297	0,93316	0,94686
	0,56974	0,62938	0,65932	0,70411	0,88188	0,91483	0,92411	0,93850
	0,53307	0,59991	0,61174	0,66071	0,82966	0,91877	0,92063	0,94059
	0,51752	0,60246	0,60548	0,67904	0,79786	0,91367	0,93409	0,95683
	0,55094	0,60571	0,59503	0,61522	0,82850	0,91715	0,94036	0,95034
Promedio	0,55280	0,60900	0,61963	0,68090	0,85000	0,91831	0,93003	0,94438
Maíz Extruído	0,69338	0,75252	0,75716	0,82512	0,91279	0,88821	0,92068	0,95037
	0,69245	0,75252	0,77734	0,82697	0,90699	0,92671	0,91998	0,94457
	0,68340	0,76180	0,77479	0,84576	0,90885	0,92903	0,92972	0,94311
	0,65093	0,69686	0,72005	0,77943	0,85620	0,91163	0,91581	0,94387
	0,60246	0,71564	0,71796	0,74046	0,86432	0,90537	0,92276	0,94178
	0,61893	0,72492	0,71796	0,81654	0,85991	0,91836	0,92555	0,95779
Promedio	0,65693	0,73404	0,74421	0,80571	0,88484	0,91322	0,92242	0,94691

Degradabilidad *in vitro* realizada en el Laboratorio de nutrición, Instituto de Producción Animal, UACH.

4.1.2.2 Diseño de bloques completos al azar generalizados: Utilizando el diseño bloques completos al azar generalizado se obtuvieron los siguientes resultados para los datos de degradabilidad *in vitro* realizada a los tres tipos de maíz: crudo molido, roleado al vapor y extruído.

Para obtener los valores de F calculados, tabulados y el análisis de varianza que se muestra mas adelante se realizan cálculos que se indican en los anexos 4, 5 Y 6.

El cuadro 11 muestra los datos obtenidos del análisis estadístico donde se observa la diferencia entre los valores de F para el caso de tratamientos (maíces) y bloques (horas):

Cuadro 11: Análisis de varianza del diseño bloques completos al azar generalizados para la degradabilidad in vitro.

	GL	SC	CM	F	F (0,05)	F(0,01)
Bloques (horas)	7	2,80665	0,40095	471,23230	2,36	1,94
Tratamientos (maíces)	2	0,11772	0,05886	69,17754	3,34	2,5
Error experimental (interacción)	14	0,14873	0,01062	12,48602	2,04	1,74
Error Muestral	120	0,10210	0,00085			
Total	143	3,17520				

La hipótesis cero (H_0) señala que no existe diferencia significativa entre los datos o entre los distintos tipos de maíz y distintas horas. Según los resultados obtenidos esta hipótesis es rechazada ya que el valor de F calculado es mucho mayor al valor de F tabulado para el caso de los tratamientos (maíces) y los bloques (horas), lo que quiere decir que existe una diferencia significativa entre ellos (como lo muestra la tabla del 5% y del 1%).

Según los resultados obtenidos fue necesario realizar el test de significancia de Tukey para determinar la diferencia existente entre los tratamientos (maíces) y bloques (horas), cálculos que se pueden observar en los anexos 7, 8, 9, 10 y 11 encontrándose que existe una diferencia significativa con una probabilidad del error del 5% para los bloques (horas), como lo muestra el cuadro 12:

Cuadro 12: Resultados test de significancia de Tukey para los valores de degradabilidad in vitro.

horas	Maíces			Promedio
	MC	MR	ME	
1	0,53200	0,55280	0,65693	0,58035a
2	0,59722	0,60900	0,73404	0,64676b
3	0,57990	0,61963	0,74421	0,64792b
6	0,73525	0,68090	0,80571	0,74062c
12	0,85760	0,85000	0,88484	0,86415d
24	0,93818	0,91831	0,91322	0,92324e
36	0,94741	0,93003	0,92242	0,93329e
48	0,95578	0,94438	0,94691	0,94902e
Promedio	0,76792b	0,76313b	0,82604a	

Letras iguales significan igual comportamiento y letras distintas significan diferente comportamiento.

El Test de Tukey arrojó que las diferencias entre maíces fueron mayores en las primeras horas de incubación haciéndose mínimas hacia las últimas horas o bloques, observándose que a partir de la hora 24 los resultados fueron iguales para los diferentes bloques. En el caso de los tratamientos (maíces) existió una mayor degradabilidad en el maíz extruído en comparación al maíz crudo y maíz roleado que no se diferencian entre si (diferencias observables en el gráfico 1), todos estos resultados presentan una probabilidad del error del 5%.

Así lo confirman también ALOMAR y PULIDO (2001), en cuyo estudio se determinó que los valores obtenidos para la desaparición de la materia seca desde el rumen son mayores cuando el grano presenta algún tratamiento de texturización. En estos casos es mayor la degradabilidad ruminal a diferentes tiempos de evaluación a excepción del tiempo máximo, en que el maíz sin tratar exhibe mayor desaparición, cambio que según ALOMAR y PULIDO (2001), en tiempos mayores podría reflejar respuestas degradativas de alguna fracción

especifica asociada al tratamiento físico aplicado. Estas diferencias también se aprecian en el presente estudio.

BEAUCHEMIN et al (1994), señalan que en aquellas dietas de granos enteros que no han sido sometidos a daños físicos durante la rumia, su digestión se ve seriamente limitada. Así lo demuestra este estudio siendo la degradabilidad del grano de maíz crudo molido la que presenta los valores más bajos de degradabilidad.

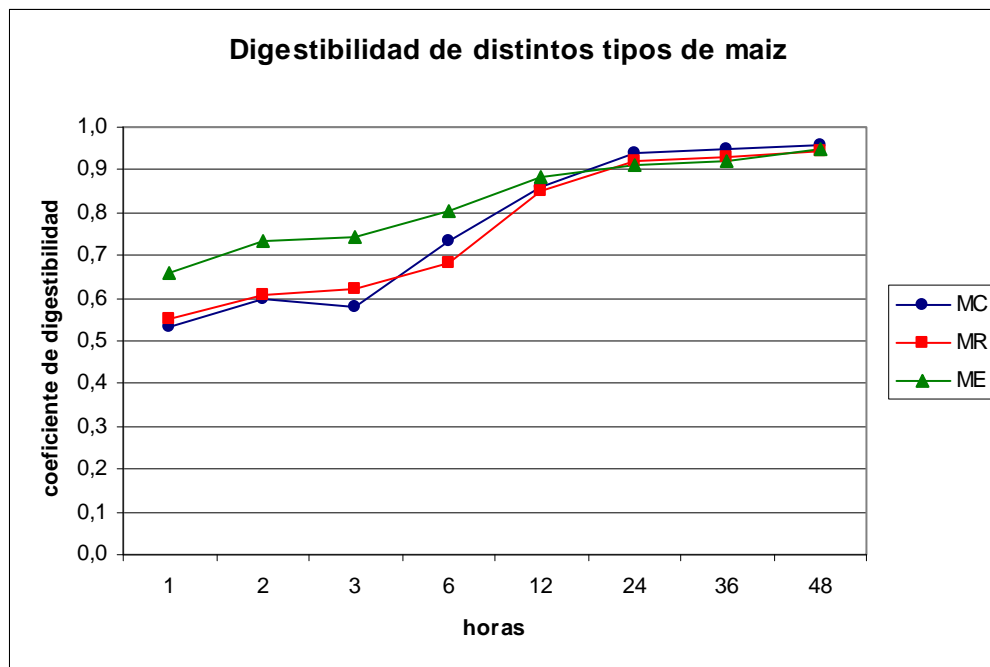


Gráfico 1: Promedios de coeficientes de degradabilidad para maíz crudo, maíz roleado y maíz extruído.

A través del gráfico puede explicar la interacción entre bloques y tratamientos. La Interacción es el resultado del comportamiento diferente que presentan los distintos maíces a través de las horas. Es así que el maíz extruído presentó en las primeras horas un mayor coeficiente de degradabilidad que los otros dos tipos de maíces los cuales no presentan una diferencia

significativa entre ambos. La diferencia entre maíces fue menor o se minimizó a partir de la hora doce de digestión haciéndose igual desde las 24 horas en adelante.

Es importante volver a señalar que los resultados obtenidos en el diseño de “Bloques completos al azar generalizados” fueron corroborados por un segundo análisis que se realizó el que corresponde al diseño “Completamente al azar con arreglos factorial de los tratamientos” cuyos cálculos y resultados se encuentran en los anexos 12 al 21.

4.1.2.3 Dinámica degradativa: Mediante la utilización del programa estadístico Graphpad Prism 4 se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 13: Constantes degradativas para el grano de maíz crudo molido, maíz roleado y maíz extruído (MS).

Tratamientos	Constantes degradativas				
	a	b	a+b	c	R2
Maíz molido	0,1989 +/- 0,007365	0,2095 +/- 0,007453	0,4084	0,1258 +/- 0,01292	0,9520
Maíz roleado	0,2179 +/- 0,004796	0,1898 +/- 0,004906	0,4077	0,1108 +/- 0,009176	0,9734
Maíz extruído	0,2721 +/- 0,006065	0,1291 +/- 0,006041	0,4012	0,1553 +/- 0,01890	0,9291

Se aprecia que el maíz roleado y el maíz extruído obtuvieron una mayor fracción soluble o rápidamente degradable (a) y una menor fracción lentamente degradable (b) en comparación al maíz crudo molido, siendo mas claras las diferencias respecto del maíz extruído.

En el caso del maíz extruído la tasa de degradación de la materia seca (c) fue mayor en comparación a la obtenida con maíz crudo y rolado.

Para el caso de la degradabilidad potencial (a + b) esta fue relativamente similar para todos los tratamientos, ya que, como se observa en el cuadro 13

para el caso de los dos granos de maíz procesados térmicamente, aumentó la fracción soluble y disminuyó la fracción insoluble. También se aprecia que la tasa de degradación de la fracción b en el caso del maíz extruído fue superior.

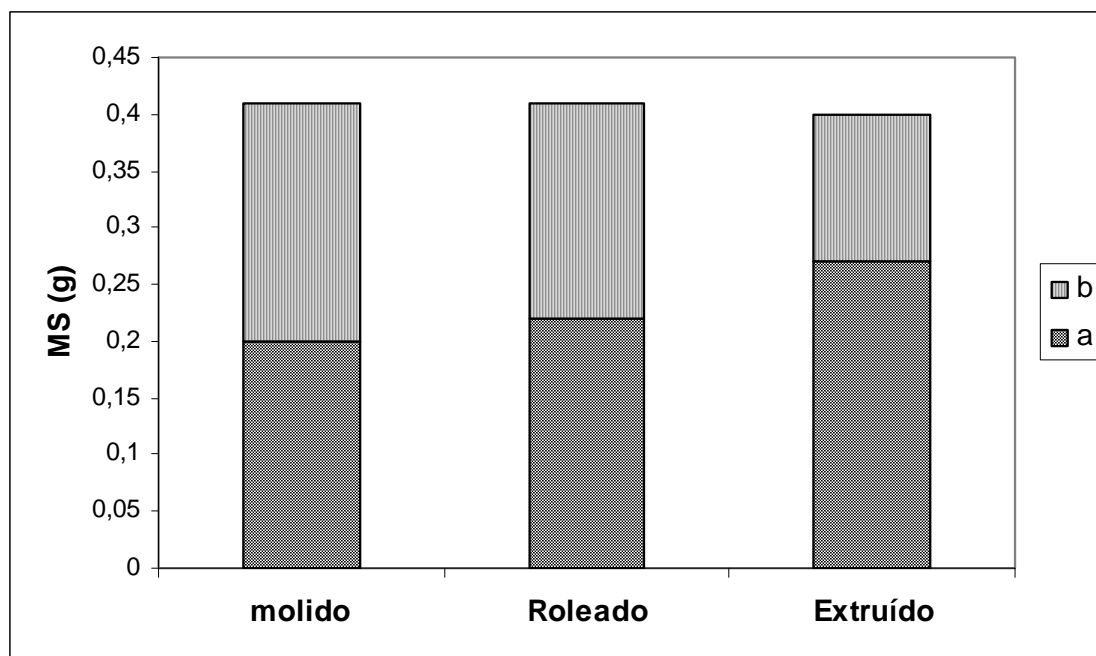


GRÁFICO 2: Proporciones relativas de las fracciones degradadas (a y b) de los maíces evaluados.

En el gráfico 2 se aprecia de mejor manera el aumento existente en la fracción soluble o rápidamente fermentable (a) al procesar los maíces, asociado a su vez con una disminución de la fracción lentamente degradable (b).

La fracción soluble "a" para maíz normal molido y rolado 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.

Las curvas de degradación correspondientes al modelo exponencial de Orskov y Mc Donald (1979) se muestran a continuación en el gráfico 3.

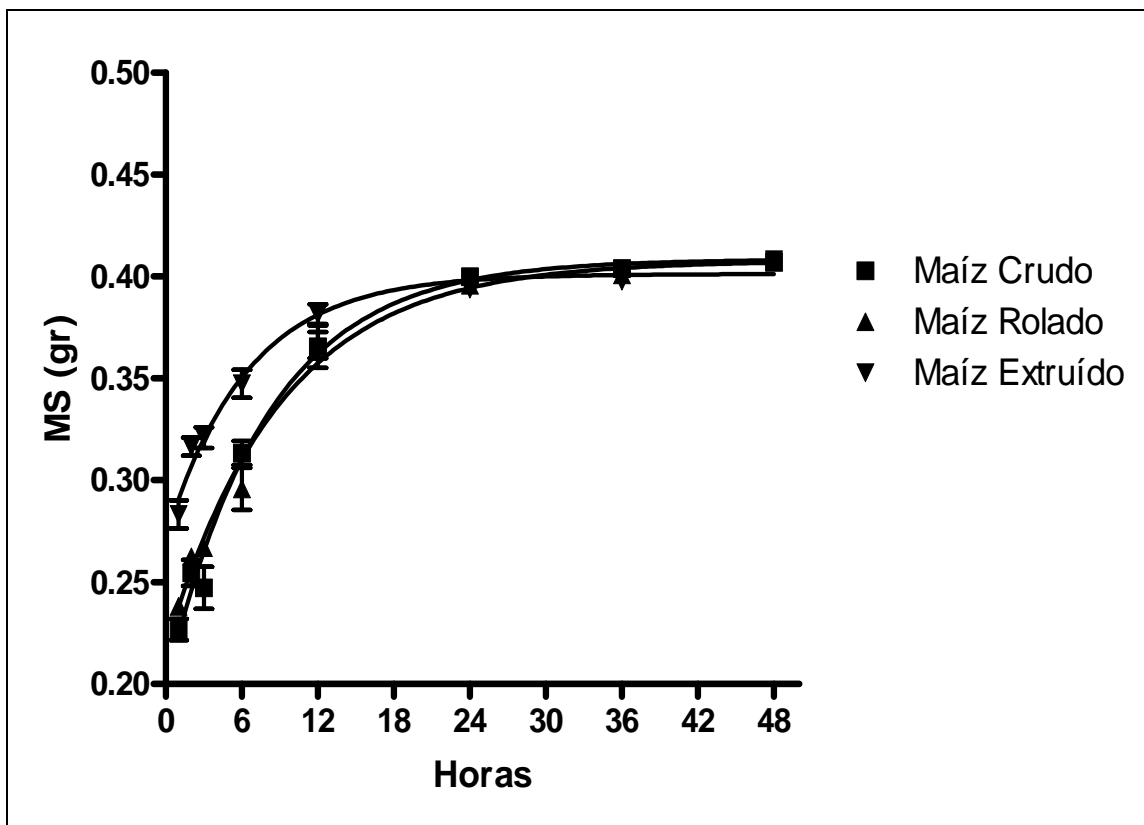


GRÁFICO 3. Curva de degradabilidad de maíces sometidos a procesamiento según Modelo de Orskov y Mc Donald.

Como se observa en el gráfico 3 el maíz extruído presenta una mayor degradabilidad durante las primeras horas en comparación a los otros maíces, haciéndose esta diferencia cada vez mas estrecha y a contar de la hora 24 casi no hay diferencias entre los tres tipos de maíz (crudo, rolado y extruído).

4.1.3 Degradabilidad por producción de gas: A continuación se presentan los resultados de los análisis realizados a la degradabilidad por producción de gas.

4.1.3.1 Diseño de covarianza completamente al azar: Para el caso de la degradabilidad por producción de gas se utilizó otro tipo de modelo estadístico ya que en este tipo de degradabilidad se tienen distintos horarios de medición y distintos volúmenes de gas acumulados, por lo cual se utilizaron horarios similares a los evaluados en la degradabilidad *in vitro*. Todos los datos de la degradabilidad por producción de gas se encuentran en los anexos 22 al 25 y los valores utilizados para el análisis estadístico se encuentran en los anexos 26 al 29.

Cuadro 14: Análisis de covarianza del modelo estadístico utilizado para los datos de degradabilidad por producción de gas.

F de Variac	GL	SC XX	SC XY	SC YY	Y ajustado por X				F Tab
					GL	SC	CM	F	
									0,05
Total	118	27154,73	176917,56	1734790,5					
Tratamientos	3	0,20	93,12	50257,16					
Error	115	27154,53	176824,43	1684533,30	114	533090,88	4676,24		
Trat + Error	118	27154,73	176917,56	1734790,46	117	582143,22			
Trat Ajust					3	49052,33	16350,78	3,50	2,68

Según este análisis de covarianza cuyos cálculos y resultados se encuentran en los anexos 30 al 35, se rechaza la hipótesis nula al 5% ya que existe una diferencia significativa entre el valor de F calculado y el valor de F tabulado de los tratamientos.

En cambio la hipótesis nula es aceptada al 1% ya que los valores obtenidos para el F calculado es menor al de F tabulado, significando esto que con un 1% de error no existirían diferencias entre los tres tipos de maíz evaluados por degradabilidad por producción de gas.

Para determinar entre qué tratamientos existe diferencia se presenta a continuación el análisis de Tukey, para el cual se obtuvieron los valores de y

(gas acumulado) ajustados a x (tiempo) cálculos que se pueden apreciar en los anexos 36 al 39.

Cuadro 15: Análisis de tukey realizados a los valores de degradabilidad por producción de gas (Volumen acumulado/ gr).

Tratamientos	Promedios de y ajustados a x
Pared celular de ballica	150,51a
Pared celular de ballica + maíz crudo	184,20a
Pared celular de ballica + maíz roleado	201,20a
Pared celular de ballica + maíz extruído	210,68 b

Letras iguales significan igual comportamiento y letras distintas significan diferente comportamiento $P \leq 0,05$.

El análisis demuestra (anexo 40) que existe diferencia significativa al 5% entre el maíz extruído y los demás maíces en estudio (crudo y rolado). De esta manera se confirma que la degradabilidad del maíz es mayor mientras mayor sea su grado de procesamiento.

Claramente los maíz extruído tuvo una degradabilidad superior al maíz normal molido y al maíz rolado durante las 12 primeras horas de fermentación, demostrando con ello la existencia de componentes de alta digestibilidad producto del procesamiento de este, como se aprecia en el grafico 3.

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 degradabilidad del almidón, es por este motivo que es de mucha ayuda a la degradabilidad del grano de maíz realizar algún

tipo de procesamiento de éste para que así se tenga acceso a todo el almidón presente en este recurso.

Dando una explicación más exhaustiva de los beneficios que tiene una mayor degradabilidad del grano de maíz en el rumen: De acuerdo a CHEN y COL., 1994, citado por LAVERGNE., (1999) la mayor digestión del almidón a nivel ruminal, incrementaría la concentración de ácidos grasos volátiles en el rumen en especial de ácido propionico, lo cual ahorra aminoácidos al proceso de neoglucogénesis derivándolos hacia la síntesis de proteína láctea. Esto se produciría, por una rápida disponibilidad del almidón proveniente de los granos de cereal tratados con vapor, calor y presión, aumentando la formación de proteína bacteriana debido a una mejor sincronización del aporte de energía y proteína a nivel ruminal (BARGÓ y COL., 1998, citado por LAVERGNE., 1999).

5 CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos realizando la degradabilidad *in vitro* y la degradabilidad por producción de gas a los tres tipos de maíz (maíz molido, maíz roleado, maíz extruído) se concluye lo siguiente:

- Se confirma lo planteado en la hipótesis inicial del estudio ya que los maíces presentan diferencias en su fermentabilidad dependiendo de su grado de procesamiento.
- La degradabilidad *in vitro* determinó que la fermentabilidad del maíz extruído fué significativamente mayor ($P \leq 5\%$) en comparación a la fermentabilidad del maíz molido y maíz roleado, siendo esta mas notoria en las primeras horas de evaluación.
- La degradabilidad por producción de gas también determinó que existe una diferencia significativa en la fermentabilidad del maíz extruído ($P \leq 5\%$) en comparación al maíz molido y al maíz roleado.
- La dinámica degradativa fue mayor para el caso del maíz extruído, con una mayor fracción soluble y menor proporción de fracción insoluble, presentando asimismo una mayor tasa de degradación de la fracción insoluble.

6 RESUMEN

Con la finalidad de determinar el efecto del grado de procesamiento de los granos de maíz en su degradabilidad a nivel ruminal se analizaron tres tipos de maíz con diferente procesamiento: Maíz crudo molido (MC), Maíz roleado (MR) y Maíz extruído (ME), los que fueron sometidos a una degradabilidad por método *in vitro* y por producción de gas.

Los resultados indicaron que para ambas técnicas existe una diferencia significativa en la degradabilidad del maíz extruído ($P \leq 5\%$) en comparación a los otros dos tipos de maíces evaluados (MC, MR).

Estas diferencias entre maíces son mayores en las primeras horas de digestión ruminal, haciéndose mínimas a partir de la hora 24. resultados que son confirmados para el caso de la degradabilidad *in vitro* con el uso del programa Graphpad Prism 4, el cual señala que existe una diferencia significativa entre el maíz extruído en comparación al maíz crudo molido y al maíz roleado.

Este programa también entrega las diferencias existentes entre las constantes degradativas de cada uno de los maíces analizados. En el caso del maíz extruído existe una mayor proporción de la constante "a" que corresponde a la fracción soluble del grano siendo también para el maíz extruído menor la proporción de la fracción "b" la que corresponde a la fracción insoluble del grano. En relación a la tasa de degradación (c) de la fracción b esta también es mayor para el caso del maíz extruído.

Por lo tanto, se concluye que existe una mayor degradabilidad del grano de maíz a nivel ruminal mientras mayor sea el grado de procesamiento de este. De esta manera se permitiría aumentar la entrega de energía de este recurso a nivel del rumen.

7 SUMMARY

With the purpose of determining the effect that the degree of processing of the grains of maize has in the degradability to ruminal level of themselves, in the following study 3 types of maize were analyzed by different processing: Raw ground maize, Rolling maize and extruded maize, which were submitted to an in vitro degradability whose evaluated hours correspond to: 1, 2, 3, 6, 12, 24, 36 and 48 with 6 repetitions for schedule and for type of maize. In addition, they also were submitted to degradability by gas production which was done in the Pontificia Universidad Católica de Chile which takes different number of repetitions for the maize.

To determine the differences between hours and types of maize, an analysis of complete blocks at random was done for the case of the in vitro degradability added to the use of the biostatistical program Graphpad prism 4 and for the case of degradability by gas production an analysis covariable completely at random was done.

The results showed that for both a significant difference exists in the degradability of the extruded maize ($P \leq 5\%$) in comparison to the other two types of maize evaluated.

These differences among maizes are major in the first hours of ruminal digestion being similar from the hour 24, results that are confirmed for the case of the in vitro degradability by the use of the program Graphpad Prism 4, which indicates that a significant difference among the extruded maize exists in comparison to the raw ground maize and the rolling maize.

This program also shows the differences among the constants degradability of each of the analyzed maize. In the case of the extruded maize, a major proportion of the constant "a" exists that correspond to the soluble fraction of the grain, also being for the extruded maize minor the proportion of the fraction "b" which correspond to the insoluble fraction of the grain. In relation to the rate of degradation (c) of the fraction b this one is also bigger for the case of the extruded maize.

Therefore, it is concluded that a major degradability of the grain of maize exists to ruminal level when the degree of processing of this one is bigger. In this way, it would be allowed to increase the delivery of energy of this resource to the level of rumen.

8 BIBLIOGRAFÍA

ALDRICH, S. y LENG, E. 1974. Producción Moderada del Hemisferio Sur. S.R.L., Buenos Aires, Argentina. 308p.

ALOMAR, D. y PULIDO, jul. 2001, Efecto del hojuelado al vapor sobre la degradabilidad ruminal del grano de maíz. *Agro sur*. (online), Vol. 29, No. 2 [citado 14 Dezembro 2005], pp. 164-169. http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-88022001000200009&lng=pt&nrm=iso. ISSN 0304-8802.

BATEMAN, J. 1970. Nutrición Animal, manual de métodos analíticos. Herrero hermanos, Ciudad de México, México. 468p.

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.

CERDA, D., MANTEROLA, H. y SIRHAM, L., 1986. Validación y Estudios comparativos de los métodos estimadores de la degradabilidad aparente de alimentos para rumiantes. *Avances en Producción Animal*. N° 11 (1 – 2); 53 – 62p.

CERDA, D., MANTEROLA, H., SIRHAM, L. y ILLANES, R. 1987. Estudios de factores que afectan los métodos de degradabilidad *in vitro* e *in situ*.

- COWELL, C., STOUT, N., BRINKMANN, M., MOSER, E. y CRANE, S. 2000. Preparación commercial de alimentos para mascotas.
- GARRIDO, O. y MARIN, E., 1981. Composición química, degradabilidad y valor energético de una pradera permanente de pastoreo a través del año. Tesis Lic. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultas de Ciencias Agrarias. 59p.
- KLEIN, F. 1989. Alternativas de alimentación para enfrentar el periodo estival en un sistema productivo de leche. 61 – 97. In: Bartolameolli G. (Ed.). Seminario Aspectos Técnicos y Perspectivas de la Producción de Leche. INIA, Estación Experimental Remehue, Osorno, Chile. 243p.
- MACCIO, G. 1985. Productividad del maíz para ensilaje en base a sistemas de labranza, densidades de plantas y distanciamiento entre hileras. Tesis Licenciado Ingeniería Agronómica Pontifica Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía, Santiago, Chile. 98p.
- Mc DONALD, P., EDWARD, R. y GREENHALGH, J. 1979. Nutrición Animal. Acribia, Zaragoza, España. 462p.
- ØRSKOV, E.R. 1990. Alimentación de los rumiantes. Principios y práctica. Editorial Acribia S.A. Zaragoza. España. 119p.
- PEDRAZA, C., FOLCH, M., FAJARDO, P., MORALES, S., EGAÑA, J. Marzo-Abril 2002. Uso de cereales Roleados en la Alimentación de Vacas lecheras. Revista Tattersall. (online), Ed. 174. < <http://www.tattersall.cl/revista/REV174/gerac.htm> >.

- ROMENY, C. 2001. Comparación de la degradabilidad de avena entera y roleada al vapor en yeguas. Tesis Lic. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de ciencias Agrarias. 39p.
- RUIZ, M. 2005 Comparación de la Degradabilidad de Varios Forrajes Utilizando dos Técnicas: In vivo (Ruminal In Situ) e In Vitro Utilizando el Equipo Daysi-
II.http://www.agro.unalmed.edu.co/agrodocs/index.php?link=ver_docs&iid=236#.
- SOTO, H., FÔLICH, W., WITTKE, E. y KUNSTMANN, E. 1981. Producción de maíz para forraje. Agroindustrial COVAL S.A., Valdivia, Chile. 36p.
- THEODOROU, M. K., 1993. A new laboratory procedure for determining the fermentation kinetics of ruminant feeds. AFRC Institute of Grassland and Environmental Research, Plas Gogerddan, Aberystwyth, Reino Unido. 332 – 345p.
- THEURER, C. B., HUBER, J. T., DELGADO-ELORDUY, A. y WANDERLEY, R. 1999. Summary of Steam- Flaking Corn or Sorghum Grain for Lactating Dairy Cows. Dairy Science 82. 1950- 1959p.
- VYHMEISTER, B. 2005. Evaluación de la degradabilidad *In Vivo* del Grano de Maíz Extruído, Rolado y Molido en Bovinos. Tesis Lic. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 74p.
- WILLIAMS, B. A. 2000. Cumulative Gas- production Techniques for Forage Evaluation. Wageningen Institute of Animal Sciences (WIAS). Wageningen University. 189 - 209p.

9 ANEXOS

ANEXO 1

Primer ensayo de degradabilidad en maíces

N° de crisol	Tipo de Maiz	Peso de la Muestra (g)	% Materia Seca	Materia seca (muestra)	Hora Filtración	Peso del Crisol	Peso del Crisol + Residuo	Peso del Residuo (MS)	Materia Seca Digerida
1	Maiz	0,5	85,25	0,42625	1 Hora	52,7599	52,9565	0,1966	0,22965
2	Maiz	0,5	85,25	0,42625	1 Hora	51,0127	51,2064	0,1937	0,23255
3	Maiz	0,5	85,25	0,42625	1 Hora	51,9069	52,0973	0,1904	0,23585
PROMEDIO									0,23268
4	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	1 Hora	49,9425	50,1242	0,1817	0,24920
5	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	1 Hora	52,0496	52,2361	0,1865	0,24440
6	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	1 Hora	50,9919	51,1773	0,1854	0,24550
PROMEDIO									0,24637
7	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	1 Hora	52,3774	52,5096	0,1322	0,29895
8	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	1 Hora	50,8159	50,9485	0,1326	0,29855
9	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	1 Hora	50,9189	51,0554	0,1365	0,29465
PROMEDIO									0,29738
10	Maiz	0,5	85,25	0,42625	2 Horas	51,1009	51,2477	0,1468	0,27945
11	Maiz	0,5	85,25	0,42625	2 Horas	51,8626	52,0440	0,1814	0,24485
12	Maiz	0,5	85,25	0,42625	2 Horas	51,4096	51,5703	0,1607	0,26555
PROMEDIO									0,26328
13	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	2 Horas	51,2433	51,4075	0,1642	0,2667
14	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	2 Horas	50,5819	50,7553	0,1734	0,2575
15	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	2 Horas	51,8467	52,0064	0,1597	0,2712
PROMEDIO									0,26513
16	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	2 Horas	50,5605	50,6672	0,1067	0,32445
17	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	2 Horas	50,6556	50,7623	0,1067	0,32445
18	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	2 Horas	51,0269	51,1296	0,1027	0,32845

Continuación tabla anterior:

PROMEDIO									0,32578
19	Maiz	0,5	85,25	0,42625	3 Horas	51,1682	51,3168	0,1486	0,27765
20	Maiz	0,5	85,25	0,42625	3 Horas	51,6971	51,8678	0,1707	0,25555
21	Maiz	0,5	85,25	0,42625	3 Horas	52,8448	53,0082	0,1634	0,26285
PROMEDIO									0,26535
22	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	3 Horas	50,8287	50,9908	0,1621	0,2688
23	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	3 Horas	50,8772	51,0399	0,1627	0,2682
24	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	3 Horas	51,1339	51,2807	0,1468	0,2841
PROMEDIO									0,2737
25	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	3 Horas	51,5880	51,6927	0,1047	0,32645
26	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	3 Horas	51,0727	51,1687	0,096	0,33515
27	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	3 Horas	50,2406	50,3377	0,0971	0,33405
PROMEDIO									0,33188
28	Maiz	0,5	85,25	0,42625	6 Horas	50,5625	50,6619	0,0994	0,32685
29	Maiz	0,5	85,25	0,42625	6 Horas	52,1221	52,2304	0,1083	0,31795
30	Maiz	0,5	85,25	0,42625	6 Horas	52,1871	52,2847	0,0976	0,32865
PROMEDIO									0,32448
31	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	6 Horas	50,6992	50,8192	0,12	0,3109
32	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	6 Horas	50,7585	50,8857	0,1272	0,3037
33	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	6 Horas	51,3015	51,4290	0,1275	0,3034
PROMEDIO									0,30600
34	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	6 Horas	50,5343	50,6097	0,0754	0,35575
35	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	6 Horas	50,1849	50,2595	0,0746	0,35655
36	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	6 Horas	48,9253	48,9918	0,0665	0,36465
PROMEDIO									0,35898
37	Maiz	0,5	85,25	0,42625	12 Horas	44,7151	44,7824	0,0673	0,35895
38	Maiz	0,5	85,25	0,42625	12 Horas	43,2351	43,2639	0,0288	0,39745
39	Maiz	0,5	85,25	0,42625	12 Horas	48,1811	48,2118	0,0307	0,39555

Continuación tabla anterior:

PROMEDIO									0,38398
40	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	12 Horas	41,2147	41,2685	0,0538	0,3771
41	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	12 Horas	47,5687	47,6174	0,0487	0,3822
42	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	12 Horas	48,8840	48,9349	0,0509	0,3800
PROMEDIO									0,3798
43	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	12 Horas	51,8420	51,8796	0,0376	0,39355
44	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	12 Horas	50,2833	50,3234	0,0401	0,39105
45	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	12 Horas	48,6151	48,6544	0,0393	0,39185
PROMEDIO									0,39215
46	Maiz	0,5	85,25	0,42625	24 Horas	48,7217	48,7466	0,0249	0,40135
47	Maiz	0,5	85,25	0,42625	24 Horas	42,0966	42,1295	0,0329	0,39335
48	Maiz	0,5	85,25	0,42625	24 Horas	48,3800	48,4047	0,0247	0,40155
PROMEDIO									0,39875
49	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	24 Horas	47,6680	47,6971	0,0291	0,4018
50	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	24 Horas	41,7378	41,7753	0,0375	0,3934
51	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	24 Horas	42,8745	42,9112	0,0367	0,3942
PROMEDIO									0,39647
52	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	24 Horas	42,7789	42,8271	0,0482	0,38295
53	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	24 Horas	40,3428	40,3844	0,0416	0,38955
54	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	24 Horas	40,4821	40,5127	0,0306	0,40055
PROMEDIO									0,39102
55	Maiz	0,5	85,25	0,42625	36 Horas	51,5856	51,6139	0,0283	0,39795
56	Maiz	0,5	85,25	0,42625	36 Horas	52,1839	52,2060	0,0221	0,40415
57	Maiz	0,5	85,25	0,42625	36 Horas	50,5586	50,5796	0,021	0,40525
PROMEDIO									0,40245
58	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	36 Horas	52,832	52,8631	0,0311	0,3998
59	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	36 Horas	50,6543	50,6831	0,0288	0,4021
60	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	36 Horas	51,0897	51,1224	0,0327	0,3982

Continuación tabla anterior:

PROMEDIO									0,40003
61	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	36 Horas	50,8143	50,8485	0,0342	0,39695
62	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	36 Horas	50,7497	50,7842	0,0345	0,39665
63	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	36 Horas	52,0468	52,0771	0,0303	0,40085
PROMEDIO									0,39815
64	Maiz	0,5	85,25	0,42625	48 Horas	52,7564	52,7801	0,0237	0,40255
65	Maiz	0,5	85,25	0,42625	48 Horas	52,1183	52,1354	0,0171	0,40915
66	Maiz	0,5	85,25	0,42625	48 Horas	52,3766	52,3973	0,0207	0,40555
PROMEDIO									0,40575
67	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	48 Horas	51,2994	51,3282	0,0288	0,4021
68	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	48 Horas	51,6887	51,7116	0,0229	0,408
69	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	48 Horas	51,1597	51,1862	0,0265	0,4044
PROMEDIO									0,40483
70	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	48 Horas	50,2347	50,2561	0,0214	0,40975
71	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	48 Horas	51,2339	51,2622	0,0283	0,40285
72	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	48 Horas	51,0260	51,0499	0,0239	0,40725
PROMEDIO									0,40662

ANEXO 2

Segundo ensayo de degradabilidad en maíces

N° de crisol	Tipo de Maiz	Peso de la Muestra (g)	% Materia Seca	Materia Seca (muestra)	Hora Filtración	Peso del Crisol	Peso del Crisol + Residuo	Peso del Residuo (MS)	Materia Seca Digerida
1	Maiz	0,5	85,25	0,42625	1 Hora	52,0352	52,2379	0,2027	0,22355
2	Maiz	0,5	85,25	0,42625	1 Hora	51,5496	51,7734	0,2238	0,20245
3	Maiz	0,5	85,25	0,42625	1 Hora	51,1560	51,3457	0,1897	0,23655
PROMEDIO									0,22085
4	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	1 Hora	50,8591	51,0603	0,2012	0,2297
5	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	1 Hora	51,5828	51,7907	0,2079	0,223
6	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	1 Hora	52,7545	52,9480	0,1935	0,2374
PROMEDIO									0,23003
7	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	1 Hora	51,2943	51,4448	0,1505	0,28065
8	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	1 Hora	50,5457	50,7171	0,1714	0,25975
9	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	1 Hora	51,685	51,8493	0,1643	0,26685
PROMEDIO									0,26908
10	Maiz	0,5	85,25	0,42625	2 Horas	51,8972	52,0669	0,1697	0,25655
11	Maiz	0,5	85,25	0,42625	2 Horas	50,6889	50,8749	0,186	0,24025
12	Maiz	0,5	85,25	0,42625	2 Horas	50,7461	50,9316	0,1855	0,24075
PROMEDIO									0,24585
13	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	2 Horas	50,9132	51,0856	0,1724	0,2585
14	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	2 Horas	52,118	52,2893	0,1713	0,2596
15	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	2 Horas	52,3735	52,5434	0,1699	0,261
PROMEDIO									0,2597
16	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	2 Horas	51,0857	51,2164	0,1307	0,30045
17	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	2 Horas	50,8095	50,9321	0,1226	0,30855
18	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	2 Horas	50,9881	51,1067	0,1186	0,31255
PROMEDIO									0,30718

Continuación tabla anterior:

19	Maiz	0,5	85,25	0,42625	3 Horas	50,5703	50,7531	0,1828	0,24345
20	Maiz	0,5	85,25	0,42625	3 Horas	50,5306	50,7527	0,2221	0,20415
21	Maiz	0,5	85,25	0,42625	3 Horas	51,0064	51,1932	0,1868	0,23945
PROMEDIO									0,22902
22	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	3 Horas	51,0687	51,236	0,1673	0,2636
23	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	3 Horas	49,9361	50,1061	0,17	0,2609
24	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	3 Horas	51,1244	51,2989	0,1745	0,2564
PROMEDIO									0,2603
25	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	3 Horas	52,1833	52,3040	0,1207	0,31045
26	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	3 Horas	51,8558	51,9774	0,1216	0,30955
27	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	3 Horas	50,8144	50,9360	0,1216	0,30955
PROMEDIO									0,30985
28	Maiz	0,5	85,25	0,42625	6 Horas	51,2292	51,3475	0,1183	0,30795
29	Maiz	0,5	85,25	0,42625	6 Horas	51,4027	51,5386	0,1359	0,29035
30	Maiz	0,5	85,25	0,42625	6 Horas	51,8392	51,9568	0,1176	0,30865
PROMEDIO									0,30232
31	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	6 Horas	52,828	52,9742	0,1462	0,2847
32	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	6 Horas	51,0224	51,1607	0,1383	0,2926
33	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	6 Horas	50,2296	50,3954	0,1658	0,2651
PROMEDIO									0,2808
34	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	6 Horas	50,6423	50,7374	0,0951	0,33605
35	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	6 Horas	50,5550	50,6669	0,1119	0,31925
36	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	6 Horas	49,7297	49,8088	0,0791	0,35205
PROMEDIO									0,33578

Continuación tabla anterior:

37	Maiz	0,5	85,25	0,42625	12 Horas	50,2817	50,3501	0,0684	0,35785
38	Maiz	0,5	85,25	0,42625	12 Horas	48,9170	48,9950	0,078	0,34825
39	Maiz	0,5	85,25	0,42625	12 Horas	48,3727	48,4637	0,091	0,33525
PROMEDIO									0,34712
40	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	12 Horas	42,3725	42,4459	0,0734	0,3575
41	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	12 Horas	50,9067	50,9938	0,0871	0,3438
42	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	12 Horas	48,8840	48,9579	0,0739	0,357
PROMEDIO									0,35277
43	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	12 Horas	51,8403	51,9023	0,062	0,36915
44	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	12 Horas	48,6153	48,6738	0,0585	0,37265
45	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	12 Horas	48,1806	48,2410	0,0604	0,37075
PROMEDIO									0,37085
46	Maiz	0,5	85,25	0,42625	24 Horas	44,0482	44,0715	0,0233	0,40295
47	Maiz	0,5	85,25	0,42625	24 Horas	42,4121	42,4372	0,0251	0,40115
48	Maiz	0,5	85,25	0,42625	24 Horas	42,0935	42,1207	0,0272	0,39905
PROMEDIO									0,40105
49	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	24 Horas	42,7749	42,8099	0,035	0,3959
50	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	24 Horas	44,7134	44,7506	0,0372	0,3937
51	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	24 Horas	43,2207	43,2564	0,0357	0,3952
PROMEDIO									0,39493
52	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	24 Horas	40,6788	40,7169	0,0381	0,39305
53	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	24 Horas	41,7334	41,7742	0,0408	0,39035
54	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	24 Horas	42,0826	42,1178	0,0352	0,39595
PROMEDIO									0,39312

Continuación tabla anterior:

55	Maiz	0,5	85,25	0,42625	36 Horas	49,9292	49,9492	0,02	0,40625
56	Maiz	0,5	85,25	0,42625	36 Horas	51,0049	51,0300	0,0251	0,40115
57	Maiz	0,5	85,25	0,42625	36 Horas	51,1242	51,1422	0,018	0,40825
PROMEDIO									0,40522
58	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	36 Horas	51,2962	51,3304	0,0342	0,3967
59	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	36 Horas	51,8943	51,9227	0,0284	0,4025
60	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	36 Horas	52,0366	52,0623	0,0257	0,4052
PROMEDIO									0,40147
61	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	36 Horas	51,8550	51,8913	0,0363	0,39485
62	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	36 Horas	51,5856	51,6189	0,0333	0,39785
63	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	36 Horas	50,9054	50,9375	0,0321	0,39905
PROMEDIO									0,39725
64	Maiz	0,5	85,25	0,42625	48 Horas	52,1838	52,1981	0,0143	0,41195
65	Maiz	0,5	85,25	0,42625	48 Horas	51,5470	51,5686	0,0216	0,40465
66	Maiz	0,5	85,25	0,42625	48 Horas	50,8605	50,8762	0,0157	0,41055
PROMEDIO									0,40905
67	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	48 Horas	52,7578	52,7834	0,0256	0,4053
68	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	48 Horas	50,6830	50,7016	0,0186	0,4123
69	Maiz Roleado	0,5	86,18	0,4309	48 Horas	51,2287	51,2501	0,0214	0,4095
PROMEDIO									0,40903
70	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	48 Horas	51,0711	51,0953	0,0242	0,40695
71	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	48 Horas	50,8149	50,8400	0,0251	0,40605
72	Maiz Extruido	0,5	86,23	0,43115	48 Horas	51,1575	51,1757	0,0182	0,41295
PROMEDIO									0,40865

ANEXO 3

Cálculo del coeficiente de degradabilidad

MS inicial - MS residual= MS digerida

Degradabilidad = MS digerida-MS inicial

Tratamientos	(bloques)							
	HORAS							
	1	2	3	6	12	24	36	48
Maíz Crudo	0,53877	0,65560	0,65138	0,76680	0,84211	0,94158	0,93361	0,94440
	0,54557	0,57443	0,59953	0,74592	0,93243	0,92282	0,94815	0,95988
	0,55331	0,62299	0,61666	0,77103	0,92798	0,94205	0,95073	0,95144
	0,52446	0,60188	0,57114	0,72246	0,83953	0,94534	0,95308	0,96645
	0,47496	0,56364	0,47894	0,68117	0,81701	0,94111	0,94111	0,94933
	0,55496	0,56481	0,56176	0,72411	0,78651	0,93619	0,95777	0,96317
Promedio	0,53200	0,59722	0,57990	0,73525	0,85760	0,93818	0,94741	0,95578
Maíz Roleado	0,57832	0,61894	0,62381	0,72151	0,87515	0,93247	0,92783	0,93316
	0,56718	0,59759	0,62242	0,70480	0,88698	0,91297	0,93316	0,94686
	0,56974	0,62938	0,65932	0,70411	0,88188	0,91483	0,92411	0,93850
	0,53307	0,59991	0,61174	0,66071	0,82966	0,91877	0,92063	0,94059
	0,51752	0,60246	0,60548	0,67904	0,79786	0,91367	0,93409	0,95683
	0,55094	0,60571	0,59503	0,61522	0,82850	0,91715	0,94036	0,95034
Promedio	0,55280	0,60900	0,61963	0,68090	0,85000	0,91831	0,93003	0,94438

Continuación tabla anterior:

Maíz Extruído	0,69338	0,75252	0,75716	0,82512	0,91279	0,88821	0,92068	0,95037
	0,69245	0,75252	0,77734	0,82697	0,90699	0,92671	0,91998	0,94457
	0,68340	0,76180	0,77479	0,84576	0,90885	0,92903	0,92972	0,94311
	0,65093	0,69686	0,72005	0,77943	0,85620	0,91163	0,91581	0,94387
	0,60246	0,71564	0,71796	0,74046	0,86432	0,90537	0,92276	0,94178
	0,61893	0,72492	0,71796	0,81654	0,85991	0,91836	0,92555	0,95779
Promedio	0,65693	0,73404	0,74421	0,80571	0,88484	0,91322	0,92242	0,94691

ANEXO 4

Sumatoria de horas (bloques) y maíces (tratamientos) para el análisis de bloques completos al azar generalizados.

Tratamientos	(bloques)								
	HORAS								
	1	2	3	6	12	24	36	48	Sumatoria
Maíz Crudo	0,53877	0,65560	0,65138	0,76680	0,84211	0,94158	0,93361	0,94440	6,27425
	0,54557	0,57443	0,59953	0,74592	0,93243	0,92282	0,94815	0,95988	6,22874
	0,55331	0,62299	0,61666	0,77103	0,92798	0,94205	0,95073	0,95144	6,33619
	0,52446	0,60188	0,57114	0,72246	0,83953	0,94534	0,95308	0,96645	6,12434
	0,47496	0,56364	0,47894	0,68117	0,81701	0,94111	0,94111	0,94933	5,84727
	0,55496	0,56481	0,56176	0,72411	0,78651	0,93619	0,95777	0,96317	6,04927
Sumatoria	3,19202	3,58334	3,47941	4,41150	5,14557	5,62909	5,68446	5,73466	36,86006
Maíz Roleado	0,57832	0,61894	0,62381	0,72151	0,87515	0,93247	0,92783	0,93316	6,21119
	0,56718	0,59759	0,62242	0,70480	0,88698	0,91297	0,93316	0,94686	6,17197
	0,56974	0,62938	0,65932	0,70411	0,88188	0,91483	0,92411	0,93850	6,22186
	0,53307	0,59991	0,61174	0,66071	0,82966	0,91877	0,92063	0,94059	6,01508
	0,51752	0,60246	0,60548	0,67904	0,79786	0,91367	0,93409	0,95683	6,00696
	0,55094	0,60571	0,59503	0,61522	0,82850	0,91715	0,94036	0,95034	6,00325
Sumatoria	3,31678	3,65398	3,71780	4,08540	5,10002	5,50986	5,58018	5,66628	36,63031

Continuación tabla anterior:

Maíz Extruído	0,69338	0,75252	0,75716	0,82512	0,91279	0,88821	0,92068	0,95037	6,70022
	0,69245	0,75252	0,77734	0,82697	0,90699	0,92671	0,91998	0,94457	6,74754
	0,68340	0,76180	0,77479	0,84576	0,90885	0,92903	0,92972	0,94311	6,77646
	0,65093	0,69686	0,72005	0,77943	0,85620	0,91163	0,91581	0,94387	6,47478
	0,60246	0,71564	0,71796	0,74046	0,86432	0,90537	0,92276	0,94178	6,41076
	0,61893	0,72492	0,71796	0,81654	0,85991	0,91836	0,92555	0,95779	6,53995
Sumatoria	3,94155	4,40427	4,46527	4,83428	5,30906	5,47930	5,53450	5,68148	39,64970
Sumatoria	10,45035	11,64159	11,66248	13,33118	15,55465	16,61825	16,79914	17,08242	113,14007

Continuación tabla de sumatorias:

SC total	SC maíz/ Interaccion	
POTENCIA	POTENCIA	
5,09161		
5,08484		
5,22675		
4,92633		
4,57677		
4,80695		
29,71326		
4,99429		
4,95054		
5,00057		
4,71957		
4,71793		
4,71797		
29,10087	174,47912	1341,77951
5,67412		
5,75392		
5,80592		
5,32905		
5,24405		
5,44761		
33,25465	199,36100	1572,09905
92,06878		

ANEXO 5

Factores necesarios para el cálculo del análisis de varianza en el análisis de bloques completos al azar generalizados.

FC =	88,89358
SC maíz =	0,11772
SC horas =	2,80665
Interaccion	0,14873
SC total =	3,17520
Error de Muestreo	0,10210

ANEXO 6

Análisis de varianza de bloques completos al azar generalizados.

	GL	SC	CM	F	F (0,05)	F(0,01)
Bloques (horas)	7	2,80665	0,40095	471,23230	2,36	1,94
Tratamientos (maíces)	2	0,11772	0,05886	69,17754	3,34	2,5
Error experimental (interacción)	14	0,14873	0,01062	12,48602	2,04	1,74
Error Muestral	120	0,10210	0,00085			
Total	143	3,17520				

ANEXO 7

Promedios de materia seca ordenados de mayor a menor de horas y tipos de maíces.

Orden de los promedios de MS digerida (gr) de mayor a menor								
Horas (> a <)	0,94902	0,93329	0,92324	0,86415	0,74062	0,64792	0,64676	0,58035
Maices (> a <)	0,82604	0,76792	0,76313					

ANEXO 8

Suma promedio para horas y maíces.

Sprom =	0,01031	(horas)
Sprom =	0,01684	(maices)

ANEXO 9

Diferencia mínima significativa para obtener el Test de Tukey para el análisis de bloques completos al azar generalizado.

Dif. minima significativa =	0,04496	(horas)
	0,05659	(tratamientos)

ANEXO 10

Cálculo del Test de Tukey para las horas o bloques.

HORAS	(8 - 7)	(8 - 6)	(8 - 5)	(7 - 5)	(6 - 5)	(5 - 4)	(4 - 3)	(3 - 2)	(3 - 1)	(2 - 1)
	0,01574	0,02579	0,08488	0,20840	0,05909	0,12353	0,09271	0,00116	0,06757	0,06640
	no	no	si	si	si	si	si	no	si	si

Representación del Test de Tukey para las horas o bloques.



ANEXO 11

Cálculo del Test de Tukey para los maíces o tratamientos.

(3 - 2)	(3 - 1)	(2 - 1)
0,05812	0,06290	0,00479
si	si	no

Representación del Test de Tukey para Los maíces o tratamientos:

- 1 = Maíz Crudo
- 2 = Maíz Roleado
- 3 = Maíz Extruído



ANEXO 12

Cálculo de las sumatorias para el diseño completamente al azar con arreglo factorial de los tratamientos.

Tratamientos	Factor Trat	Factor Blo						
1	1	1	0,53877	0,54557	0,55331	0,52446	0,47496	0,55496
2	1	2	0,65560	0,57443	0,62299	0,60188	0,56364	0,56481
3	1	3	0,65138	0,59953	0,61666	0,57114	0,47894	0,56176
4	1	4	0,76680	0,74592	0,77103	0,72246	0,68117	0,72411
5	1	5	0,84211	0,93243	0,92798	0,83953	0,81701	0,78651
6	1	6	0,94158	0,92282	0,94205	0,94534	0,94111	0,93619
7	1	7	0,93361	0,94815	0,95073	0,95308	0,94111	0,95777
8	1	8	0,94440	0,95988	0,95144	0,96645	0,94933	0,96317
9	2	1	0,57832	0,56718	0,56974	0,53307	0,51752	0,55094
10	2	2	0,61894	0,59759	0,62938	0,59991	0,60246	0,60571
11	2	3	0,62381	0,62242	0,65932	0,61174	0,60548	0,59503
12	2	4	0,72151	0,70480	0,70411	0,66071	0,67904	0,61522
13	2	5	0,87515	0,88698	0,88188	0,82966	0,79786	0,82850
14	2	6	0,93247	0,91297	0,91483	0,91877	0,91367	0,91715
15	2	7	0,92783	0,93316	0,92411	0,92063	0,93409	0,94036
16	2	8	0,93316	0,94686	0,93850	0,94059	0,95683	0,95034
17	3	1	0,69338	0,69245	0,68340	0,65093	0,60246	0,61893
18	3	2	0,75252	0,75252	0,76180	0,69686	0,71564	0,72492
19	3	3	0,75716	0,77734	0,77479	0,72005	0,71796	0,71796
20	3	4	0,82512	0,82697	0,84576	0,77943	0,74046	0,81654
21	3	5	0,91279	0,90699	0,90885	0,85620	0,86432	0,85991
22	3	6	0,88821	0,92671	0,92903	0,91163	0,90537	0,91836
23	3	7	0,92068	0,91998	0,92972	0,91581	0,92276	0,92555
24	3	8	0,95037	0,94457	0,94311	0,94387	0,94178	0,95779

Continuación tabla anterior:

Suma Observ.	Suma Fact. Trat.	Suma Fact. Bloq.
3,19202		10,45035
3,58334		11,64159
3,47941		11,66248
4,41150		13,33118
5,14557		15,55465
5,62909		16,61825
5,68446		16,79914
5,73466	36,86006	17,08242
3,31678		
3,65398		
3,71780		
4,08540		
5,10002		
5,50986		
5,58018		
5,66628	36,63031	
3,94155		
4,40427		
4,46527		
4,83428		
5,30906		
5,47930		
5,53450		
5,68148	39,64970	
113,14007	113,14007	113,14007

ANEXO 13

Factores necesarios para el cálculo del análisis de varianza para el diseño completamente al azar con arreglo factorial de los tratamientos.

Myy = FC =	88,89358
SC Trat =	3,07310
SC Fac T =	0,11772
SC Fac B =	2,80665
Int T x B =	0,14873
SC Tot =	3,17520

ANEXO 14

Análisis de varianza para el diseño completamente al azar con arreglo factorial de los tratamientos.

F DE VARIACIÓN	GL	SC	CM	VALOR F	VALOR F TABULADO	
					5%	1%
Entre Tratamientos	23	3,07310	0,133613	157,03415	1,6	1,9
Factor Trat	2	0,11772	0,05886	69,17754	2,6	4,8
Factor Blo	7	2,80665	0,400949	471,23230	2,1	2,8
Int Trat x Blo	14	0,14873	0,010624	12,48602	1,8	2,2
Error	120	0,10210	0,000851			
Total	143	3,17520				

ANEXO 15

Promedios de materia seca ordenados de mayor a menor para el cálculo del Test de Tukey.

8 0,95578	7 0,94741	24 0,94691	16 0,94438	6 0,93818	15 0,93003	23 0,92242	14 0,91831	22 0,91322	21 0,88484	5 0,85760
13 0,85000	20 0,80571	19 0,74421	4 0,73525	18 0,73404	12 0,68090	17 0,65693	11 0,61963	10 0,60900	2 0,59722	3 0,57990
9 0,55280	1 0,53200									

ANEXO 16

Suma promedio para los tratamientos.

Sprom =	0,00595	(tratamientos)	factor q=	5,2	(23-120)
Sprom =	0,01684	(factor trat.)	factor q =	2,8	(2-120)
Sprom =	0,01031	(factor bloq.)	factor q=	4,24	(7- 120)

ANEXO 17

Diferencia mínima significativa para obtener el Test de Tukey.

Dif. mínima significativa =	0,03096	(tratamientos)
	0,04715	(factor trat.)
	0,04373	(factor bloq.)

ANEXO 18

Cálculo del Test de Tukey para los tratamientos.

(8-7) 0,00837 no	(8-24) 0,00886 no	(8-16) 0,01140 no	(8-6) 0,01760 no	(8-15) 0,02575 no	(8-23) 0,03336 si	(7-23) 0,02499 no	(7-14) 0,02910 no	(7-22) 0,03419 si	(24-22) 0,03370 si
(16-22) 0,03116 si	(6-22) 0,02497 no	(6-21) 0,05334 si	(15-21) 0,04519 si	(23-21) 0,03757 si	(14-21) 0,03347 si	(22-21) 0,02837 no	(22-5) 0,05562 si	(21-5) 0,02725 no	(21-13) 0,03484 si
(5-13) 0,00759 no	(5-20) 0,05188 si	(13-20) 0,04429 si	(20-19) 0,06150 si	(19-4) 0,00896 no	(19-18) 0,01017 no	(19-12) 0,06331 si	(4-12) 0,05435 si	(18-12) 0,05314 si	(12-17) 0,02398 no

Continuación cálculos anteriores:

(12-11)	(17-11)	(11-10)	(10-2)	(10-3)	(10-9)	(2-9)	(3-9)	(3-1)	(9-1)
0,06127	0,03729	0,01064	0,01177	0,02909	0,05620	0,04443	0,02711	0,04790	0,02079
si	si	no	no	no	si	si	no	si	no

ANEXO 19

Cálculo del Test de Tukey para el factor tratamiento.

1= Maíz Crudo

2= Maíz roleado

3= Maíz Extruído

Promedios:

1	2	3
0,76792	0,76313	0,82604

(3-2)	(3-1)	(2-1)
0,05812	0,06290	0,00479
si	si	no

1	2	3
<u>1</u>		

ANEXO 20

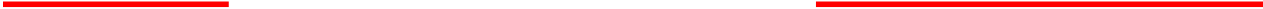
Promedios del factor bloque ordenados de mayor a menor para el cálculo del Test de Tukey.

8	7	6	5	4	3	2	1
0,94902	0,93329	0,92324	0,86415	0,74062	0,64792	0,64676	0,58058

ANEXO 21

Cálculo del Test de Tukey para el factor bloque

(8-7) 0,01574 no	(8-6) 0,02579 no	(8-5) 0,08488 si	(7-5) 0,06914 si	(6-5) 0,05909 si	(5-4) 0,12353 si	(4-3) 0,09271 si	(3-2) 0,00116 no	(3-1) 0,06734 si	(2-1) 0,06618 si
1	2	3	6	12	24	36	48		



ANEXO 22

Datos iniciales de degradabilidad por producción de gas.

TRATAMIENTO 1 (200mg de pared celular de ballica).

Tiempo Incubado			
Botellas			Tiempo Incubado Promedio
3	4	5	
0,00	0,00	0,00	0,00
0,59	0,59	0,61	0,60
0,92	0,92	0,94	0,93
1,41	1,41	1,42	1,41
1,91	1,91	1,92	1,91
2,39	2,41	2,41	2,40
2,92	2,94	2,94	2,93
3,42	3,42	3,42	3,42
3,91	3,91	3,91	3,91
4,64	4,64	4,66	4,65
5,06	5,07	5,07	5,07
5,59	5,59	5,61	5,60
5,91	5,91	5,92	5,91
7,91	7,91	7,92	7,91
9,91	9,91	9,92	9,91
11,91	11,91	11,92	11,91
13,94	13,96	13,96	13,95
15,92	15,94	15,94	15,93
17,91	17,91	17,92	17,91
19,89	19,91	19,92	19,91

Volumen Acumulado por gramo incubado						
Botellas			Vol. Acum. Promedio	Volumen Acumulado		
3	4	5		Promedio	Desvest	CV
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9,09	9,21	5,10	7,80	7,80	2,34	0,30
15,15	16,99	11,09	14,41	14,41	3,02	0,21
30,58	31,96	23,38	28,64	28,64	4,61	0,16
40,23	41,75	32,07	38,01	38,01	5,20	0,14
49,04	48,08	38,66	45,26	45,26	5,74	0,13
54,28	55,57	44,36	51,40	51,40	6,13	0,12
60,61	61,90	49,15	57,22	57,22	7,02	0,12
66,95	68,81	56,35	64,04	64,04	6,72	0,11
73,29	75,43	64,14	70,95	70,95	6,00	0,08
77,15	82,06	68,03	75,74	75,74	7,11	0,09
81,55	90,40	74,33	82,10	82,10	8,05	0,10
85,69	99,62	79,12	88,14	88,14	10,47	0,12
96,71	113,44	92,61	100,92	100,92	11,03	0,11
114,62	132,44	113,89	120,32	120,32	10,51	0,09
133,35	153,17	136,37	140,96	140,96	10,68	0,08
162,56	183,40	168,14	171,36	171,36	10,79	0,06
184,32	199,81	189,72	191,28	191,28	7,86	0,04
201,41	217,95	210,70	210,02	210,02	8,29	0,04
216,56	234,36	223,88	224,93	224,93	8,95	0,04

Continuación tabla anterior:

21,91	21,91	21,92	21,91	231,16	248,76	239,17	239,70	239,70	8,81	0,04
23,94	23,97	23,97	23,96	242,18	261,14	249,66	250,99	250,99	9,55	0,04
27,89	27,89	27,91	27,90	258,99	276,11	266,74	267,28	267,28	8,57	0,03
31,91	31,91	31,92	31,91	275,52	292,52	281,43	283,16	283,16	8,63	0,03
35,91	35,91	35,92	35,91	290,12	304,61	297,31	297,35	297,35	7,25	0,02
41,42	41,44	41,44	41,43	301,14	319,58	310,80	310,51	310,51	9,22	0,03
44,46	44,47	44,47	44,47	309,41	327,65	316,49	317,85	317,85	9,19	0,03
47,91	47,91	47,92	47,91	315,47	336,86	326,38	326,24	326,24	10,70	0,03

ANEXO 23

Datos iniciales de degradabilidad por producción de gas.

TRATAMIENTO 2 (200 mg de pared celular de ballica + 300 mg de Maíz normal).

Tiempo Incubado					
Botellas					Tiempo Incubado
6	7	8	9	10	Promedio
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,61	0,62	0,62	0,64	0,64	0,63
0,94	0,96	0,96	0,97	0,97	0,96
1,42	1,44	1,44	1,44	1,46	1,44
1,92	1,94	1,94	1,96	1,96	1,94
2,42	2,42	2,42	2,42	2,46	2,43
2,96	2,96	2,97	2,97	2,99	2,97
3,44	3,46	3,46	3,47	3,47	3,46
3,92	3,92	3,94	3,94	3,96	3,94
4,66	4,67	4,67	4,67	4,69	4,67
5,09	5,11	5,11	5,12	5,12	5,11
5,61	5,62	5,62	5,62	5,64	5,62
5,96	5,96	5,97	5,97	5,99	5,97
7,92	7,94	7,94	7,96	7,96	7,94
9,92	9,94	9,94	9,96	9,96	9,94
11,92	11,94	11,94	11,96	11,96	11,94
13,96	13,97	13,97	13,99	13,99	13,98
15,94	15,96	15,96	15,97	15,97	15,96
17,94	17,96	17,96	17,96	17,97	17,96
19,92	19,92	19,94	19,96	19,96	19,94

Volumen Acumulado por gramo incubado								
Botellas					Vol. Acum.	Volumen Acumulado		
6	7	8	9	10	Promedio	Promedio	Desvest	CV
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,57	6,04	5,30	5,86	5,73	5,90	5,90	0,46	0,08
12,11	11,86	10,95	11,97	11,33	11,64	11,64	0,49	0,04
20,18	19,59	19,54	20,46	19,74	19,90	19,90	0,40	0,02
27,67	27,11	26,72	28,36	27,54	27,48	27,48	0,62	0,02
34,36	32,51	33,08	35,42	34,00	33,87	33,87	1,13	0,03
42,77	40,77	41,67	40,09	41,07	41,27	41,27	1,01	0,02
51,42	49,34	50,39	49,54	49,73	50,08	50,08	0,84	0,02
60,18	58,03	59,10	58,87	57,04	58,64	58,64	1,18	0,02
73,21	71,79	71,22	72,04	69,47	71,55	71,55	1,37	0,02
82,20	81,00	79,70	81,85	78,12	80,58	80,58	1,68	0,02
90,85	90,96	89,35	91,78	87,02	89,99	89,99	1,88	0,02
98,00	97,52	95,83	98,72	93,73	96,76	96,76	2,00	0,02
129,13	128,12	125,73	127,56	123,10	126,73	126,73	2,37	0,02
163,25	163,70	161,40	162,02	158,81	161,84	161,84	1,93	0,01
194,50	195,89	194,36	193,61	191,11	193,89	193,89	1,76	0,01
232,20	234,86	232,04	231,78	230,23	232,22	232,22	1,67	0,01
262,17	264,51	261,94	261,70	261,92	262,45	262,45	1,16	0,00
286,73	288,76	286,90	285,27	286,90	286,91	286,91	1,24	0,00
306,10	307,82	306,67	302,62	306,77	306,00	306,00	1,99	0,01

Continuación tabla anterior:

21,92	21,94	21,94	21,96	21,96	21,94	322,70	324,76	323,74	319,01	324,20	322,88	322,88	2,29	0,01
23,99	23,99	24,01	24,02	24,02	24,01	333,77	336,83	335,16	329,78	335,53	334,22	334,22	2,71	0,01
27,92	27,92	27,94	27,94	27,96	27,94	348,87	351,76	350,47	346,30	351,01	349,68	349,68	2,17	0,01
31,92	31,94	31,94	31,96	31,96	31,94	361,21	363,94	362,71	357,07	362,83	361,55	361,55	2,69	0,01
35,92	35,94	35,94	35,96	35,96	35,94	370,43	373,57	373,31	367,12	372,59	371,40	371,40	2,69	0,01
41,46	41,46	41,46	41,47	41,47	41,46	380,00	383,32	383,31	377,65	382,70	381,40	381,40	2,50	0,01
44,49	44,49	44,51	44,51	44,52	44,50	385,30	387,76	387,32	382,55	386,72	385,93	385,93	2,10	0,01
47,92	47,94	47,94	47,96	47,96	47,94	388,99	391,26	391,20	387,22	390,87	389,91	389,91	1,77	0,00

ANEXO 24

Datos iniciales de degradabilidad por producción de gas.

TRATAMIENTO 3 (200mg de pared celular de ballica + 300 mg de Maíz roleado).

Tiempo Incubado					
Botellas					Tiempo Incubado
11	12	13	14	15	Promedio
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,66	0,66	0,67	0,67	0,67	0,67
0,99	0,99	1,01	1,01	1,02	1,00
1,46	1,47	1,47	1,47	1,49	1,47
1,97	1,97	1,99	1,99	2,01	1,99
2,46	2,47	2,47	2,49	2,49	2,48
2,99	2,99	3,01	3,01	3,02	3,00
3,49	3,49	3,51	3,51	3,51	3,50
3,96	3,97	3,97	3,99	3,99	3,98
4,69	4,71	4,71	4,72	4,72	4,71
5,14	5,16	5,16	5,17	5,17	5,16
5,64	5,66	5,66	5,67	5,67	5,66
5,99	6,01	6,01	6,02	6,02	6,01
7,97	7,97	7,99	7,99	8,01	7,99
9,97	9,97	9,99	9,99	10,01	9,99
11,97	11,97	11,99	11,99	12,01	11,99
14,01	14,01	14,02	14,02	14,04	14,02
15,99	15,99	16,01	16,01	16,02	16,00
17,97	17,99	17,99	18,01	18,01	17,99
19,97	19,97	19,99	19,99	19,99	19,98

Volumen Acumulado por gramo incubado								
Botellas					Vol. Acum.	Volumen Acumulado		
11	12	13	14	15	Promedio	Promedio	Desvest	CV
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,64	5,77	5,89	5,54	6,03	5,97	5,97	0,42	0,07
14,03	12,50	12,00	12,73	13,33	12,92	12,92	0,78	0,06
25,96	23,39	23,00	24,16	23,41	23,99	23,99	1,18	0,05
38,26	34,61	33,88	35,01	34,30	35,21	35,21	1,75	0,05
48,48	43,26	42,44	43,97	43,00	44,23	44,23	2,44	0,06
60,90	54,37	53,55	55,17	54,01	55,60	55,60	3,02	0,05
73,33	65,91	65,65	67,31	65,60	67,56	67,56	3,30	0,05
86,98	77,88	78,32	80,27	77,53	80,20	80,20	3,94	0,05
108,27	97,00	96,65	98,31	95,03	99,05	99,05	5,28	0,05
122,66	111,42	109,98	111,51	107,78	112,67	112,67	5,79	0,05
137,31	125,31	123,87	125,65	120,88	126,60	126,60	6,27	0,05
146,78	134,71	133,42	136,62	132,35	136,77	136,77	5,81	0,04
182,34	170,07	169,63	174,10	168,51	172,93	172,93	5,67	0,03
215,31	202,86	202,74	206,87	200,96	205,75	205,75	5,77	0,03
240,53	229,03	228,51	233,63	227,27	231,79	231,79	5,44	0,02
268,34	257,88	257,51	264,63	254,73	260,62	260,62	5,65	0,02
287,78	279,24	277,61	284,90	274,78	280,86	280,86	5,34	0,02
304,63	295,26	293,17	301,05	289,85	296,79	296,79	5,99	0,02
317,92	308,08	307,16	314,72	301,90	309,96	309,96	6,37	0,02

Continuación tabla anterior:

21,97	21,97	21,99	21,99	22,01	21,99	329,85	320,58	318,72	326,87	314,07	322,02	322,02	6,34	0,02
24,04	24,06	24,06	24,07	24,09	24,06	336,00	329,56	326,94	334,88	322,30	329,94	329,94	5,67	0,02
27,96	27,97	27,97	27,97	27,99	27,97	350,03	342,37	339,49	347,49	334,70	342,82	342,82	6,15	0,02
31,97	31,97	31,99	31,99	32,01	31,99	359,75	354,55	350,71	358,10	346,29	353,88	353,88	5,49	0,02
35,97	35,97	35,99	35,99	36,01	35,99	369,59	364,49	359,82	367,53	356,14	363,51	363,51	5,52	0,02
41,49	41,49	41,51	41,51	41,52	41,50	379,19	374,74	369,82	377,20	366,80	373,55	373,55	5,15	0,01
44,54	44,54	44,56	44,56	44,57	44,55	382,76	380,62	375,15	381,56	371,78	378,37	378,37	4,70	0,01
47,97	47,97	47,99	47,99	48,01	47,99	387,06	384,78	378,93	385,69	377,00	382,69	382,69	4,44	0,01

ANEXO 25

Datos iniciales de degradabilidad por producción de gas.

TRATAMIENTO 4 (200 mg de pared celular de ballica + 300 mg de Maíz extruído).

Tiempo Incubado					Volumen Acumulado por gramo incubado							
Botellas				Tiempo Incubado	Botellas				Vol. Acum.	Volumen Acumulado		
16	17	18	20	Promedio	16	17	18	20	Promedio	Promedio	Desvest	CV
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,69	0,69	0,71	0,74	0,71	7,48	6,75	6,37	6,58	6,79	6,79	0,48	0,07
1,02	1,04	1,04	1,06	1,04	16,12	15,47	13,59	13,81	14,75	14,75	1,24	0,08
1,49	1,51	1,51	1,52	1,51	30,38	30,25	27,42	26,41	28,61	28,61	2,01	0,07
2,01	2,02	2,02	2,04	2,02	46,74	47,24	43,77	41,42	44,79	44,79	2,72	0,06
2,51	2,51	2,52	2,54	2,52	66,25	66,67	63,02	59,29	63,80	63,80	3,43	0,05
3,04	3,06	3,07	3,09	3,07	86,05	92,96	88,75	85,15	88,23	88,23	3,51	0,04
3,52	3,54	3,54	3,56	3,54	106,15	112,28	107,15	107,83	108,35	108,35	2,71	0,02
4,01	4,01	4,02	4,02	4,02	120,28	125,54	120,26	122,41	122,12	122,12	2,49	0,02
4,72	4,74	4,74	4,76	4,74	134,31	138,69	132,65	137,20	135,71	135,71	2,73	0,02
5,19	5,21	5,21	5,22	5,21	143,18	146,95	141,55	145,97	144,41	144,41	2,49	0,02
5,69	5,69	5,71	5,71	5,70	150,20	153,93	149,72	153,64	151,87	151,87	2,22	0,01
6,04	6,04	6,06	6,07	6,05	157,32	160,56	157,18	160,43	158,87	158,87	1,88	0,01
8,01	8,02	8,02	8,04	8,02	181,86	184,18	178,83	184,98	182,46	182,46	2,76	0,02
10,01	10,02	10,02	10,04	10,02	207,45	209,66	200,47	210,07	206,91	206,91	4,44	0,02
12,01	12,02	12,02	12,04	12,02	229,29	232,12	221,16	231,22	228,45	228,45	5,00	0,02
14,04	14,06	14,06	14,07	14,06	255,70	258,99	247,50	257,96	255,04	255,04	5,21	0,02
16,02	16,04	16,04	16,06	16,04	275,09	279,70	266,98	278,78	275,14	275,14	5,79	0,02
18,01	18,02	18,02	18,04	18,02	290,28	296,34	281,65	294,78	290,76	290,76	6,60	0,02
20,01	20,01	20,02	20,04	20,02	303,60	309,25	293,92	307,93	303,68	303,68	6,94	0,02

Continuación tabla anterior:

22,01	22,02	22,02	22,04	22,02	316,34	322,05	307,99	321,63	317,00	317,00	6,55	0,02
24,09	24,11	24,12	24,14	24,12	323,70	330,43	316,41	329,96	325,12	325,12	6,57	0,02
28,01	28,01	28,02	28,04	28,02	331,59	343,23	329,03	342,12	336,49	336,49	7,23	0,02
32,01	32,02	32,02	32,04	32,02	340,00	354,17	337,45	352,42	346,01	346,01	8,51	0,02
36,01	36,02	36,02	36,04	36,02	348,99	363,47	347,31	360,97	355,19	355,19	8,22	0,02
41,52	41,52	41,54	41,56	41,54	358,93	373,48	357,54	369,96	364,97	364,97	7,94	0,02
44,57	44,57	44,59	44,61	44,59	362,66	378,02	361,86	373,14	368,92	368,92	7,95	0,02
48,01	48,02	48,02	48,04	48,02	367,57	382,55	365,59	377,19	373,23	373,23	8,02	0,02

ANEXO 26

Datos de degradabilidad por producción de gas utilizados para el “análisis de covarianza completamente al azar”.

TRATAMIENTO 1 (Pared celular de ballica).

TIEMPO			Volumen acumulado		
botella 1	botella 2	botella 3	botella 1	botella 2	botella 3
1,91	1,91	1,92	40,23	41,75	32,07
3,91	3,91	3,91	66,95	68,81	56,35
5,59	5,59	5,61	81,55	90,40	74,33
7,91	7,91	7,92	96,71	113,44	92,61
15,92	15,94	15,94	184,32	199,81	189,72
23,94	23,97	23,97	242,18	261,14	249,66
47,91	47,91	47,92	315,47	336,86	326,38

ANEXO 27

Datos de degradabilidad por producción de gas utilizados para el “análisis de covarianza completamente al azar”.

TRATAMIENTO 2 (Pared celular de ballica + Maíz normal o crudo).

TIEMPO					VOLUMEN ACUMULADO				
botella 4	botella 5	botella 6	botella 7	botella 8	botella 4	botella 5	botella 6	botella 7	botella 8
1,92	1,94	1,94	1,96	1,96	27,67	27,11	26,72	28,36	27,54
3,92	3,92	3,94	3,94	3,96	60,18	58,03	59,10	58,87	57,04
5,61	5,62	5,62	5,62	5,64	90,85	90,96	89,35	91,78	87,02
7,92	7,94	7,94	7,96	7,96	129,13	128,12	125,73	127,56	123,10
15,94	15,96	15,96	15,97	15,97	262,17	264,51	261,94	261,70	261,92
23,99	23,99	24,01	24,02	24,02	333,77	336,83	335,16	329,78	335,53
47,92	47,94	47,94	47,96	47,96	388,99	391,26	391,20	387,22	390,87

ANEXO 28

Datos de degradabilidad por producción de gas utilizados para el “análisis de covarianza completamente al azar”.

TRATAMIENTO 3 (Pared celular de ballica + Maíz Roleado).

TIEMPO					VOLUMEN ACUMULADO				
botella 9	botella 10	botella 11	botella 12	botella 13	botella 9	botella 10	botella 11	botella 12	botella 13
1,97	1,97	1,99	1,99	2,01	38,26	34,61	33,88	35,01	34,30
3,96	3,97	3,97	3,99	3,99	86,98	77,88	78,32	80,27	77,53
5,64	5,66	5,66	5,67	5,67	137,31	125,31	123,87	125,65	120,88
7,97	7,97	7,99	7,99	8,01	182,34	170,07	169,63	174,10	168,51
15,99	15,99	16,01	16,01	16,02	287,78	279,24	277,61	284,90	274,78
24,04	24,06	24,06	24,07	24,09	336,00	329,56	326,94	334,88	322,30
47,97	47,97	47,99	47,99	48,01	387,06	384,78	378,93	385,69	377,00

ANEXO 29

Datos de degradabilidad por producción de gas utilizados para el “análisis de covarianza completamente al azar”.

TRATAMIENTO 4 (Pared celular de ballica + Maíz Extruído).

TIEMPO				VOLUMEN ACUMULADO			
botella 14	botella 15	botella 16	botella 17	botella 14	botella 15	botella 16	botella 17
2,01	2,02	2,02	2,04	46,74	47,24	43,77	41,42
4,01	4,01	4,02	4,02	120,28	125,54	120,26	122,41
5,69	5,69	5,71	5,71	150,20	153,93	149,72	153,64
8,01	8,02	8,02	8,04	181,86	184,18	178,83	184,98
16,02	16,04	16,04	16,06	275,09	279,70	266,98	278,78
24,09	24,11	24,12	24,14	323,70	330,43	316,41	329,96
48,01	48,02	48,02	48,04	367,57	382,55	365,59	377,19

ANEXO 30

Volumen acumulado por gramo incubado y tiempo de incubación en horas para la degradabilidad por producción de gas.

Y = Volumen acumulado por gramo incubado.

X = Tiempo de incubación en horas.

1		2		3		4	
Tiempo	volumen	tiempo	volumen	tiempo	volumen	tiempo	volumen
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1,91	40,23	1,92	27,67	1,97	38,26	2,01	46,74
3,91	66,95	3,92	60,18	3,96	86,98	4,01	120,28
5,59	81,55	5,61	90,85	5,64	137,31	5,69	150,20
7,91	96,71	7,92	129,13	7,97	182,34	8,01	181,86
15,92	184,32	15,94	262,17	15,99	287,78	16,02	275,09
23,94	242,18	23,99	333,77	24,04	336,00	24,09	323,70
47,91	315,47	47,92	388,99	47,97	387,06	48,01	367,57
1,91	41,75	1,94	27,11	1,97	34,61	2,02	47,24
3,91	68,81	3,92	58,03	3,97	77,88	4,01	125,54
5,59	90,40	5,62	90,96	5,66	125,31	5,69	153,93
7,91	113,44	7,94	128,12	7,97	170,07	8,02	184,18
15,94	199,81	15,96	264,51	15,99	279,24	16,04	279,70
23,97	261,14	23,99	336,83	24,06	329,56	24,11	330,43
47,91	336,86	47,94	391,26	47,97	384,78	48,02	382,55
1,92	32,07	1,94	26,72	1,99	33,88	2,02	43,77
3,91	56,35	3,94	59,10	3,97	78,32	4,02	120,26

Continuación tabla anterior:

1		2		3		4	
Tiempo	volumen	tiempo	volumen	tiempo	volumen	tiempo	volumen
5,61	74,33	5,62	89,35	5,66	123,87	5,71	149,72
7,92	92,61	7,94	125,73	7,99	169,63	8,02	178,83
15,94	189,72	15,96	261,94	16,01	277,61	16,04	266,98
23,97	249,66	24,01	335,16	24,06	326,94	24,12	316,41
47,92	326,38	47,94	391,20	47,99	378,93	48,02	365,59
		1,96	28,36	1,99	35,01	2,04	41,42
		3,94	58,87	3,99	80,27	4,02	122,41
		5,62	91,78	5,67	125,65	5,71	153,64
		7,96	127,56	7,99	174,10	8,04	184,98
		15,97	261,70	16,01	284,90	16,06	278,78
		24,02	329,78	24,07	334,88	24,14	329,96
		47,96	387,22	47,99	385,69	48,04	377,19
		1,96	27,54	2,01	34,30		
		3,96	57,04	3,99	77,53		
		5,64	87,02	5,67	120,88		
		7,96	123,10	8,01	168,51		
		15,97	261,92	16,02	274,78		
		24,02	335,53	24,09	322,30		
		47,96	390,87	48,01	377,00		

1 = Pared celular de Ballica.

2 = Pared celular de Ballica + Maíz Normal o Crudo.

3 = Pared celular de Ballica + Maíz Roleado.

4 = Pared celular de Ballica + Maíz Extruído.

ANEXO 31

Suma de las observaciones para la obtención de los factores de corrección.

SUMA X e Y	321,40667	3160,73255	536,78333	6447,07398	538,31667	7042,15902	431,75333	5898,95710
PROMEDIO	15,30508	150,51107	15,33667	184,20211	15,38048	201,20454	15,41976	210,67704
Su Cuad obs	9709,525	686514,610	16217,991	1804886,819	16267,276	1939675,496	13048,462	1576435,484
Cuad sumas	103302,2454	9990230,238	288136,347	41564762,89	289784,834	49592003,6	186410,941	34797694,8
Cuad sumas/n	4919,154542	475725,2494	8232,46706	1187564,654	8279,56667	1416914,39	6657,5336	1242774,81

Continuación tabla anterior:

X	Y	X	Y
1828,26000	22548,92264	15,3635294	189,486745
15,3635294	189,4867449		
55243,254	6007512,409		
867634,367	135944691,6		
28088,7219	4322979,108		
3342534,628	508453912,230		

ANEXO 32

Factores de corrección para el análisis de covarianza completamente al azar.

FC Y= 4272721,952
FC X = 28088,526

N total = 119
n Trat = 4

ANEXO 33

Sumas cuadrados para tiempo (x) y volumen acumulado (y).

SC Tot Y	1734790,457
SC Tr Y a =	4322979,108
SC Tr Y Tot	50257,15627

SC Tot X =	27154,728
SC TR X a =	28088,7219
SC Tr X Tot	0,196

ANEXO 34

Sumas cuadrados para tiempo/volumen acumulado (XY).

SUM XY =	78821,48159	163512,119	148664,6466	132350,347
S SY x SX	1015880,512	3460681,86	3790911,569	2546894,39
	48375,26249	98876,6246	108311,7591	90960,5139
SctotXY	176917,5578			

SUMA	
523348,594	41225293,3
10814368,3	346431,036
346524,16	

Continuación tabla anterior:

SC Tr XY a =	346524,160
SC Tr XY Tot =	93,124
SC Tot XY =	176917,5578

ANEXO 35

Grados de libertad, sumas cuadradas y errores ajustados necesarios para el cálculo del análisis de covarianza.

GL Error =	115	GL Err Ajus =	114	GL Trat ajus	3
GL Tra + Err =	118	GL Tr+Err Aj =	117		

Error X =	27154,532	Error Y =	1684533,301	Error XY =	176824,434
Tr + Error X =	27154,728	Tr + Error Y =	1734790,457	Tr + Error XY=	176917,558
SC Error Aj =	533090,8839	CM Error Aj =	4676,23582		
SC Tr+Err Aj =	582143,2178	CM Tr+Err Aj =	14827,2689		
SC Tr Ajus =	49052,334	CM Tr Ajus =	16350,778	Valor F =	3,49656831

ANEXO 36

Cálculo para obtener el valor de Y ajustado para el tratamiento 1.

x	y	x ²	y ²	xy	x-prom x	Y ajustado a X
1,91	40,23	3,64	1618,12	76,70	-13,40	65,35
3,91	66,95	15,26	4482,48	261,56	-11,40	78,07
5,59	81,55	31,25	6651,03	455,89	-9,72	88,76
7,91	96,71	62,52	9352,33	764,63	-7,40	103,49
15,92	184,32	253,55	33974,89	2935,03	0,62	154,44
23,94	242,18	573,12	58652,10	5797,84	8,63	205,39
47,91	315,47	2295,05	99521,47	15113,13	32,60	357,72
1,91	41,75	3,64	1742,85	79,60	-13,40	65,35
3,91	68,81	15,26	4735,00	268,82	-11,40	78,07
5,59	90,40	31,25	8173,04	505,36	-9,72	88,76
7,91	113,44	62,52	12868,17	896,92	-7,40	103,49
15,94	199,81	254,08	39924,85	3185,00	0,63	154,55
23,97	261,14	574,72	68192,86	6260,34	8,67	205,60
47,91	336,86	2295,05	113473,91	16137,79	32,60	357,72
1,92	32,07	3,70	1028,41	61,68	-13,38	65,46
3,91	56,35	15,26	3174,79	220,12	-11,40	78,07
5,61	74,33	31,43	5524,63	416,73	-9,70	88,87
7,92	92,61	62,78	8576,63	733,78	-7,38	103,59
15,94	189,72	254,08	35992,10	3024,07	0,63	154,55
23,97	249,66	574,72	62328,95	5985,13	8,67	205,60
47,92	326,38	2296,65	106525,99	15641,37	32,62	357,82
SUMA	321,41	3160,73	9709,53	686514,61	78821,48	0,00
Promedio	15,31	150,51				150,51
n=	21	20				

Continuación tabla anterior:

Varianza de x =	239,52
Varianza de y =	10539,47
Covarianza =	1522,31
Regresión =	6,36

ANEXO 37

Cálculo para obtener el valor de Y ajustado para el tratamiento 2.

x	y	x ²	y ²	xy	x-prom x	Y ajustado a X
1,92	27,67	3,70	765,63	53,22	-13,41	75,63
3,92	60,18	15,39	3621,89	236,11	-11,41	91,82
5,61	90,85	31,43	8253,66	509,36	-9,73	105,45
7,92	129,13	62,78	16673,63	1023,11	-7,41	124,20
15,94	262,17	254,08	68734,55	4179,03	0,60	189,09
23,99	333,77	575,52	111401,56	8007,11	8,65	254,24
47,92	388,99	2296,65	151315,81	18641,86	32,59	447,96
1,94	27,11	3,76	734,81	52,59	-13,40	75,77
3,92	58,03	15,39	3367,10	227,66	-11,41	91,82
5,62	90,96	31,62	8273,35	511,49	-9,71	105,58
7,94	128,12	63,04	16415,93	1017,31	-7,40	124,33
15,96	264,51	254,62	69964,81	4220,68	0,62	189,22
23,99	336,83	575,52	113454,61	8080,56	8,65	254,24
47,94	391,26	2298,24	153081,85	18756,85	32,60	448,10
1,94	26,72	3,76	714,15	51,84	-13,40	75,77
3,94	59,10	15,52	3492,57	232,85	-11,40	91,96
5,62	89,35	31,62	7984,02	502,46	-9,71	105,58
7,94	125,73	63,04	15808,13	998,30	-7,40	124,33
15,96	261,94	254,62	68611,68	4179,66	0,62	189,22
24,01	335,16	576,32	112334,45	8046,15	8,67	254,38
47,94	391,20	2298,24	153037,80	18754,15	32,60	448,10
1,96	28,36	3,83	804,26	55,49	-13,38	75,90
3,94	58,87	15,52	3465,99	231,96	-11,40	91,96
5,62	91,78	31,62	8423,42	516,10	-9,71	105,58

Continuación de la tabla anterior:

	x	y	x ²	y ²	xy	x-prom x	Y ajustado a X
	7,96	127,56	63,31	16270,91	1014,93	-7,38	124,47
	15,97	261,70	255,15	68484,94	4180,16	0,64	189,36
	24,02	329,78	577,12	108756,68	7922,48	8,69	254,51
	47,96	387,22	2299,84	149938,97	18569,76	32,62	448,23
	1,96	27,54	3,83	758,71	53,90	-13,38	75,90
	3,96	57,04	15,66	3253,51	225,69	-11,38	92,09
	5,64	87,02	31,81	7572,80	490,80	-9,70	105,72
	7,96	123,10	63,31	15153,15	979,45	-7,38	124,47
	15,97	261,92	255,15	68601,42	4183,72	0,64	189,36
	24,02	335,53	577,12	112582,97	8060,64	8,69	254,51
	47,96	390,87	2299,84	152777,08	18744,68	32,62	448,23
SUMA	536,78	6447,07	16217,99	1804886,82	163512,12	0,00	
PROMEDIO	15,34	184,20					184,20
N =	35	34					

Varianza de x = 234,87
Varianza de y = 18156,53
Covarianza = 1901,04
Regresión = 8,09

ANEXO 38

Cálculo para obtener el valor de Y ajustado para el tratamiento 3.

x	y	x ²	y ²	xy	x-prom x	Y ajustado a X
1,97	38,26	3,89	1464,09	75,51	-13,41	103,67
3,96	86,98	15,66	7566,34	344,17	-11,42	118,10
5,64	137,31	31,81	18852,78	774,40	-9,74	130,34
7,97	182,34	63,57	33246,31	1453,82	-7,41	147,32
15,99	287,78	255,68	82814,70	4601,53	0,61	205,64
24,04	336,00	577,92	112899,08	8077,55	8,66	264,20
47,97	387,06	2301,44	149818,15	18568,73	32,59	438,32
1,97	34,61	3,89	1197,95	68,30	-13,41	103,67
3,97	77,88	15,79	6064,60	309,43	-11,41	118,22
5,66	125,31	32,00	15701,58	708,81	-9,72	130,46
7,97	170,07	63,57	28922,35	1355,99	-7,41	147,32
15,99	279,24	255,68	77975,58	4465,06	0,61	205,64
24,06	329,56	578,72	108606,99	7928,01	8,68	264,32
47,97	384,78	2301,44	148059,01	18459,39	32,59	438,32
1,99	33,88	3,96	1148,03	67,43	-13,39	103,79
3,97	78,32	15,79	6133,81	311,19	-11,41	118,22
5,66	123,87	32,00	15342,71	700,67	-9,72	130,46
7,99	169,63	63,84	28776,00	1355,38	-7,39	147,44
16,01	277,61	256,21	77069,92	4443,69	0,63	205,76
24,06	326,94	578,72	106888,97	7865,06	8,68	264,32
47,99	378,93	2303,04	143587,23	18184,81	32,61	438,44
1,99	35,01	3,96	1225,61	69,67	-13,39	103,79
3,99	80,27	15,92	6443,68	320,29	-11,39	118,34
5,67	125,65	32,19	15788,99	712,88	-9,71	130,58

Continuación tabla anterior:

	x	y	x ²	y ²	xy	x-prom x	Y ajustado a X
	7,99	174,10	63,84	30311,04	1391,06	-7,39	147,44
	16,01	284,90	256,21	81169,56	4560,34	0,63	205,76
	24,07	334,88	579,53	112145,63	8061,71	8,69	264,45
	47,99	385,69	2303,04	148753,26	18509,04	32,61	438,44
	2,01	34,30	4,03	1176,78	68,84	-13,37	103,91
	3,99	77,53	15,92	6011,22	309,35	-11,39	118,34
	5,67	120,88	32,19	14610,98	685,77	-9,71	130,58
	8,01	168,51	64,11	28394,84	1349,18	-7,37	147,56
	16,02	274,78	256,75	75504,65	4402,91	0,64	205,88
	24,09	322,30	580,33	103875,37	7764,14	8,71	264,57
	48,01	377,00	2304,64	142127,70	18098,43	32,63	438,56
SUMA	538,32	7042,16	16267,28	1939675,50	166422,53	0,00	
PROMEDIO	15,38	201,20					201,20
N =	35	34					

Varianza de x = 234,93
Varianza de y = 15375,33
Covarianza = 1709,14
Regresión = 7,28

ANEXO 39

Cálculo para obtener el valor de Y ajustado para el tratamiento 4.

x	y	x ²	y ²	xy	x-prom x	Y ajustado a X
2,01	46,74	4,03	2184,17	93,78	-13,41	123,81
4,01	120,28	16,05	14468,37	481,94	-11,41	136,76
5,69	150,20	32,38	22558,55	854,61	-9,73	147,66
8,01	181,86	64,11	33072,36	1456,08	-7,41	162,67
16,02	275,09	256,75	75677,08	4407,93	0,60	214,59
24,09	323,70	580,33	104781,18	7797,91	8,67	266,83
48,01	367,57	2304,64	135109,05	17645,90	32,59	421,72
2,02	47,24	4,09	2231,39	95,58	-13,40	123,92
4,01	125,54	16,05	15760,35	503,00	-11,41	136,76
5,69	153,93	32,38	23694,24	875,86	-9,73	147,66
8,02	184,18	64,37	33922,27	1477,74	-7,40	162,78
16,04	279,70	257,28	78233,36	4486,42	0,62	214,69
24,11	330,43	581,13	109184,18	7965,57	8,69	266,94
48,02	382,55	2306,24	146347,96	18371,54	32,60	421,83
2,02	43,77	4,09	1916,25	88,57	-13,40	123,92
4,02	120,26	16,19	14462,66	483,85	-11,40	136,87
5,71	149,72	32,57	22417,49	854,43	-9,71	147,77
8,02	178,83	64,37	31979,40	1434,80	-7,40	162,78
16,04	266,98	257,28	71277,80	4282,34	0,62	214,69
24,12	316,41	581,94	100112,89	7632,77	8,70	267,04
48,02	365,59	2306,24	133658,16	17556,99	32,60	421,83
2,04	41,42	4,16	1715,86	84,50	-13,38	124,03
4,02	122,41	16,19	14983,23	492,48	-11,40	136,87
5,71	153,64	32,57	23604,51	876,76	-9,71	147,77

Continuación tabla anterior:

	x	y	x²	y²	xy	x-prom x	Y ajustado a X
	8,04	184,98	64,64	34217,15	1487,23	-7,38	162,88
	16,06	278,78	257,82	77720,07	4476,33	0,64	214,80
	24,14	329,96	582,74	108873,07	7965,22	8,72	267,15
	48,04	377,19	2307,84	142272,41	18120,22	32,62	421,94
SUMA	431,75	5898,96	13048,46	1576435,48	132350,35	0,00	
PROMEDIO	15,42	210,68					210,68
N =	28	27					

Varianza de x = 236,70
Varianza de y = 12357,80
Covarianza = 1532,96
Regresión = 6,48

ANEXO 40

Cálculo del Test de Tukey para el análisis de covarianza completamente al azar.

Valor q (0,05, 4, 120) = 3,68
 CM error = 4676,23582

Sx = 45,9 (rango mínimo estudentizado)

	TRAT 1	TRAT 2	TRAT 3	TRAT 4	
Promedio de y ajustado a x	150,51	184,20	201,20	210,68	
ordenados de mayor a menor	4	3	2	1	
	210,68	201,20	184,20	150,51	
	(4-3)	(4-2)	(4-1)	(3-1)	(2-1)
	9,47	26,47	60,17	50,69	33,69
	no	no	si	si	no

ANEXO 41

Tabla utilizada para el programa Graphpad Prism 4 para maíz crudo.

HORAS	MS digerida					
1	0,22965	0,23255	0,23585	0,22355	0,20245	0,23655
2	0,27945	0,24485	0,26555	0,25655	0,24025	0,24075
3	0,27765	0,25555	0,26285	0,24345	0,20415	0,23945
6	0,32685	0,31795	0,32865	0,30795	0,29035	0,30865
12	0,35895	0,39745	0,39555	0,35785	0,34825	0,33525
24	0,40135	0,39335	0,40155	0,40295	0,40115	0,39905
36	0,39795	0,40415	0,40525	0,40625	0,40115	0,40825
48	0,40255	0,40915	0,40555	0,41195	0,40465	0,41055

ANEXO 42

Tabla utilizada para el programa Graphpad Prism 4 para maíz roleado.

HORAS	MS digerida					
1	0,22965	0,23255	0,23585	0,22355	0,20245	0,23655
2	0,27945	0,24485	0,26555	0,25655	0,24025	0,24075
3	0,27765	0,25555	0,26285	0,24345	0,20415	0,23945
6	0,32685	0,31795	0,32865	0,30795	0,29035	0,30865
12	0,35895	0,39745	0,39555	0,35785	0,34825	0,33525
24	0,40135	0,39335	0,40155	0,40295	0,40115	0,39905
36	0,39795	0,40415	0,40525	0,40625	0,40115	0,40825

ANEXO 43

Tabla utilizada para el programa Graphpad Prism 4 para maíz extruído.

HORAS	MS digerida					
1	0,22965	0,23255	0,23585	0,22355	0,20245	0,23655
2	0,27945	0,24485	0,26555	0,25655	0,24025	0,24075
3	0,27765	0,25555	0,26285	0,24345	0,20415	0,23945
6	0,32685	0,31795	0,32865	0,30795	0,29035	0,30865
12	0,35895	0,39745	0,39555	0,35785	0,34825	0,33525
24	0,40135	0,39335	0,40155	0,40295	0,40115	0,39905
36	0,39795	0,40415	0,40525	0,40625	0,40115	0,40825
48	0,40255	0,40915	0,40555	0,41195	0,40465	0,41055